



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ECOLOGIA APLICADA À GESTÃO
AMBIENTAL**



Priscila de Santana Soares

**Serviços ecossistêmicos e provisão de água em
quantidade e qualidade: traduzindo graficamente o
conhecimento científico para a gestão**

SALVADOR, BAHIA

junho/2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ECOLOGIA APLICADA À GESTÃO
AMBIENTAL**

**Serviços ecossistêmicos e provisão de água em
quantidade e qualidade: traduzindo graficamente o
conhecimento científico para a gestão**

PRISCILA DE SANTANA SOARES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Ecologia do Instituto de
Biologia da Universidade Federal da
Bahia, como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental.

Orientador: Dr. Pedro Luís Bernardo da
Rocha

SALVADOR, BAHIA

junho, 2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Soares, Priscila

Serviços ecossistêmicos e provisão de água em
quantidade e qualidade: traduzindo graficamente o
conhecimento científico para a gestão / Priscila
Soares, Priscila Soares. -- Salvador, 2019.

136 f. : il

Orientador: Pedro Rocha.

TCC (Graduação - Mestrado Profissional em Ecologia
Aplicada à Gestão Ambiental) -- Universidade Federal
da Bahia, Instituto de Biologia, 2019.

1. serviços ecossistêmicos. 2. processos ecológicos.
3. impactos ambientais. 4. bacias hidrográficas. 5.
gestão de recursos hídricos. II. Soares, Priscila. I.
Rocha, Pedro. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Priscila de Santana Soares

Serviços ecossistêmicos e provisão de água em quantidade e qualidade:
traduzindo graficamente o conhecimento científico para a gestão

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Pedro Luís Bernardo da Rocha

Departamento de zoologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Eduardo Mendes da Silva

Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia

Msc. Elba Alves Silva

Secretaria de Meio Ambiente da Bahia

À minha mãe, Raquel Virgínia de Santana
Soares (*in memoriam*), obrigada por tudo!

“Uma coisa é encontrar falhas em um sistema existente. Outra coisa, uma tarefa mais difícil, é substituí-la por outra abordagem melhor.”

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

São muitos:

Agradeço ao Instituto de Biologia e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental por permitir a elaboração dessa trabalho e por manter esse curso de pós-graduação de grande importância para a gestão ambiental e para a sociedade. Especialmente ao Prof. Gilson e às meninas da Secretaria das Pós-graduações pela disponibilidade e carinho em tratar das questões do mestrado profissional.

Agradeço carinhosamente ao meu orientador, Pedro Rocha: obrigada por sua disponibilidade, suas observações, pelo contato e por tudo que aprendi com você. Suas críticas construtivas sempre vinham na hora exata. E tenho consciência de que não existe crescimento (e porque não, mudanças?) sem críticas.

Agradeço às pesquisadoras e aos pesquisadores do Laboratório de Ecologia Básica e Aplicada – LABECOBA por todas as contribuições, ideias e sugestões, especialmente a Clarissa Machado e Margareth Maia pelas conversas sempre tão inteligentes e amáveis ao mesmo tempo.

Agradeço às “meninas do mestrado”, colegas de turma 2016.2, e em especial à Jandi, amiga, colega de trabalho, colega de profissão e colega do mestrado: obrigada por tornar essa jornada mais leve.

Agradeço aos meus colegas de sala no Inema, e em especial a Nilson Roque e Rodrigo Stolze. Nossas conversas sempre foram inspiradoras. Obrigada por me ouvirem sempre e com muito carinho.

Agradeço à minha inspiração Mônica Portela, Moniquinha: obrigada por cultivar em mim essa vontade de fazer uma gestão de recursos hídricos verdadeiramente de excelência.

Agradeço especialmente aos meus pais, Seu Arnaldo e Dona Raquel (*in memoriam*) meus fiéis escudeiros, que sempre tiveram ao meu lado, me amparando, me apoiando em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Tom, Carol e Miguel: obrigada pelo companheirismo, pela preocupação, e pela presença de vocês na minha vida.

Harrison, não há palavras que bastem para expressar minha gratidão e meu amor. O seu apoio foi fundamental para mim.

Agradeço ao meu pequeno, meu Adam, que mesmo tão novinho, compreendia as minhas ausências necessárias.

Obrigada!

TEXTO DE DIVULGAÇÃO

Entre os grandes desafios do Século XXI encontra-se o da gestão sustentável da água que, para ser alcançada, demandará, entre outros esforços, o de apropriação, pelos gestores, do conhecimento científico sobre o tema. O presente trabalho realizou revisões sistemáticas da literatura científica para identificar: (a) os serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas, (b) os processos ecológicos e hidrológicos que sustentam especificamente os serviços ecossistêmicos de fornecimento de água em quantidade e qualidade para uso humano e (c) os principais impactos antrópicos que levam à perda desses serviços. Essas informações foram sintetizadas e organizadas no formato de ilustrações que procuram esquematizar os modos pelos quais esses serviços podem ser mantidos ou perdidos, a depender do modo de ocupação das bacias hidrográficas pelo homem. As ilustrações serão disponibilizadas aos setores da sociedade envolvidos com políticas de recursos hídricos com o objetivo de facilitar o aporte de conhecimento científico atualizado sobre o tema. Elas deverão ser especialmente úteis ao corpo técnico de órgãos de planejamento e gestão dos recursos hídricos do Brasil. Adicionalmente, poderão ser úteis para outros públicos, como a sociedade civil organizada e o setor educacional.

RESUMO

Os impactos do homem sobre os ecossistemas do planeta têm afetado negativamente a quantidade, a regularidade de oferta e a qualidade dos recursos hídricos necessários para seu próprio bem-estar. Como decorrência, há uma real possibilidade de uma iminente crise hídrica sem precedentes. Tal risco exige dos sistemas públicos de gestão, além de vontade e capacidade política para enfrentá-lo de modo democrático, a capacidade de compreender como os impactos humanos afetam os processos naturais que garantem a disponibilidade de água. Essa compreensão representa um dos elementos essenciais dos processos de tomada de decisão. Abordagens de gestão integrada à base ecossistêmica representam alternativas à estratégia tradicional da gestão hídrica, que é focada na maximização de oferta e redução de sua variabilidade. Elas reconhecem os ecossistemas como unidades integradoras dos sistemas a serem geridos (terrestres, aquáticos e humanos) e buscam equilibrar sua conservação e o uso antrópico dos recursos naturais. Para tanto, valorizam a manutenção da resiliência desses sistemas de modo a manter os serviços prestados pelos ecossistemas. Num processo democrático de gestão hídrica, a ciência, como bem público, tem papéis importantes a desempenhar: traduzir, para os setores envolvidos, o estado da arte dos modelos científicos sobre o funcionamento dos sistemas a serem geridos e contribuir para a elaboração de cenários sobre futuros prováveis derivados de diferentes alternativas de gestão. O presente trabalho realizou revisões sistemáticas da literatura científica para identificar: (a) os serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas; (b) os processos ecológicos e hidrológicos que sustentam especificamente os serviços ecossistêmicos de fornecimento de água em quantidade e qualidade para uso humano; e (c) os principais impactos antrópicos que levam à perda desses serviços. Essas informações foram sintetizadas e organizadas no formato de ilustrações que procuram esquematizar os modos pelos quais esses serviços podem ser mantidos ou perdidos, a depender do modo de ocupação das bacias hidrográficas pelo homem. As ilustrações serão disponibilizadas aos setores da sociedade envolvidos com políticas de recursos hídricos com o objetivo de facilitar o aporte de conhecimento científico atualizado sobre o tema. Elas deverão ser especialmente úteis ao corpo técnico de órgãos de

planejamento e gestão dos recursos hídricos do Brasil. Adicionalmente, poderão ser úteis para outros públicos, como a sociedade civil organizada e o setor educacional.

Palavras-Chave: serviços ecossistêmicos, processos ecológicos, impactos ambientais, bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

The impacts of the human being on the planet's ecosystems have adversely affected the quantity, regularity of supply, and the quality of the water resources required for his own well-being. As a result, there is a real possibility of unprecedented imminent water crisis. Such a risk requires the public management systems, in addition to the will and political capacity to face it in a democratic way, the ability to understand how human impacts affect the natural processes that guarantee the availability of water. This understanding is one of the essential elements of decision-making processes. Integrated management approaches to the ecosystem base represent alternatives to the traditional water management strategy, which is focused on maximizing supply and reducing its variability. They recognize ecosystems as integrating units of the systems to be managed (terrestrial, aquatic and human) and seek to balance their conservation and the anthropic use of natural resources. To this end, they value the maintenance of the resilience of these systems in order to maintain the services provided by the ecosystems. In a democratic process of water management, science, as a public good, has important roles to make: to translate, for the sectors involved, the state of the art of scientific models on the functioning of the systems to be managed and to contribute to the elaboration of scenarios on probable future derived from different management alternatives. The present work carried out systematic reviews of the scientific literature to identify: (a) the ecosystem services provided by the hydrographic basins; (b) the ecological and hydrological processes that specifically support ecosystem services for the supply of water in quantity and quality for human use; and (c) the major anthropic impacts that lead to the loss of these services. This information has been synthesized and organized in the form of illustrations that seek to outline the ways in which these services can be maintained or lost, depending on how mankind occupies river basins. The illustrations will be made available to the sectors of the society involved with water resources policies in order to facilitate the contribution of up-to-date scientific knowledge on the subject. They should be especially useful to the technical staff of planning and management bodies of water resources in Brazil. In addition, they may be useful to other audiences, such as organized civil society and the education sector.

Key Words: Ecosystem services, ecological processes, environmental impacts, watershed and water resources management.

ÍNDICE

FOLHA DE APROVAÇÃO	II
AGRADECIMENTOS	V
TEXTO DE DIVULGAÇÃO	VIII
RESUMO	VIII
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE.....	XIII
INTRODUÇÃO.....	12
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS.....	23
(1) Serviços Ecosistêmicos Hidrológicos.....	23
(2) Processos ecológicos	28
(3) Impactos antrópicos impulsionadores da perda dos serviços ecosistêmicos.....	29
(4) Modelo-síntese.....	32
(5) Cenários Alternativos.....	33
DISCUSSÃO.....	37
CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	57
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	63
Apêndice MS1.....	63
Apêndice MS2.....	91
Apêndice MS3.....	94
Apêndice MS4.....	108
Apêndice MS5.....	118
Apêndice MS6.....	119
Apêndice MS7.....	120
Apêndice MS8.....	121
Apêndice MS9.....	122
Apêndice MS10.....	123
Apêndice MS11.....	124

Introdução

No momento em que o homem passa a ser a maior força impulsionadora de mudanças nos diversos ecossistemas (DELLASALA et al., 2018), caracterizando um novo período geológico denominado de Antropoceno (ROCKSTRÖM et al., 2014), as pressões sobre os recursos hídricos elevam os riscos naturais de enchentes e secas e, conseqüentemente, aumentam o risco de indisponibilidade da água para os diversos usos (BRIDGEWATER; GUARINO; THOMPSON, 2017).

Água limpa representa um recurso essencial para as populações humanas, seja em função da relação de seu uso doméstico, seja com relação à sobrevivência e à saúde, seja em função de seus usos nas atividades agropecuárias e industriais (WATTS, 2011). A triplicação da população humana desde a metade do século passado tem ampliado dramaticamente a demanda sobre esse recurso (RICHTER et al, 2003), e os problemas e conflitos relacionados ao abastecimento ao redor do globo têm se amplificado, afetando particularmente os setores socialmente mais vulneráveis. Além disso, outros impactos derivados do aumento da população humana, como a degradação dos ecossistemas, retroalimentam negativamente a qualidade, quantidade e regularidade de oferta de água na natureza. Esta tendência será fortemente aumentada pelas mudanças climáticas, o que provavelmente elevará os níveis de alteração dos padrões de precipitação e das taxas de evaporação, afetando assim, a disponibilidade global de água nos sistemas fluviais.

A intensificação da demanda pelo uso das águas, superficiais e subterrâneas, pelo agronegócio em diferentes regiões do país, tem elevado o risco de indisponibilidade deste recurso ambiental em diferentes bacias hidrográficas brasileiras. No oeste baiano, por exemplo, cada vez mais a agricultura mecanizada avança por áreas de vegetação nativa do bioma cerrado e por importantes áreas de recarga do rio São Francisco (ATLAS IRRIGAÇÃO – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017), gerando conflitos sociais importantes como o que aconteceu em Correntina, em 2017, após a emissão de uma outorga de direito de uso dos recursos hídricos de grandes proporções (60.000 m³ em

valores aproximados) para um empreendimento do agronegócio. O crescimento desordenado das populações em áreas urbanas, que se acelerou ao longo dos últimos anos, vem degradando áreas de preservação das bacias hidrográficas, com prejuízo ao adequado fornecimento de água, além de ampliar a demanda local por esse recurso. Além disso, problemas de saneamento básico comprometem a qualidade da água dos rios, que passam a ser usados como esgotos a céu aberto: 96% dos rios monitorados pelo SOS Mata Atlântica (2018) apresentam índice da qualidade da água (IQA) regular ou ruim. No Brasil o principal usuário de água, em quantidade, é a irrigação e esse uso corresponde à 68 % de todo uso nacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018). A grande demanda de água pela irrigação se associa a um outro problema, a intensificação das alterações no uso das terras das bacias hidrográficas. As industriais são também importantes consumidores de recursos hídricos e, por vezes, importantes fontes de contaminação dos mesmos. O uso de água pela indústria corresponde a cerca de 10% de todo consumo no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018). O uso doméstico da água, que representa aproximadamente 10% das captações totais de água no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018), trata-se de um uso em franco crescimento junto com a população brasileira. Todas essas alterações nos recursos hídricos, ocasionadas pelo aumento drástico da população mundial, bem como pelo uso exacerbado agrícola e industrial, fizeram com que a quantidade de água disponível diminuísse muito ao longo do tempo.

Somada a essa perspectiva de uma eminente crise hídrica, a gestão de recursos hídricos precisa lidar com a toda a complexidade inerente a esse sistema socioecológico imprevisível e que responde de forma não-linear às mudanças (BUSCHBACHER, 2014). A gestão ambiental utiliza-se do paradigma de otimização dos sistemas, entendendo que os sistemas ecológicos operam em um estado ótimo, e que qualquer mudança será sempre incremental e linear (*e.g.*, causa – efeito) (WALKER; SALT, 2006). Os sistemas socioecológicos, na verdade, existem em diferentes regimes, e promover essa simplificação nas tomadas de decisão, conduz à perda da resiliência¹ e leva a resultados

¹ Resiliência, capacidade de um sistema absorver distúrbios e ainda reter sua função e estrutura básicas (WALK; SALT, 2006).

indesejáveis (BUSCHBACHER, 2014), como eventos extremos de inundações e secas (BRIDGEWATER; GUARINO; THOMPSON, 2017), conflitos pelo uso da água (MUNIA et al., 2016) e extrema fragilidade social (e.g., migrações humanas)(SELBY et al., 2017). Gerenciar um sistema socioecológico complexo, como uma bacia hidrográfica, requer a busca pela manutenção da capacidade desse sistema em absorver perturbações e distúrbios, em um regime onde continua a prover bens e serviços prioritários.

A política estadual de recursos hídricos traz em seus princípios aspectos da universalidade do acesso à água, dos usos múltiplos, da gestão descentralizada e participativa, do uso prioritário em situações de escassez, da água como recurso limitado, do valor econômico e da dimensão ambiental, e que tem como órgão executor o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema). O Inema tem a responsabilidade da execução dos diferentes instrumentos da política de recursos hídricos (e.g., outorga de direito de uso dos recursos hídricos, monitoramento hidrológico, fiscalização dos recursos hídricos, planos de bacia, cadastro de usuários de água). E para uma efetiva governança da água, o órgão de execução da política de recursos hídricos precisa desenvolver uma comunicação direta com os usuários e as partes interessadas na busca de soluções robustas e de visão compartilhada. Esses dois aspectos demonstram como é desafiante gerir um sistema tão complexo, como a bacia hidrográfica, e ainda tornar acessível para os técnicos do órgão um conhecimento científico, não apenas relevante, mas compreensível também para os usuários e partes interessadas.

É possível afirmar que esse é um dos maiores desafios da gestão de recursos hídricos: ter acesso a um conhecimento científico moldado para atender questões específicas levantadas, de forma compartilhada, pelas partes envolvidas (e.g., usuários de água, tomadores de decisão, técnicos) (ENQUIST, 2017). Uma forma de se superar esse desafio, é a construção de relacionamentos e parcerias com instituições de pesquisas que possam ajudar o desenvolvimento de soluções robustas e flexíveis frente aos problemas vivenciados pela prática e demandados pela sociedade. O desenvolvimento de soluções a partir de visões compartilhadas e a incorporação de conhecimento científico na tomada de decisão, direciona a gestão para uma efetiva governança

da água, e para o cumprimento de um dos seus principais objetivos: o equilíbrio do uso da água entre as diferentes atividades socioeconômicas e os ecossistemas. A incorporação de aspectos ecológicos de manutenção das funções ecossistêmicas e da provisão de serviços ecossistêmicos pode ajudar a gestão na melhoria dos instrumentos de proteção e gestão dos recursos hídricos (KARR, 1991), indo além das abordagens tradicionais de comando e controle (e.g., autorização – fiscalização).

As abordagens tradicionais de regulamentações ambientais de comando e controle, mesmo comprovadamente eficientes na produção de benefícios sociais às suas custas (e.g., medidas compensatórias em condicionantes ambientais, determinações impostas em termos de compromisso), acabam por minar a resiliência dos sistemas naturais e, portanto, sua capacidade de continuar provendo serviços (JEWITT, 2002). Essa situação acontece, porque, via de regra, os processos de autorização ambiental são analisados com base em aspectos quantitativos, mensuráveis, apenas. Como é o caso das análises para emissão de outorga no estado da Bahia, que considera a vazão solicitada pelo usuário frente ao percentual definido como outorgável em relação à vazão de referência adotada, 80% da Q90%. A Q90% corresponde a uma vazão que poderá ser encontrada em 90% do período em um determinado trecho de rio, com valores iguais ou superiores a ela (ANA CADERNOS DE CAPACITAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS, 2011). Trata-se de uma metodologia amplamente difundida, havendo algumas variações utilizadas em outros estados, como a Q95% e a $Q_{7,10}$.

O *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005) define os serviços ecossistêmicos como os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas, sendo possível a sua avaliação em diferentes estados de integridade de ecossistemas, naqueles bem preservados, como florestas naturais, paisagens de usos múltiplos, a ecossistemas gerenciados e modificados intensivamente por humanos, como terras agrícolas e áreas urbanas. A gestão integrada dos recursos hídricos (IWRM, do inglês *integrated water resources management*) à base ecossistêmica é uma nova abordagem que relaciona aspectos dos processos hidrológicos com os ecológicos, fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas e provisão de serviços

ecossistêmicos (XUE et al., 2017). A gestão integrada dos recursos hídricos surgiu pautada na Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável, elaborada durante a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, em Dublin, na Irlanda, nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992, e vincula o desenvolvimento social e econômico à proteção dos ecossistemas naturais e ao uso da terra e da água em toda a área da bacia hidrográfica ou aquífero (GLOBAL WATER PARTNERSHIP, 2000). Um outro aspecto considerado na gestão integrada de recursos hídricos, é se ter uma boa compreensão da interação entre os processos ecológicos e as escalas em que eles ocorrem - uma questão raramente incorporada pelas políticas de recursos hídricos e pela prática (MUBAKO; RUDDLELL; MAYER, 2013), mas de fundamental importância para se entender como um impacto ambiental causado em uma determinada região da bacia hidrográfica, pode levar à perda de funções ecossistêmicas em regiões mais distantes.

A identificação de áreas-chaves para o fornecimento e o uso dos serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas pode ser um modelo eficiente para a gestão de recursos hídricos, que venha a integrar a ciência ecológica ao conjunto complexo das dimensões, social, política e dos tomadores de decisão, que fundamentam as questões ambientais (ENQUIST et al., 2017). A construção de modelos de mecanismos é uma ferramenta que incorpora a interação entre os componentes dos sistemas de interesse, tentando entender o funcionamento do todo por meio da funcionalidade das partes (BECHTEL; RICHARDSON, 1993). O uso de modelos conceituais que explicam o mecanismo de funcionamento de sistemas complexos, como as relações e interações entre processos ecológicos e serviços ecossistêmicos e as escalas em que ocorrem, parece ser um passo eficiente na tradução do conhecimento científico para gestão.

A abordagem de gestão integrada de recursos hídricos procura se contrapor à incerteza das tomadas de decisão, incorporando aspectos do gerenciamento adaptativo. A análise de cenários múltiplos é uma concepção de gerenciamento adaptativo incorporado à gestão integrada de recursos hídricos, onde podem ser estabelecidas as múltiplas pressões, o estado de funcionamento dos processos ecológicos e serviços ecossistêmicos (GRIZZETTI et al., 2016).

O presente estudo objetiva apresentar uma síntese da identificação dos serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas, dando ênfase nos serviços ecossistêmicos hidrológicos e os processos, ecológicos e hidrológicos, que contribuem para o fornecimento de água em quantidade e qualidade, a partir de informações consolidadas na literatura científica sobre os sistemas naturais. Além disso, o trabalho apresenta uma síntese dessas informações no formato de ilustrações que veiculam eficazmente esses conceitos. Essa estratégia de comunicação, se disponível para o corpo técnico relacionado à gestão de recursos hídricos pode qualificar o processo de tomada de decisão nos diferentes setores do órgão. Esse material pode adicionalmente ser útil para outros públicos, como escolas públicas estaduais, municipais, particulares, ou a sociedade civil como um todo. A gestão integrada dos recursos hídricos à base ecossistêmica configura, neste estudo, como uma sugestão de metodologia complementar para os órgãos ambientais e executores da política de recursos hídricos, na busca por um novo desenvolvimento, pautado no uso justo e equitativo dos recursos hídricos para a sociedade e para o meio ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Definições

Para estimular uma compreensão dos sistemas hídricos mais próxima da gestão integrada de recursos hídricos à base ecossistêmica do que na gestão tradicional, optei por produzir um material visual informativo para a gestão a partir do conceito de serviços ecossistêmicos do MEA (2005), que define os “serviços ecossistêmicos” como “os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas”, e os classifica em serviços ecossistêmicos de provisão (e.g., alimento e água), serviços de regulação (e.g., regulação do clima, regulação da água), serviços de suporte (e.g., ciclagem de nutrientes) e serviços culturais (e.g., oportunidades para atividades de recreação). Considerei como parte da investigação a concepção de que a existência de água em quantidade e qualidade para as demandas humanas representam serviços ecossistêmicos que são gerados por processos ecológicos (Wallace, 2007). De acordo com Wallace (2007), “processos ecológicos são as interações complexas entre elementos bióticos e abióticos dos ecossistemas que levam a um resultado definido e que envolvem

a transferência de energia e materiais”. Os processos ecológicos podem ser impactados pelas ações humanas, seja comprometendo seja amplificando a oferta dos serviços. Adotei neste trabalho a definição de “impactos antrópicos” que consta no Decreto Estadual da Bahia nº 14.024 de 06 de junho de 2012, que aprova os regulamentos das políticas de meio ambiente e recursos hídricos do estado da Bahia, qual seja: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetem: a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, a qualidade dos recursos ambientais”. Optei, ainda, por acessar as informações científicas sobre serviços ecossistêmicos fornecidos pela bacia hidrográfica. Tomei essa decisão porque, tendo em vista a definição feita por Pires; Santos; Del Prette (2002) que a bacia hidrográfica é o “conjunto de áreas drenadas para formação de um corpo hídrico principal e seus afluentes”, esta definição, então, esclarece que a área das bacias hidrográficas engloba os ecossistemas terrestres e aquáticos. Do ponto de vista de um planejamento voltado à conservação dos recursos naturais, esta definição é bem adequada, uma vez que vai além dos aspectos hidrológicos apenas: é possível incorporar aspectos ecológicos como paisagem, componente bióticos, dentre outros. Igualmente, é preciso salientar que a política nacional de recursos hídricos, a Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997, da qual todas as outras políticas estaduais de recursos hídricos derivam, estabelece que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos.

Metodologia

Para atingir os objetivos do trabalho acessei a literatura científica para caracterizar: (1) quais serviços ecossistêmicos são fornecidos pelas bacias hidrográficas; (2) quais processos ecológicos garantem a oferta desses serviços, particularmente aqueles responsáveis pela disponibilização de água em quantidade e qualidade adequada para usufruto humano; e (3) quais impactos de origem antrópica estão associados à perda desses serviços ecossistêmicos e através de quais mecanismos. A partir dessas informações, construí (4) um modelo de síntese sobre os modos como impactos antrópicos levam à perda dos

serviços de oferta de água pelas bacias hidrográficas. Esse modelo serviu de base para a formulação de (5) ilustrações que apresentam três cenários de uso de bacias hidrográficas com diferentes decorrências para a oferta desses serviços. O uso de ilustrações produzidas a partir de cenários alternativos pode ser uma ferramenta interessante a ser utilizada, e de modo simples, pelos tomadores de decisão, uma vez que permite a visualização de como a natureza pode responder de diferentes caminhos frente aos impactos antrópicos sobre a natureza (ROSA et al., 2017). Cada um desses passos metodológicos detalhei abaixo.

1. Quais serviços ecossistêmicos são fornecidos por bacias hidrográficas

Para caracterizar, de acordo com o conhecimento científico quais serviços ecossistêmicos são fornecidos por bacias hidrográficas, realizei, em julho de 2018, uma revisão sistemática de artigos disponíveis na base de dados Web of Science – (Coleção Principal) utilizando a seguinte expressão de busca: *(('ecosystem* NEAR/4 service*) AND (watershed* OR 'river basin*' OR catchment*))*. A expressão resgata todos os documentos que apresentem em seu título, resumo ou palavras-chave: (a) o termo *ecosystem** a até 4 palavras de distância do termo *service** (p.ex., *ecosystem services*; *services provided by ecosystems*); e, ao mesmo tempo, (b) algum dos três termos/expressões que se usualmente são usadas para se referir a bacias hidrográficas (*watershed**, *'river basin*'* e *catchment**). O asterisco garante que sejam resgatados documentos com termos que se iniciam com a palavra que ele segue. Por exemplo, *ecosystem** resgata os termos *ecosystem*, *ecosystems*, *ecosystemic*, dentre outros. Já as aspas resgatam exatamente a expressão nelas incluídas.

Ordenei os 2.296 artigos resgatados pelo número de vezes que são citados dentro da base de dados do Web of Science e analisei os primeiros 100 artigos que tratam de serviços ecossistêmicos associados a bacias hidrográficas. Esses tendem a ser os mais influentes nesse campo. Frequentemente os artigos mais citados são artigos de revisão (29 entre os 100 analisados) que, então, sistematizam uma quantidade relevante de informações disponíveis na literatura pregressa. Fiz a leitura completa do texto de cada artigo que selecionei e extraí

as sentenças que citam serviço(s) ecossistêmico(s) provido(s) por bacias hidrográficas (Apêndice MS1). Classifiquei os serviços quanto ao tipo, utilizando o sistema de classificação do MEA (2005): serviços de suporte (e.g., habitat para as diferentes espécies, ciclagem de nutrientes), serviços de regulação (e.g., regulação da água, controle de erosão), serviços de provisão (e.g., alimentos, água em quantidade e qualidade) ou serviços culturais (e.g., recreação, ecoturismo) (MEA, 2005). Durante a análise dos artigos selecionados surgiram termos diferentes que estavam relacionados ao mesmo serviço ecossistêmico (e.g., controle natural de riscos, controle de inundações, controle de fluxos) e que considerei como sinônimos. Um quadro com os termos similares para cada serviço ecossistêmico encontra-se no Apêndice MS2.

2. Quais processos ecológicos garantem a oferta dos serviços ecossistêmicos

As pesquisas realizadas na segunda etapa de revisão da literatura fiz em setembro de 2018 e retornaram 568 artigos. Para caracterizar, de acordo com o conhecimento científico, quais processos ecológicos mantêm os serviços ecossistêmicos hidrológicos, isto é, aqueles responsáveis pela disponibilização de água em quantidade e qualidade adequada para usufruto humano, relacionei as funções desempenhadas pelos ecossistemas naturais com os benefícios relacionados diretamente à água. Os serviços ecossistêmicos hidrológicos representam o subconjunto de serviços ecossistêmicos que regulam os serviços ecossistêmicos de fornecimento de água em quantidade e qualidade (BRAUMAN, 2015; POSTEL; THOMPSON, 2005; TAFFARELLO et al., 2017). São fenômenos ecohidrológicos de regulação (e.g., controle da erosão, controle de fluxos, regulação do clima, regulação da água, purificação natural da água, ciclagem de nutrientes, manutenção de área de recarga) que descrevem como os ecossistemas terrestres afetam a quantidade e qualidade de água disponível (BRAUMAN, 2015). Seguindo o protocolo de levantamento do item anterior, realizei uma revisão sistemática de artigos disponíveis na base de dados Web of Science (Coleção Principal) utilizando as seguintes expressões de busca: *((‘ecological* process*’) AND (‘erosion control’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’))*, *((‘ecological* process*’) AND (‘flow control’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’))*, *((‘ecological* process*’) AND*

(‘nutrient cycling’) AND (watershed OR catchment* OR ‘river basin*’)*), *(‘ecological* process*’) AND (‘recharge areas’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’)*), *(‘ecological* process*’) AND (‘water purification’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’)*), *(‘ecological* process*’) AND (‘climate regulation’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’)*) e *(‘ecological* process*’) AND (‘hydrological cycle’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’)*). Selecionei 38 artigos com mais de 100 citações no resultado. Fiz a leitura completa do texto de cada artigo que selecionei e extraí as sentenças que citam os processos ecológicos relacionados aos serviços ecossistêmicos hidrológicos (Apêndice MS3).

3. Quais os impulsionadores da perda dos serviços ecossistêmicos

A revisão da literatura realizada na terceira etapa da metodologia desenvolvida para esta pesquisa, ocorreu em outubro de 2018. Realizei pesquisas na base de dados *Web of Science* (Coleção Principal) utilizando a seguinte expressão: *(‘loss ecosystem* service*’) AND (watershed* OR catchment* OR ‘river basin*’)*). Para garantir a utilização de uma base referencial bem consolidada, selecionei os artigos com mais de 100 citações. Fiz a leitura completa do texto de cada artigo e extraí sentenças relacionadas aos principais impactos causadores da perda dos serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas (Apêndice MS4).

4. Construção do modelo-síntese

Para a construção do modelo-síntese utilizei os serviços ec hidrológicos de regulação estabelecidos após a revisão da literatura da etapa 1, controle de erosão, controle de fluxos, ciclagem de nutrientes, purificação natural da água, regulação da água, regulação climática e manutenção de áreas de recarga. Relacionei, então, esses serviços ec hidrológicos de regulação com os processos ecológicos que os sustentam estabelecidos após a revisão da literatura da etapa 2, trazendo nas referências as sentenças que indicavam os mecanismos de funcionamento dos processos ecológicos, e como estes afetam os serviços ecossistêmicos de provisão de água em quantidade e qualidade. Após, utilizei os dados provenientes da etapa 3, inseri no modelo os impactos antropogênicos que levam à perda dos serviços ec hidrológicos de regulação, e

consequentemente na perda da água em quantidade e qualidade, para as pessoas e para o ecossistema. Uma forma de gerar compreensão dessa interação de processos e fenômenos de interesse, é a utilização de modelos conceituais.

Os modelos tomam a ideia básica e **geral** incorporada em um conceito e indicam a que lugar específico ou tipo de lugar se refere, quais são as **escalas** espaciais e temporais e quais **estruturas** e **interações** devem ser mantidas.

(Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Jones, C. G., 2007, pp. 14)

Numa construção conceitual os fenômenos observados de um sistema ecológico podem ter seus múltiplos componentes explicados e interligados por meio de processos ecológicos e físicos.

Em um contexto científico, o termo "compreensão" implica que questões sobre um **fenômeno** podem ser respondidas, referindo-se a certos padrões na natureza, relações entre entidades e processos, e causas dos padrões e suas diferenças.

(Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Jones, C. G., 2007, pp. 14)

Para a construção do modelo-síntese proposto, utilizei os serviços ecossistêmicos de provisão de água em quantidade e qualidade como fenômenos de interesse e os serviços ecossistêmicos hidrológicos como os componentes do sistema.

5. Construção dos cenários

No esforço necessário em traduzir o conhecimento científico existente no modelo-síntese e torná-lo acessível e facilmente compreensível para área aplicada, realizei o mapeamento dos serviços ecossistêmicos em três escalas espaciais. Na escala da bacia hidrográfica, na escala de um trecho de rio e na microescala em que os processos ecológicos que sustentam os serviços ecossistêmicos ocorrem. É preponderante entender que na verdade existe um *continuum* de escalas entre um trecho de rio e a bacia hidrográfica no qual está

contido (MUBAKO; RUDELL; MAYER, 2013), e é justamente devido a essas interações de escalas cruzadas que esse sistema socioecológico complexo consegue manter resiliência (WALKER et al., 2004). Aqui, apresento uma abordagem que gera cenários alternativos para uma bacia hidrográfica. No cenário 1, represento uma bacia hidrográfica e um trecho de rio íntegros, nos quais são incorporados os serviços ecossistêmicos hidrológicos e os processos ecológicos que os sustentam, de acordo com as etapas 1 e 2 da metodologia. Trata-se de um cenário hipotético que tem como objetivo esclarecer como ocorre a provisão de água em quantidade e qualidade em uma bacia hidrográfica completamente preservada. No cenário 2, represento uma bacia hidrográfica e um trecho de rio em situação contrária ao do cenário 1. Neste cenário identifiquei e mapeei os principais impulsionadores das mudanças, de causa antropogênica, que levam à perda dos serviços ecossistêmicos de água em quantidade e qualidade. O terceiro cenário foi desenvolvido com objetivo principal de mostrar à gestão ambiental e de recursos hídricos um futuro inovador e inspirador, com transformações em direção à um bom Antropoceno. Para tanto, apliquei neste cenário melhores práticas, metodologias e infraestruturas, que paradoxalmente se desprende dos cenários 1 e 2, e que buscam incorporar à gestão de recursos hídricos uma base ecossistêmica.

RESULTADOS

(1) Serviços Ecossistêmicos Hidrológicos

A primeira etapa da pesquisa, utilizada para identificação dos serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas, realizei em julho de 2018 e retornou 2.296 artigos, dos quais selecionei os 100 artigos mais citados. Destes 100 artigos eu selecionei (Apêndice MS1), 33 artigos citaram serviços ecossistêmicos relacionados às bacias hidrográficas e então utilizei na elaboração da tabela de serviços ecossistêmicos (Tabela 1).

Identifiquei 29 serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas, categorizei em quatro tipos de serviços, serviços de provisão, serviços de suporte, serviços de regulação e serviços culturais, de acordo com a classificação proposta pelo MEA (2005). Os serviços de provisão de água em quantidade, de provisão de água com qualidade e o serviço de controle de fluxos,

foram os serviços tratados no maior número de artigos relacionados (20, 17 e 20 dos 33 artigos, respectivamente). Isso demonstra como a ciência, assim como as políticas de recursos hídricos, e conseqüentemente a prática, tendem a priorizar os serviços ecossistêmicos de provisão de água (quantidade e qualidade) e isso, via de regra, leva a se subestimar o funcionamento dos serviços de regulação, de suporte e culturais (MEA, 2005).

Dos 29 serviços ecossistêmicos que identifiquei na revisão da literatura, sete recategorizei em serviços ecossistêmicos hidrológicos (ciclagem de nutrientes, controle da erosão, controle de fluxos, purificação das águas, regulação da água, contribuição na regulação do clima e manutenção de áreas de recarga) (Figura 1). O desempenho desses serviços no ecossistema (e.g., grau de proteção do solo que combate a erosão e permite a infiltração da água no solo) afeta diretamente (regula ou dá suporte) os serviços ecossistêmicos de provisão de água em quantidade e qualidade.

Tabela 1. Serviços ecossistêmicos providos por bacias hidrográficas segundo os 33 artigos científicos relacionados ao tema que foram mais citados na base Web Of Science. Os serviços hidrológicos (i.e., relacionados ao fornecimento de água em quantidade e qualidade) estão destacados. (n = número de artigos que citaram o serviço ecossistêmico).

Categorias	Serviços Ecosistêmicos	Artigos	n
Serviços de provisão	Água com qualidade	NELSON <i>et al.</i> , 2009; TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; LOOMIS <i>et al.</i> , 2000; SWEENEY <i>et al.</i> , 2004; ZEDLER, 2003; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; KEDDY <i>et al.</i> , 2009; HERING <i>et al.</i> , 2015; MARTÍNEZ <i>et al.</i> , 2009; GOLDMAN-BENNER, R. L. <i>et al.</i> , 2012; KEESSTRA <i>et al.</i> , 2018; HARVEY ; GOOSEFF, 2015	17

	Água em quantidade	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., ; LOOMIS et al., 2000; SWEENEY et al., 2004; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; ROCKSTRÖM et al., 2010; TURPIE; MARAIS; BLIGNAUT, 2008; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; MEYER, 1997; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; MARTÍNEZ et al., 2009; BAI et al., 2011; CARSE, 2012; LARA et al., 2009; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012; SWALLOW, B. et al., 2008; GOLDMAN-BENNER, R. L. et al., 2012	20
	Materiais (fibras e lenha)	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; POSTEL; THOMPSON, 2005; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	5
	Produção de alimentos	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; MOLDEN et al., 2010; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; POSTEL; THOMPSON, 2005; MEYER, 1997; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; MARTÍNEZ et al., 2009; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	12
	Geração de energia elétrica	BRAUMAN et al., 2007; PATTEN, 1998; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; HERING et al., 2015	4
	Transporte	BRAUMAN et al., 2007	1
	Apoio à biodiversidade	ZEDLER; KERCHER, 2005; SWEENEY et al., 2004; ZEDLER, 2003; NELSON et al., 2009; TURPIE; MARAIS; BLIGNAUT, 2008; POSTEL; THOMPSON, 2005; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; BAI et al., 2011; KEESSTRA et al., 2018	10
Serviços de Regulação	Diluição de efluentes	TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; LOOMIS et al., 2000; HOLMES et al., 2004	4
	Degradação de pesticidas e poluentes	SWEENEY et al., 2004; PATTEN, 1998; MEYER, 1997; HERING et al., 2015	4
	Purificação das águas;	TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; LOOMIS et al., 2000; POSTEL; THOMPSON, 2005; MEYER, 1997; QIU; TURNER, 2013; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; HOLMES et al., 2004	9
	Purificação do ar	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	3
	Manutenção de áreas de recarga	PATTEN, 1998;	1

	Controle de pragas e doenças	ZEDLER; KERCHER, 2005; MARTÍNEZ et al., 2009	2
	Dispersão de sementes	ZEDLER; KERCHER, 2005	1
	Polinização	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; FOLEY et al., 2007; MARTÍNEZ et al., 2009; BAI et al., 2011	5
	Proteção contra radiação UV	ZEDLER; KERCHER, 2005	1
	Regulação do ciclo hidrológico	ZEDLER; KERCHER, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; KEDDY et al., 2009; MARTÍNEZ et al., 2009; CARSE, 2012; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012; SWALLOW, B. et al., 2008	7
	Contribuição na Regulação do clima	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; SWEENEY et al., 2004; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; NELSON et al., 2009; QIU; TURNER, 2013; BILLETT et al., 2010; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; JENKINS et al., 2010; MARTÍNEZ et al., 2009; BAI et al., 2011; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	15
	Controle de erosão	LOOMIS et al., 2000; SWEENEY et al., 2004; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; MEYER, 1997; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; JENKINS et al., 2010; MARTÍNEZ et al., 2009; BAI et al., 2011; HOLMES et al., 2004	11
	Controle de fluxos	NELSON <i>et al.</i> , 2009; TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; SWEENEY et al., 2004; ZEDLER, 2003; FOLEY et al., 2007; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; KREMEN; OSTFELD, 2005; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; NEDKOV; BURKHARD, 2012; KEDDY et al., 2009; HERING et al., 2015; JENKINS et al., 2010; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012; SWALLOW, B. et al., 2008; KEESSTRA et al., 2018	20
Serviços de Suporte	Formação e conservação do solo	ZEDLER; KERCHER, 2005; NELSON et al., 2009; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012; SWALLOW, B. et al., 2008	6
	Habitat para as diferentes espécies	ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; LOOMIS et al., 2000; SWEENEY et al., 2004; TURPIE; MARAIS; BLIGNAUT, 2008; PATTEN, 1998; POSTEL; THOMPSON, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; KEDDY et al., 2009; JENKINS et al., 2010; HOLMES et al., 2004	11

	Ciclagem de nutrientes*	TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; SWEENEY et al., 2004; ZEDLER, 2003; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; PATTEN, 1998; MEYER, 1997; HERING et al., 2015; JENKINS et al., 2010; BAI et al., 2011; CARSE, 2012; KEESSTRA et al., 2018	12
Serviços Culturais	Uso espiritual e religioso	BRAUMAN et al., 2007; POSTEL; THOMPSON, 2005; HERING et al., 2015	3
	Bem-estar e apreciação estética	BRAUMAN et al., 2007; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; POSTEL; THOMPSON, 2005; MEYER, 1997; HERING et al., 2015; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	6
	Turismo natural	BRAUMAN et al., 2007; POSTEL; THOMPSON, 2005; HERING et al., 2015; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	4
	Educação	BRAUMAN et al., 2007; GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	2
	Oportunidades de recreação	TOCKNER; STANFORD, 2002; ZEDLER; KERCHER, 2005; BRAUMAN et al., 2007; LOOMIS et al., 2000; SWEENEY et al., 2004; MOLDEN et al., 2010; CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011; POSTEL; THOMPSON, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; QIU; TURNER, 2013; HERING et al., 2015; JENKINS et al., 2010; MARTÍNEZ et al., 2009; LARA et al., 2009; HOLMES et al., 2004	15

* O serviço ecossistêmico de ciclagem de nutrientes é categorizado como serviço de suporte de acordo com o Millenium Ecosystem Assessment (2005), mas apresenta também um caráter de serviço ecossistêmico de regulação uma vez que atua como regulador de processos de entrada e saída de compostos orgânicos no ecossistema.

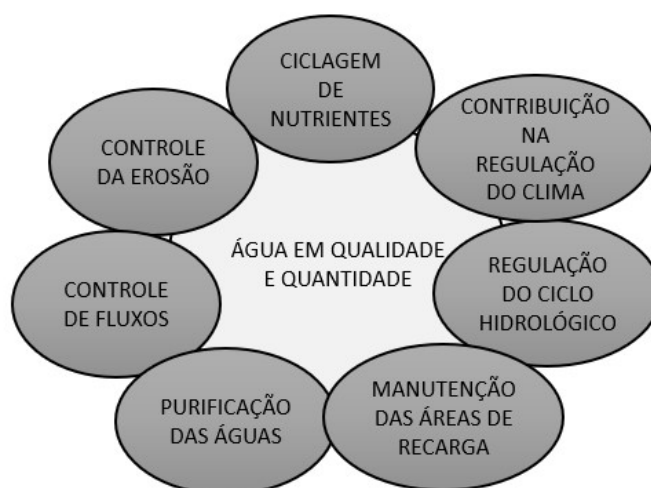


FIGURA 1. Representação esquemática dos serviços ecossistêmicos hidrológicos sob a perspectiva de que este subconjunto de serviços estão envolvidos diretamente com o fornecimento de água em quantidade e qualidade, para as demandas dos seres humanos e do ecossistema.

(2) Processos ecológicos

As pesquisas realizadas na segunda etapa de revisão da literatura retornaram 568 artigos. Destes, 38 possuíam mais de 100 citações e citaram processos ecológicos relacionados aos serviços hidrológicos de interesse. Os resultados obtidos com esta segunda etapa de revisão bibliográfica encontram-se descritos no Apêndice MS3, e subsidiaram a elaboração do modelo-síntese sobre como processos ecológicos atuam no serviço ecossistêmico de fornecimento de água em quantidade e qualidade.

Para o serviço ecossistêmico de controle de erosão identifiquei três processos ecológicos, (i) retenção do sedimento devido à relação raízes/solo, (ii) infiltração da água devido à presença de macroporos formados pela fauna local e (iii) formação de serrapilheira (Fig.1 Apêndice MS6).

Para controle de fluxos não identifiquei processos ecológicos. De acordo com os artigos que retornaram da revisão da literatura, processos hidrológicos são responsáveis por regular este serviço. Identifiquei dois fenômenos hidrológicos, (i) pulsos de inundação nas planícies de inundação e (ii) erosão/deposição de sedimentos atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água (Fig. 2 e Fig. 3 Apêndice MS6).

A ciclagem de nutrientes retornou quatro processos ecológicos, (i) processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos, (ii) decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias, (iii) absorção de nutrientes pelos produtores e (iv) nitrificação e desnitrificação (Fig. 4 e Fig. 5 Apêndice MS6).

Seguindo a metodologia utilizada, o serviço ecossistêmico de purificação da água não retornou nenhum artigo que indicasse os processos ecológicos correspondentes. O serviço ecossistêmico de purificação da água está relacionado com retenção, recuperação e ciclagem de nutrientes e outros poluentes (MEA, 2005). Neste caso específico há interação entre dois serviços ecossistêmicos de regulação, em que um serviço funciona como processo

ecológico de outro, onde ciclagem de nutrientes atua como processo ecológico para o fornecimento do serviço ecossistêmico de purificação da água.

O serviço ecossistêmico de regulação do ciclo hidrológico retornou, após a revisão da literatura, cinco processos que interferem diretamente no seu funcionamento. Dos cinco processos, três são processos físicos e hidrológicos, (i) precipitação, (ii) escoamento superficial e (iii) evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água, e dois são processos ecológicos, (iv) transpiração pelas plantas e (v) interceptação da chuva pela vegetação e pela serrapilheira (Fig. 1 e Fig. 2 Apêndice MS5). Neste trabalho não utilizei o termo evapotranspiração para representar a evaporação total nas bacias hidrográficas. A utilização do termo evapotranspiração esconde que na verdade a evaporação consiste em diferentes processos físicos e ecológicos (e.g., evaporação dos corpos d'água, evaporação do solo, evaporação da interceptação, sublimação da neve e a transpiração vegetal), e que conseqüentemente, atuam de maneiras diferentes na regulação do ciclo hidrológico (SAVENIJE, 2004).

Para o serviço ecossistêmico de contribuição na regulação do clima não houve retorno de processos ecológicos após a revisão da literatura. No entanto, durante a revisão da literatura dos processos ecológicos relacionados ao serviço ecossistêmico de regulação hidrológica surgiu um processo físico, (i) manutenção da umidade atmosférica, e um processo ecológico, (ii) absorção de carbono, atuando no serviço ecossistêmico de contribuição na regulação do clima (Fig. 1 e Fig. 2 Apêndice MS5). Estes processos considerei na construção do modelo-síntese.

Finalmente, para o serviço ecossistêmico de manutenção de áreas de recarga houve o retorno de dois processos hidrológicos, (i) percolação de água nas fraturas das rochas e (ii) escoamento superficial (Fig. 2 Apêndice MS5), e dois processos ecológicos, (iii) infiltração da água no solo devido à presença de macroporos formados pela fauna local e (iv) pulsos de inundação nas planícies de inundação (Fig. 1 e Fig. 2 Apêndice MS6).

(3) Impactos antrópicos impulsionadores da perda dos serviços ecossistêmicos

A revisão da literatura realizada na IV etapa da metodologia retornou 427 artigos, dos quais selecionei os artigos com mais de 100 citações (n=22). Destes 22 artigos, 11 artigos citaram impactos ambientais impulsionadores da perda dos serviços ecossistêmicos. Os resultados obtidos com esta etapa de revisão bibliográfica encontram-se descritos no Apêndice MS4, e subsidiaram a elaboração do modelo-síntese sobre como ações humanas nas bacias hidrográficas levam à perda de fornecimento de água em quantidade e qualidade.

Dos 11 artigos que selecionei, 07 artigos citam desmatamento da vegetação nativa como um importante impacto ambiental na bacia hidrográfica. Nesse universo, quatro artigos consideram que o desmatamento da vegetação nativa atua como fator negativo nas planícies de inundação. De acordo com os artigos que retornaram na revisão da literatura, o desmatamento da vegetação nativa impacta, também, os processos ecológicos de absorção de carbono, formação da serrapilheira e retenção do solo devido à relação solo/raiz, e os processos hidrológicos de escoamento superficial, evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água e precipitação.

Na revisão da literatura realizada referente aos impactos ambientais que levam à perda de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica, a eutrofização foi citada por 02 artigos relevantes. Estes artigos indicam que a eutrofização impacta principalmente os processos ecológicos de processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos, de decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias, bem como a nitrificação/desnitrificação.

O uso de fertilizantes e o lançamento de efluentes configurou como um impacto ambiental nas bacias hidrográficas. Dois artigos fizeram referência ao uso de fertilizantes e ao lançamento de efluentes como impulsionador de outro impacto antrópico na bacia, a eutrofização.

O uso de agrotóxicos configurou-se como um impacto ambiental causador da perda de serviços ecossistêmico nas bacias hidrográficas. O uso de agrotóxicos está diretamente relacionado com a perda da qualidade da água.

A demanda de água pelo agronegócio foi considerada por dois artigos como um impacto ambiental nas bacias hidrográficas. A retirada de água para a agricultura e pecuária afeta diretamente o serviço ecossistêmico de provisão de água em quantidade.

Dois artigos consideraram que o represamento de rios é um impacto impulsionador da perda de serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas. O represamento de rios causa alterações especificamente nos processos hidrológicos de pulsos de inundação nas planícies de inundação e na evaporação dos corpos d'água superficiais.

A canalização de rios, intervenção de engenharia onde ocorre a remoção de meandros e o revestimento das calhas, configurou como impacto nas bacias hidrográficas. A alteração indicada ocorre principalmente no processo hidrológico de erosão/deposição atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água e no processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos.

A ocupação física das planícies de inundação é uma importante alteração do uso das terras das bacias hidrográficas, principalmente em áreas urbanas. Essa alteração é um impacto impulsionador da perda de serviços ecossistêmicos, atuando negativamente em três processos ecológicos, retenção do sedimento devido à relação raízes/solo, infiltração da água no solo devido à presença de macroporos formados pela fauna local e formação da serrapilheira, e um processo hidrológico, pulsos de inundação nas planícies de inundação.

A invasão por espécies exóticas foi considerada uma alteração impactante nas bacias hidrográficas. Este impacto atua em dois processos hidrológicos, pulsos de inundação nas planícies de inundação e evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água.

Finalmente, as mudanças climáticas retornaram da revisão da literatura como um potencial impacto causador da perda de serviços ecossistêmicos em uma bacia hidrográfica. Um artigo de relevância considerou que as mudanças climáticas causam alterações em quatro processos ecológicos, processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos, decomposição dos

nutrientes por fungos e bactérias, nitrificação e desnitrificação e absorção de nutrientes pelos produtores, e um processo hidrológico, precipitação.

(4) Modelo-síntese

Os modelos de mecanismos baseados em explicações se propõem a explicar o comportamento de um sistema em termos das funções desempenhadas por seus componentes, e das interações entre esses componentes (BECHTEL; RICHARDSON, 1993). A construção de modelos começa com questionamentos sobre o funcionamento de sistemas complexos, a identificação do fenômeno de interesse e a determinação da funcionalidade de seus componentes.

Um outro aspecto importante na construção de modelos de mecanismos, é a determinação da escala temporal e espacial do estudo. Utilizar escalas apropriadas facilita a tradução do modelo e, conseqüentemente seu entendimento (PICKETT; KOLASA; JONES, 2007). Apesar do fenômeno de interesse se apresentar em uma escala, ele está conectado, e é afetado, por outras escalas vinculadas (WALKER; SALT, 2006). Os sistemas socioecológicos complexos, como a bacia hidrográfica, operam em diferentes escalas, e essa interligação de escalas é muito importante para o seu gerenciamento (WALKER; SALT, 2006).

Modelos conceituais, como os modelos de mecanismos, que explicam o movimento da água nas paisagens são aspectos-chave sobre o conhecimento de como os contaminantes circulam nos ecossistemas aquáticos, da quantidade e qualidade da água, do manejo de bacias hidrográficas, da delimitação das áreas úmidas e de algumas funções dos ecossistemas terrestres relacionadas com os ambientes aquáticos (HENRY, 2001).

O modelo-síntese (Fig.01), que apresentei neste trabalho, é um modelo conceitual, que tenta explicar os mecanismos de como ocorre o fornecimento dos serviços ecossistêmicos de provisão de água, em quantidade e qualidade, nas bacias hidrográficas, e quais as principais alterações antrópicas que levam à perda desses serviços prioritários para a gestão. Para tanto, esse modelo

conecta os processos ecológicos e os processos hidrológicos com os serviços ecossistêmicos de regulação e de suporte que eles sustentam.

No modelo utilizei 02 serviços ecossistêmicos de provisão como o fenômeno de interesse, água em quantidade e qualidade. Os componentes do modelo foram divididos em dois níveis de hierarquia, o nível hierárquico dos serviços ecossistêmicos, o qual é composto por 07 serviços/componentes de regulação e suporte (controle da erosão, controle de fluxos, ciclagem de nutrientes, purificação natural da água, regulação do ciclo hidrológico, contribuição na regulação do clima e manutenção das áreas de recarga), e o nível dos processos/componentes, o qual é composto por 10 processos ecológicos e por 07 processos hidrológicos. Introduzi, também, no modelo os impactos antrópicos que levam à perda dos serviços ecossistêmicos de provisão de água em quantidade e qualidade. Identifiquei 10 impactos antrópicos: represamento de rios, demanda de água pelo agronegócio, desmatamento da vegetação nativa, mudanças climáticas, uso de agrotóxicos, invasão de espécies exóticas, uso de fertilizantes e lançamento de efluentes, ocupação física das planícies de inundação, eutrofização e canalização de rios.

(5) Cenários Alternativos

Os estudos de cenários futuros é um campo acadêmico que se preocupa por conhecer e antecipar as mudanças na sociedade, no meio ambiente e nas decisões políticas, com o objetivo de se conceber um futuro mais desejável e possível (BENNETT et al., 2016).

A construção de cenários pode ser uma importante ferramenta de acompanhamento da realidade, fazendo com que a sociedade e os órgãos ambientais estejam conscientes dos principais impactos antrópicos que estão ocorrendo nos diferentes ecossistemas, e que levam à perda de serviços ecossistêmicos prioritários. O planejamento por construção de cenários é uma abordagem de gerenciamento que busca a incorporação de respostas antecipadas frente à incerteza dos sistemas naturais (METREVELY, 1977).

Nesse trabalho, proponho um modelo conceitual de como ocorre a provisão dos serviços ecossistêmicos de água em quantidade e qualidade pelas

bacias hidrográficas e quais principais impulsionadores da perda destes serviços. Após, apresento três cenários incorporando os processos ecológicos e hidrológicos, os serviços ecossistêmicos ecohidrológicos e os principais impactos impulsionadores da perda do serviço de provisão de água em quantidade e qualidade.

O primeiro cenário representa uma bacia hidrográfica íntegra, em que identifiquei e mapeei os serviços ecossistêmicos e os processos ecológicos correlatos, a partir de uma base de dados bem consolidada. Este cenário demonstra o mecanismo de funcionamento dos processos ecológicos e hidrológicos, nas escalas em que eles são observados, e correlaciona com os serviços ecossistêmicos ecohidrológicos, e estes com o fenômeno de interesse, o serviço de provisão de água em quantidade e qualidade. Não há introdução de impactos que causem alteração neste cenário. É, portanto, um cenário balizador, em escalas múltiplas, para explicar as conexões ecológicas das escalas cruzadas que moldam fortemente o uso da terra e os serviços ecossistêmicos (KOK et al., 2017).

No segundo cenário apresentei uma bacia hidrográfica e um trecho de rio impactados pelos principais impulsionadores da perda dos serviços ecossistêmicos. As alterações ambientais que impactam diretamente as bacias hidrográficas incluem diferentes estressores, dentre eles, alterações na cobertura vegetal, urbanização não controlada, lançamento de efluentes industriais e residenciais, e intervenções de engenharia significativas, como canalização e represamentos de rios (BRIDGEWATER; GUARINO; THOMPSON, 2017). Não se trata de produzir apenas uma visão distópica de impactos ambientais irreversíveis para uma bacia hidrográfica (BENNETT et al., 2016), mas apresentar um cenário em que o sistema tem suas funções alteradas e assim, deixa de manter a provisão de serviços ecossistêmicos prioritários.

No terceiro cenário, fiz a proposição para uma bacia hidrográfica e um trecho de rio com usos múltiplos, no qual ocorre a promoção dos recursos naturais e se valoriza a resiliência deste sistema socioecológico complexo. Neste cenário os cursos d'água tem o uso moderado por boas práticas. As medidas sugeridas são contrapontos do cenário 2, sem deixar de pensar no

desenvolvimento. Na escala da bacia, foi mantido o represamento sem alteração dos meandros, há a manutenção de 80% da área de vegetação da bacia hidrográfica e o desenvolvimento de sistemas agroflorestais em substituição da agricultura tradicional. Na escala local de um trecho de rio houve o direcionamento das descargas de efluentes para estações de tratamento de efluentes, manutenção das planícies de inundação, manutenção do curso d'água em formas naturais e o desenvolvimento de melhores práticas agrícolas. É um cenário com uma visão inspiradora, baseado em um melhor manejo das bacias hidrográficas, cujo objetivo é conectar determinadas atividades empreendedoras à uma fase de mudança, incluindo seu impacto no processo de transformar o desenvolvimento deste sistema socioecológico complexo em direção a um futuro justo e equitativo (WESTLEY et al., 2013)

Figura 01. Modelo-síntese que explica o mecanismo de provisão de água em quantidade e qualidade pelas bacias hidrográficas. Nas caixas cinza-claro o fenômeno de interesse, serviço de provisão de água em quantidade e qualidade. Nas caixas cinza-escuro os serviços ecossistêmicos hidrológicos de regulação e suporte, primeiro nível de componentes do modelo. Em dupla caixa os processos ecológicos e hidrológicos que sustentam o fornecimento dos serviços ecoidrológicos, segundo nível de componentes do modelo. Em tripla caixa os principais impulsionadores da perda do serviço de provisão de água em quantidade e qualidade. O 'x' indica a perda do serviço ecossistêmico devido ao impacto impulsionador. A seta tracejada indica que não existe uma relação comprovada entre os componentes, mas esta foi feita a partir de suas definições conceituais. Os códigos indicam os artigos que indicam o mecanismo correlato, e encontram dispostos nos Apêndices MS1, MS3 e MS4.

DISCUSSÃO

Nas seções abaixo, discuto como a supervalorização de serviços ecossistêmicos específicos, pela gestão e por determinados setores da sociedade, como a provisão de água em quantidade e qualidade, pode subestimar o valor de se preservar determinadas funções ecossistêmicas prioritárias, a longo prazo. Em seguida, discuto quais os limites de se utilizar um conjunto determinado de componentes (processos ecológicos e hidrológicos) e suas interações definidas. Uma vez que as restrições estabelecidas no modelo-síntese proposto limitam o comportamento dos componentes utilizados, e conseqüentemente, limitam as suas respostas aos principais impactos ambientais antrópicos que impulsionam a perda do serviço ecossistêmico de fornecimento de água em quantidade e qualidade, fenômeno de interesse do modelo apresentado. E finalmente, descrevo como os cenários que elaborei neste trabalho podem ser utilizados pela gestão de recursos hídricos na melhoria de suas ações de planejamento e tomadas de decisão.

- 1. Os serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas estão para além dos serviços de provisão de água em quantidade e qualidade**

As bacias hidrográficas bem preservadas têm maior potencial de fornecer água em quantidade e qualidade para satisfazer as necessidades humanas e do próprio ecossistema que precisa desempenhar suas funções dependentes de água (POSTEL; THOMPSON, 2005; RICHTER et al., 2003). Inúmeros serviços ecossistêmicos são providos pelas bacias hidrográficas, mas configura entre eles, um dos mais prioritários para os seres humanos, o fornecimento de água em quantidade e qualidade. E este, tem um efeito mais direto nas pessoas quanto aos benefícios que propicia (VIGERSTOL; AUKEMA, 2011), e uma forma de mensurar essa importância é verificar o quão insatisfeitos os usuários de água das bacias ficam quando há alterações na entrega desses serviços (BRAUMAN, 2015).

Dentro da perspectiva de que os serviços ecossistêmicos são interdependentes (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009; BIRKHOFFER et al., 2015; FU et al., 2013; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011), alguns serviços podem ser vinculados ao serviço de fornecimento de água em quantidade e qualidade por meio de processos ecoidrológicos que os sustentam. Encontram-se compondo essa relação com os serviços de água em quantidade e qualidade, os serviços ecossistêmicos hidrológicos, que são dependentes do balanço hídrico e da conservação dos ecossistemas terrestres que compõem a bacia hidrográfica (TAFFARELLO et al., 2017). Isso explica como o uso da terra em uma bacia hidrográfica influencia serviços ecossistêmicos de regulação como controle da erosão, controle de fluxos, manutenção de áreas de recarga, regulação do ciclo hidrológico e contribuição na regulação do clima. Além desses, a ciclagem de nutrientes, um serviço ecossistêmico de suporte dependente de áreas terrestres, como áreas das planícies de inundação, e que influencia diretamente o serviço ecossistêmico de purificação de água pela bacia hidrográfica. Todos esses serviços ecossistêmicos intermediários, que demonstrei no modelo-síntese, impactam diretamente o fornecimento de água em quantidade e qualidade pela bacia hidrográfica.

Na maioria das vezes, a gestão de recursos hídricos prima por avaliar diretamente os serviços ecossistêmicos finais, água em quantidade e qualidade, mas essa avaliação não fornece informações sobre como os processos ecológicos e serviços ecossistêmicos intermediários contribuem para a

manutenção dos serviços ecossistêmicos finais, ou sobre como a gestão pode ser adaptada para aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos de interesse. Birkhofer et al.(2015) argumenta que a dificuldade em avaliar os serviços ecossistêmicos intermediários está pautada, principalmente, na falta de indicadores para os processos ecológicos que sustentam esses serviços. Outra dificuldade relatada na literatura científica refere-se em se estabelecer ligações entre processos ecológicos (e.g., formação de serrapilheira, retenção do sedimento devido à relação raízes/solo) e serviços ecossistêmicos, de interesse para a gestão e para a sociedade (e.g., serviço ecossistêmico de provisão de água em quantidade e qualidade, controle da erosão) (BENNETT E.; PETERSON G.; GORDON L., 2009; BIRKHOFER et al., 2015).

Uma forma de se estabelecer essa relação entre os processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos de provisão, objetivo final da gestão, é a partir dos serviços ecossistêmicos de regulação. Infelizmente, muitos exemplos ilustram que são feitos investimentos apenas para garantir a maximização dos serviços ecossistêmicos de provisão, como fornecimento de água em quantidade e qualidade, o que de fato leva ao declínio da capacidade do ecossistema em prover tais serviços ecossistêmicos. É preciso pensar em gerir os processos ecológicos e hidrológicos que sustentam os serviços ecossistêmicos de regulação, como por exemplo, controle de erosão das áreas florestadas e manutenção de suas áreas de recarga, por meio de ações de conservação que propiciem e mantenham infiltração da água no solo, e assim, alcance melhorias no provimento dos serviços finais relacionados.

Para um manejo adequado das bacias hidrográficas, especificamente, é preciso reconhecer como os processos ecológicos causam alterações na provisão dos serviços ecossistêmicos hidrológicos (ROCKSTRÖM et al., 2014). Os processos ecológicos são os meios para o fornecimento dos serviços ecossistêmicos, e o estado de conservação do ecossistema é base material impulsionadora para a manutenção dos processos e serviços (FU et al., 2013). Novamente, é possível perceber que o ecossistema terrestre atua fortemente nos mecanismos de fornecimento de água em quantidade e qualidade. Desta forma, por exemplo, o estado de preservação das planícies de inundação em uma bacia hidrográfica influencia aspectos ecohidrológicos importantes dos

serviços ecossistêmicos de controle de erosão e do controle de fluxos. E mais, o processo ecológico de retenção de sedimentos atuando no controle na erosão; a infiltração da água no solo contribuindo para o controle de erosão e o controle de fluxos; pulsos de inundação atuando no controle de fluxos; manutenção de uma serrapilheira adequada controlando a erosão; e a erosão/deposição na formação dos meandros naturais do curso d'água atuando no controle de fluxos. Esses processos ecológicos que explicam a retenção de água na bacia hidrográfica, uma vez que proporcionam a manutenção da água solo, reabastecem as águas subterrâneas e mantêm água no córrego em si (fluxo interno), são componentes chaves na quantidade de água para o sistema (VIGERSTOL; AUKEMA, 2011).

Quanto à qualidade da água na bacia hidrográfica, a purificação natural é o componente chave para manter esse serviço neste complexo sistema socioecológico. Para Stickler et al. (2009), o principal componente da paisagem associada à qualidade da água é a presença de vegetação nas planícies de inundação, que contribuem para amenizar a temperatura local e assim, favorecer a manutenção de taxas adequadas de oxigênio na água. A purificação natural da água, serviço ecossistêmico de regulação, é dependente de outro serviço ecossistêmico, a ciclagem de nutrientes, que é um serviço de suporte. Ambos, serviços ecossistêmicos hidrológicos, uma vez que regulam a provisão de água em qualidade na bacia hidrográfica. As planícies de inundação funcionam como faixas de amortecimento, segurando contaminantes e nutrientes em excesso, que por escoamento podem atingir os cursos d'água (BRAUMAN et al., 2007). Estas áreas são propícias para o funcionamento de processos ecológicos de nitrificação/desnitrificação e decomposição da matéria orgânica por fungos e outras bactérias. Além de fornecimento de uma área física para a realização desses processos ecológicos que ocorrem em ambiente terrestre, as planícies de inundação contribuem para a manutenção de um ambiente aquático favorável, temperatura e fluxo, para a realização da ciclagem de nutrientes pelos produtores e pela fauna bentônica e outros invertebrados aquáticos.

O principal regulador dos processos ecológicos e hidrológicos que sustentam o fornecimento de água em quantidade e qualidade numa bacia hidrográfica é o ciclo hidrológico (BRIDGEWATER; GUARINO; THOMPSON,

2017). Os processos hidrológicos de precipitação, evaporação e escoamento superficial são primariamente importantes para a disponibilidade de água (JACKSON et al, 2001). Esses três componentes do ciclo hidrológico, são responsáveis pela reciclagem de umidade na interface ecossistemas terrestres – ecossistemas aquáticos (SAVENIJE, 2004), sendo a precipitação o principal fluxo de entrada de água nos sistemas terrestres, a evaporação o principal fluxo de saída para atmosfera e o escoamento superficial o principal fluxo de contribuição dos cursos d'água superficiais. Há outros processos que também estão relacionados com a regulação hidrológica, os processos ecológicos de transpiração, interceptação e absorção de carbono. A transpiração é a água que retorna para atmosfera após produção de biomassa pela vegetação. A interceptação pela vegetação é um fluxo improdutivo, mas é responsável pelo retorno mais rápido da água para a atmosfera favorecendo, assim, a formação de chuvas continentais. A absorção de carbono é um processo ecológico resultante de processo ecológico de transpiração, atua como uma ligação entre os serviços ecossistêmicos de regulação hidrológica e contribuição na regulação do clima.

Ter uma compreensão de como os processos ecológicos estruturam as relações entre os diferentes serviços ecossistêmicos, pode guiar a gestão ambiental no manejo dos ecossistemas com o objetivo de tentar reduzir o conflito por escolhas entre serviços ecossistêmicos (ganha-perde) e reforçar a sinergias entre eles (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009). Sinergias demonstradas no modelo-síntese, sugerem que identificar relações específicas entre serviços ecossistêmicos através de processos ecológicos que os sustentam, pode colaborar na melhoria das tomadas de decisão da gestão como um todo. Uma vez que, ações de aprimoramento de um serviço ecossistêmico intermediário por meio de melhorias no funcionamento natural e automanutenção dos ecossistemas, ou seja, melhoria nos processos ecológicos, aprimorará o fornecimento dos serviços ecossistêmicos finais de interesse. De acordo com o modelo proposto, por exemplo, existe uma sinergia consistente entre o serviço ecossistêmico controle de erosão (serviço de regulação) e o serviço ecossistêmico de provisão de água com qualidade. Um outro exemplo desta tipologia de relação, onde é possível em pensar em sinergia e cogestão de

serviços ecossistêmicos, com perdas no fornecimento de ambos, é ciclagem de nutrientes e qualidade da água.

Entender os mecanismos por trás das relações entre múltiplos serviços ecossistêmicos pode fortalecer a resiliência dos ecossistemas, melhorar a provisão de serviços ecossistêmicos finais e ajudar a evitar resultados inesperados na provisão de serviços ecossistêmicos como um todo.

2. Os limites do modelo-síntese

A demonstração da complexidade inerente aos sistemas socioecológicos, onde existem muitos vínculos entre diferentes componentes (WALKER; SALT, 2006), é um ponto determinante na busca por ferramentas que apresentem a capacidade de prever respostas às diferentes intervenções no sistema. Nesse contexto, modelos ecológicos que identificam os principais processos ou mecanismos que operam em um sistema, são ferramentas úteis na identificação de quais informações são necessárias em situações ou contextos específicos.

Um modelo, para que seja considerado confiável, deve se afastar da realidade e do que é observável para buscar a compreensão de como ocorrem os mecanismos e padrões nas escalas que não são observáveis. Um modelo que se comporta de forma genérica, pode ser aplicável a qualquer sistema ecológico de mesma natureza, no caso em tela, o modelo-síntese pode ser aplicado a qualquer bacia hidrográfica.

Especificamente, ao discorrer sobre mapeamento de serviços ecossistêmicos, como o que desenvolvi neste trabalho, a incerteza está para além da complexidade dos sistemas naturais, está pautada também na capacidade de capturar processos ecológicos relevantes, no dimensionamento das informações mapeadas e na tradução do conhecimento científico.

Uma forma de se superar estas dificuldades, é a utilização de modelos de mecanismos embasados em uma robusta base de dados, a partir de múltiplas fontes, o que de fato apresenta uma elevada capacidade de predição do modelo. Justamente, a integração de um conhecimento científico à uma capacidade de retroalimentação por novas informações para a atualização do modelo a qualquer tempo, é o que afasta a possibilidade de se pensar em um modelo

estático e da incerteza de se gerir sistemas naturais tão complexos, onde um ou mais fatores podem influenciar um processo ecológico (PICKETT; KOLASA; JONES, 2007).

Indo além da integração do conhecimento científico sobre impactos humanos e aspectos sociais no desenvolvimento de modelos baseados em processos (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009; BIRKHOFER et al., 2015), na tentativa de se reduzir a incerteza inerente aos sistemas socioecológicos, o acoplamento de ciclos de “aplicação – revisão” na validação do modelo também aumenta a confiabilidade de sua utilização. A aplicação do modelo-síntese em conjunto com a elaboração de cenários de futuros alternativos poderá contribuir muito com a gestão de recursos hídricos na incorporação de aspectos socioecológicos (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009) e de planejamento adaptativo (KUNDZEWICZ, 2018), embasando ainda mais a tomada de decisão.

E por fim, um modelo-síntese que tem por objetivo explicar os mecanismos e processos envolvidos no fornecimento de água em quantidade e qualidade, em uma bacia hidrográfica, para sua maior confiabilidade, precisa incorporar aspectos relacionados à compreensão atual das mudanças climáticas. Uma vez que, as mudanças climáticas terão um forte impacto nas unidades prestadoras serviços ecossistêmicos intermediários e finais, e mais, associada ao ciclo da água, será o meio pelo qual os seres humanos irão experimentar os principais impactos dessas alterações.

A utilização de práticas de representação de sistemas naturais, como o modelo-síntese que apresentei neste trabalho, o qual demonstra essencialmente a objetividade das relações complexas entre os inúmeros componentes (DASTON; GALISON, 2007) pode sim, ser uma forma de explicação confiável para a gestão, mais ampla, mais interessante e mais plausível, para a tomada de decisão.

3. A utilização dos cenários pela gestão de recursos hídricos

Os cenários são considerados conjuntos de narrativas sobre o futuro, que podem contribuir para a tomada de decisão (BENNETT et al., 2016), apresentando alternativas criativas frente aos desafios da gestão dos sistemas

naturais. O planejamento por cenários oferece uma possibilidade de tomada de decisões mais resilientes, uma vez que confronta a incerteza do sistema apresentando múltiplos cenários contrastantes frente à uma decisão futura (PETERSON; CUMMING; CARPENTER, 2003). Essa ferramenta examina modelos alternativos de como o mundo pode funcionar a partir de decisões que levam em conta a incerteza do sistema de interesse.

O planejamento de cenários alternativos visa a apresentação de futuros alternativos a partir de diferentes motivações. Para Bland & Westlake (2013) , não existe uma categorização exata para os diferentes cenários futuros elaborados durante desenvolvimento da ferramenta. O futuro preferível é o que busca, tão somente, o desenvolvimento para preservação dos recursos naturais. O cenário 1 (Apêndices MS5 e MS6) deste estudo representa um futuro preferível, e elaborei apenas com o objetivo de demonstrar como ocorre a provisão do serviço ecossistêmico de água em quantidade e qualidade em uma bacia hidrográfica íntegra. O cenário 1 não representa um futuro para o planejamento na gestão de recursos hídricos, trata-se de um cenário balizador. O cenário 2 (Apêndices MS7 e MS8) representa um futuro provável, é um futuro que pode acontecer seguindo as tendências atuais. Utilizei o segundo cenário para demonstrar como ocorre a perda do serviço ecossistêmico de provisão de água em quantidade e qualidade. Trata-se de um cenário para inspirar mudanças, nas políticas ambientais e na gestão. O cenário 3 (Apêndices MS9 e MS10) representa um futuro plausível, que surge da nossa compressão de como as coisas funcionam, buscando proteger contra a fragilidade dos sistemas, e garantindo resiliência. Este cenário se baseia em impulsionar melhores práticas no uso dos recursos hídricos, que podem acelerar a adoção de caminhos para a mudança transformadora do desenvolvimento (BENNETT et al., 2016; BLAND; WESTLAKE, 2013). Apresentei nesse cenário soluções baseadas na natureza, que são soluções que usam ou imitam os processos naturais para contribuir de maneira econômica para o melhor gerenciamento da água. Essas abordagens enfatizam a proteção e estabilização dos serviços de água por meio de soluções de infraestrutura tradicionais e verdes combinadas (FARRELL et al., 2015), para melhorar a disponibilidade de água, o gerenciamento da precipitação e umidade, bem como o armazenamento de água na paisagem. Uma forma de alavancar o

financiamento de soluções baseadas na natureza é por meio do pagamento por serviços ambientais (PSA), onde os proprietários de terras a montante são reembolsados por assegurar serviços de água, ou outros serviços ecossistêmicos, dos quais as comunidades a jusante se beneficiam.

É claro que, os cenários que elaborei neste estudo não são projeções de um futuro determinístico, mas elaborei para apresentar à gestão de recursos hídricos ferramentas que possam ser incorporadas à tomada de decisão, levando em conta aspectos chaves no gerenciamento dos sistemas naturais.

Conclusão

(1) Estudos embasados em uma literatura científica sobre bacias hidrográficas relativamente íntegras, traduzidos graficamente, podem ser utilizados na gestão de recursos hídricos no desenvolvimento de recomendações técnicas que incorporem a análise de múltiplos serviços ecossistêmicos e processos ecológicos.

(2) Utilizar a ligação em escalas múltiplas referente à provisão de serviços ecossistêmicos pelas bacias hidrográficas, sob diferentes cenários, é uma abordagem com características de gestão adaptativa, e que pode ser utilizada como ferramenta na elaboração dos planos de bacia pelos órgãos executores das políticas de recursos hídricos.

(3) O modelo-síntese produzido é capaz de explicar sobre como processos ecológicos e hidrológicos geram o serviço ecossistêmico de fornecimento de água em quantidade e qualidade, e demonstra quais impactos antrópicos, locais e globais, podem levar à perda desse serviço, em qualquer bacia hidrográfica.

(4) Os cenários ilustrativos elaborados nesse trabalho é uma ferramenta que apresenta o acoplamento dos estudos a respeito dos serviços ecossistêmicos e dos processos ecológicos à gestão das bacias hidrográficas, configurando um grande ganho para a gestão e para os ecossistemas caso seja utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELL, R.; ALLAN, J. D.; LEHNER, B. Unlocking the potential of protected areas for freshwaters. **Biological Conservation**, v. 134, n. 1, p. 48–63, 2007.

ABERNETHY, B.; RUTHERFURD, I. D. Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks? **Geomorphology**, v. 23, n. 1, p. 55–75, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Cadernos de capacitação em recursos hídricos / Agência Nacional das Águas. Brasília: ANA, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual / Agência Nacional das Águas. Brasília: ANA, 2018.

ALONZO, M.; BOOKHAGEN, B.; ROBERTS, D. A. Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 70–83, 2014.

APARECIDO, L. M. T. et al. Ecohydrological drivers of Neotropical vegetation in montane ecosystems. **Ecohydrology**, v. 11, n. 3, p. 1–17, 2018.

ATTIWILL, P. M. Ecological disturbance and the conservative management of eucalypt forests in Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 63, n. 2–3, p. 301–346, 1994.

BAGSTAD, K. J. et al. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. **Ecosystem Services**, v. 5, n. February 2018, p. 27–39, 2013.

BAHIA. Decreto Estadual Nº 14.024/2012. Aprova o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos.

BAHIA. Lei Estadual Nº 10.431/2006. Dispõe sobre a Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia. Diário Oficial do Estado, Bahia, 20 de dezembro de 2006.

BAHIA. Lei Estadual Nº 11.612/2009. Dispõe sobre a Política de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado, Bahia, 08 de outubro de 2009.

BAI, Y. et al. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. **Ecological Complexity**, v. 8, n. 2, p. 177–183, 2011.

BARON, J. S. et al. Meeting ecological and societal needs for freshwater. **Ecological Applications**, v. 12, n. 5, p. 1247–1260, 2002.

BECHTEL, W.; RICHARDSON, R. C. (1993). Discovering complexity: Decomposition and localization as strategies in scientific research. Princeton, NJ: Princeton University Press.

BENNETT, E. M. et al. Bright spots: seeds of a good Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 14, n. 8, p. 441–448, 2016.

BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, v. 12, n. 12, p. 1394–1404, 2009.

BIGGS, R. et al. Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 421–448, 2012.

BILKOVIC, D. M.; ROGGERO, M. M. Effects of coastal development on nearshore estuarine nekton communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 358, p. 27–39, 2008.

BILLETT, M. F. et al. Carbon balance of UK peatlands: Current state of knowledge and future research challenges. **Climate Research**, v. 45, n. 1, p. 13–29, 2010.

BIRKHOFER, K. et al. Ecosystem services - current challenges and opportunities for ecological research. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 2, n. January, p. 1–12, 2015.

BLAND, J.; WESTLAKE, S. Don't stop thinking about tomorrow: A modest defense of futurology. **Nesta**, n. May, p. 1–24, 2013.

BRADSHAW, C. J. A.; SODHI, N. S.; BROOK, B. W. Tropical turmoil: A biodiversity tragedy in progress. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 2, p. 79–87, 2009.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.433/1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 08 de janeiro de 1997.

BRAUMAN, K. A. et al. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, n. 1, p. 67–98, 2007.

BRAUMAN, K. A. Hydrologic ecosystem services: linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 4, p. 345–358, 2015.

BRIDGEWATER, P.; GUARINO, E.; THOMPSON, R. M. Hydrology in the Anthropocene. Elsevier Inc., 2017. CAMMERAAT, L. H. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27, n. 11, p. 1201–1222, 2002.

BUSCHBACHER, R. a Teoria Da Resiliência E Os Sistemas Socioecológicos : Como Se Preparar Para Um Futuro Imprevisível ? **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 2003, p. 12–24, 2014.

CARPENTER, S. R.; STANLEY, E. H.; VANDER ZANDEN, M. J. State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. **Ssrn**, 2011.

CARRIQUIRY, J. D.; SÁNCHEZ, A. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. **Marine Geology**, v. 158, n. 1–4, p. 125–145, 1999.

CARSE, A. Nature as infrastructure: Making and managing the Panama Canal watershed. **Social Studies of Science**, v. 42, n. 4, p. 539–563, 2012.

CASTELLO, L. et al. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. **Conservation Letters**, v. 6, n. 4, p. 217–229, 2013.

CÉRÉGHINO, R. et al. The ecology of European ponds: Defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. **Hydrobiologia**, v. 597, n. 1, p. 1–6, 2008.

CORBERA, E.; KOSOY, N.; MARTÍNEZ TUNA, M. Equity implications of marketing ecosystem services in protected areas and rural communities: Case studies from Meso-America. **Global Environmental Change**, v. 17, n. 3–4, p. 365–380, 2007.

COSTANZA, R. et al. Integrated Ecological Economic Modeling of the Patuxent River Watershed, Maryland. **Ecological Society of America**, v. 72, n. 2, p. 203–231, 2009.

COWLING, R. M. et al. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 28, p. 9483–9488, 2008.

CROSS, W. F. et al. Ecological stoichiometry in freshwater benthic systems: Recent progress and perspectives. **Freshwater Biology**, v. 50, n. 11, p. 1895–1912, 2005.

DASTON, L.; GALISON, P. (2007). Objectivity. New York: Zone Books.

DATRY, T. et al. Flow intermittence and ecosystem services in rivers of the Anthropocene. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 1, p. 353–364, 2018.

DEFRIES, R. S. et al. Planetary Opportunities: A Social Contract for Global Change Science to Contribute to a Sustainable Future. **BioScience**, v. 62, n. 6, p. 603–606, 2012.

DEFRIES, R.; KARANTH, K. K.; PAREETH, S. Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 12, p. 2870–2880, 2010.

DELLASALA, D. A. et al. The Anthropocene: How the Great Acceleration Is Transforming the Planet at Unprecedented Levels. **Elsevier Inc.**, 2018.

DICKINSON, N. M. et al. Phytoremediation of inorganics: Realism and synergies. **International Journal of Phytoremediation**, v. 11, n. 2, p. 97–114, 2009.

DUGAN, P. J. et al. Fish migration, dams, and loss of ecosystem services in the Mekong basin. **Ambio**, v. 39, n. 4, p. 344–348, 2010.

ELLISON, D.; FUTTER, M. N.; BISHOP, K. On the forest cover-water yield debate: From demand- to supply-side thinking. **Global Change Biology**, v. 18, n. 3, p. 806–820, 2012.

ELMORE, A. J.; KAUSHAL, S. S. Disappearing headwaters: Patterns of stream burial due to urbanization. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, n. 6, p. 308–312, 2008.

ENQUIST, C. et al. Foundations of translational ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 10, p. 541-550, 2017.

FALKENMARK, M. Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 358, n. 1440, p. 2037–2049, 2003.

FARLEY, K. A.; KELLY, E. F.; HOFSTEDDE, R. G. M. Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. **Ecosystems**, v. 7, n. 7, p. 729–739, 2004.

FARRELL, T. et al. Freshwater ecosystem services supporting humans: Pivoting from water crisis to water solutions. **Global Environmental Change**, v. 34, p. 108–118, 2015.

FELD, C. K. et al. From Natural to Degraded Rivers and Back Again: A Test of Restoration Ecology Theory and Practice. In: WOODWARD, G. (Ed.). **Advances in Ecological Research Elsevier**. 1.ed. San Diego: Elsevier Academic Press Inc, 2011. cap. 3, p. 119-209.

FITZHUGH, T. W. ; RICHTER, B. D. Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems. **BioScience**, v. 58, n. 8, p. 741–754, 2004.

FLÁVIO, H. M. et al. Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework Directive. **Science of the Total Environment**, v. 596–597, p. 378–395, 2017.

FLORSHEIM, J. L.; MOUNT, J. F.; CHIN, A. Bank Erosion as a Desirable Attribute of Rivers. **BioScience**, v. 58, n. 6, p. 519, 2008.

FOLEY, J. A. et al. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25–32, 2007.

FU, B. et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. **Ecological Complexity**, v. 8, n. 4, p. 284–293, 2011.

FU, B. et al. Linking ecosystem processes and ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 4–10, 2013.

FULLERTON, A. H. et al. Hydrological connectivity for riverine fish: Measurement challenges and research opportunities. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 11, p. 2215–2237, 2010.

GARCÍA-LLORENTE, M. et al. The role of multi-functionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: An ecosystem service approach. **Environmental Science and Policy**, v. 19–20, p. 136–146, 2012.

GARNIER, J. et al. Modelling the transfer and retention of nutrients in the drainage network of the Danube river. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 3, p. 285–308, 2002.

GASPARATOS, A.; STROMBERG, P.; TAKEUCHI, K. Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: Putting biofuels in the ecosystem services narrative. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, n. 3–4, p. 111–128, 2011.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. Towards Water Security: A Framework for Action Foreword by Ismail Serageldin. **Framework**, 2000.

GLOVER, J. D. et al. Harvested perennial grasslands provide ecological benchmarks for agricultural sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, n. 1–2, p. 3–12, 2010.

GOLDMAN-BENNER, R. L. et al. Water funds and payments for ecosystem services: Practice learns from theory and theory can learn from practice. **Oryx**, v. 46, n. 1, p. 55–63, 2012.

GOOD, S. P.; NOONE, D.; BOWEN, NG. Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes. **Science**, v. 349, n. 6244, p. 175–177, 2015.

GRIZZETTI, B. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, v. 61, p. 194–203, 2016.

GUO, H. et al. Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003–2008. **Journal of Hydrology**, v. 416–417, p. 19–27, 2012.

GUO, Z.; XIAO, X.; LI, D. An Assessment of Ecosystem Services: Water Flow Regulation and Hydroelectric Power Production. **Ecological Applications**, v. 10, n. 3, p. 925–936, 2000.

HARVEY, J. ; GOOSEFF, M. River corridor science: Hydrologic exchange and ecological consequences from bedforms to basins. **Water Resources Research**, v. 51, n. 9, p. 6893–6922, 2015.

HENRY, L. I. N. Hydrogeology-bridging disciplines, scales, and data. n. 02, p. 1–10, 2001.

HERING, D. et al. Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress - An introduction to the MARS project. **Science of the Total Environment**, v. 503–504, p. 10–21, 2015.

HOLMES, T. P. et al. Contingent valuation, net marginal benefits, and the scale of riparian ecosystem restoration. **Ecological Economics**, v. 49, n. 1, p. 19–30, 2004.

HOLTGRIEVE, G. W. et al. Designing river flows to improve food security futures in the Lower Mekong Basin. **Science**, v. 358, n. 6368, p. eaao1053, 2017.

HUXMAN, T. E. et al. Ecohydrological Implications of Woody Plant Encroachment. **Ecology**, v. 86, n. 2, p. 308–319, 2005.

JACKSON, B. et al. Polyscape: A GIS mapping framework providing efficient and spatially explicit landscape-scale valuation of multiple ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, v. 112, n. 1, p. 74–88, 2013.

JACKSON, R. B. et al. Water in a changing world. **Ecological applications**, v. 11, n. 4, p. 1027–1045, 2001.

JENKINS, W. A. et al. Valuing ecosystem services from wetlands restoration in the Mississippi Alluvial Valley. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1051–1061, 2010.

JEWITT, G. Can Integrated Water Resources Management sustain the provision of ecosystem goods and services? **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, n. 11–22, p. 887–895, 2002.

JORDA-CAPDEVILA, D.; RODRÍGUEZ-LABAJOS, B. Socioeconomic Value(s) of Restoring Environmental Flows: Systematic Review and Guidance for Assessment. **River Research and Applications**, v. 33, n. 3, p. 305–320, 2017.

KEDDY, P. A. et al. Wet and Wonderful: The World's Largest Wetlands Are Conservation Priorities. **BioScience**, v. 59, n. 1, p. 39–51, 2009.

KESSTRA, S. et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p. 997–1009, 2018.

KENNARD, M. J. et al. Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 1, p. 171–193, 2010.

KENNEDY, E. V. et al. Avoiding coral reef functional collapse requires local and global action. **Current Biology**, v. 23, n. 10, p. 912–918, 2013.

KOK, M. T. J. et al. Biodiversity and ecosystem services require IPBES to take novel approach to scenarios. **Sustainability Science**, v. 12, n. 1, p. 177–181, 2017.

KREMEN, C.; OSTFELD, R. S. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 3, n. 10, p. 540–548, 2005.

KREUTER, U. P. et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. **Ecological Economics**, v. 39, n. 3, p. 333–346, 2001.

KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Uncertainty in climate change impacts on water resources. **Environmental Science and Policy**, v. 79, n. October 2017, p. 1–8, 2018.

LANDUYT, D. et al. A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modelling. **Environmental Modelling and Software**, v. 46, p. 1–11, 2013.

LARA, A. et al. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 4, p. 415–424, 2009.

LAUTENBACH, S. et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 2, p. 676–687, 2011.

LE MAITRE, D. et al. Invasive alien trees and water resources in South Africa: case studies of the costs and benefits of management. **Forest Ecology and Management**, v. 160, n. 1, p. 143–159, 2002.

LEVIN, L. A. et al. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. **Biogeosciences**, v. 6, n. 10, p. 2063–2098, 2009.

LI, X. et al. Heihe watershed allied telemetry experimental research (HiWater) scientific objectives and experimental design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 8, p. 1145–1160, 2013.

LI, X. et al. Watershed allied telemetry experimental research. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 114, n. 22, 2009.

LIMBURG, K. E.; WALDMAN, J. R. Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. **BioScience**, v. 59, n. 11, p. 955–965, 2009.

LIN, Y.-P. et al. Integrating Social Values and Ecosystem Services in Systematic Conservation Planning: A Case Study in Datuan Watershed. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 718, 2017.

LITTLE, C. et al. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. **Journal of Hydrology**, v. 374, n. 1–2, p. 162–170, 2009.

LOOMIS, J. et al. Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: Results from a contingent valuation survey. **Ecological Economics**, v. 33, n. 1, p. 103–117, 2000.

LOPES-LIMA, M. et al. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. **Biological Reviews**, v. 92, n. 1, p. 572–607, 2017.

MALAJ, E. et al. Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 26, p. 9549–9554, 2014.

MALMQVIST, B. Aquatic invertebrates in riverine landscapes. **Freshwater Biology**, v. 47, n. 4, p. 679–694, 2002.

MARTÍNEZ, M. L. et al. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1856–1863, 2009.

MCDOWELL, W. H. Dissolved organic matter in soils - Future directions and unanswered questions. **Geoderma**, v. 113, n. 3–4, p. 179–186, 2003.

MCKINLEY, D. C. et al. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. **Ecological Applications**, v. 21, n. 6, p. 1902–1924, 2011.

MEYER, J. L. Stream health: incorporating the human dimension to advance stream ecology. **J. N. Am. Benthol. Soc.**, v. 16, n. 2, p. 439–447, 1997.

MEYER, J. L.; PAUL, M. J.; TAULBEE, W. K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 602–612, 2005.

MILDER, J. C.; SCHERR, S. J.; BRACER, C. Trends and Future Potential of Payment for Ecosystem Services to Alleviate Rural Poverty in Developing Countries. **Ecology and Society**, v. 15, n. 2, p. 4, 2010.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

MILLER, J. D.; HUTCHINS, M. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 12, n. July, p. 345–362, 2017.

MOLDEN, D. et al. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 528–535, 2010.

MONTGOMERY, D. R. Process domains and the river continuum. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 2, p. 397–410, 1999.

MUBAKO, S. T.; RUDELL, B. L.; MAYER, A. S. Relationship between Water Withdrawals and Freshwater Ecosystem Water Scarcity Quantified at Multiple Scales for a Great Lakes Watershed. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 6, p. 671–681, 2013.

MULHOLLAND, P. J. et al. Effects of climate change on freshwater ecosystems of the south-eastern United States and the Gulf Coast of Mexico. **Hydrological Processes**, v. 11, n. 8, p. 949–970, 1997.

MUNIA, H. et al. Water stress in global transboundary river basins: Significance of upstream water use on downstream stress. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 1, 2016.

NEDKOV, S.; BURKHARD, B. Flood regulating ecosystem services — Mapping supply and demand , in the Etropole municipality , Bulgaria. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 67–79, 2012.

NEL, J. L. et al. Progress and challenges in freshwater conservation planning. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 19, n. 4, p. 474-485, 2009.

NEL, J. L. et al. Rivers in peril inside and outside protected areas: A systematic approach to conservation assessment of river ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 13, n. 3, p. 341–352, 2007.

NEL, J. L. et al. Strategic water source areas for urban water security: Making the connection between protecting ecosystems and benefiting from their services. **Ecosystem Services**, v. 28, p. 251–259, 2017.

NELSON, E. et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 1, p. 4–11, 2009.

NEWELL, R. I. E. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review. **Journal of Shellfish Research**, v. 23, n. 1, p. 51-61, 2004.

NHAMO, L.; MAGIDI, J.; DICKENS, C. Determining wetland spatial extent and seasonal variations of the inundated area using multispectral remote sensing. **Water SA**, v. 43, n. 4, p. 543–552, 2017.

NIENSTEDT, K. M. et al. Development of a framework based on an ecosystem services approach for deriving specific protection goals for environmental risk assessment of pesticides. **Science of the Total Environment**, v. 415, p. 31–38, 2012.

ORTH, R. J. et al. A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. **BioScience**, v. 56, n. 12, p. 987, 2006.

PARR, T. W. et al. Detecting environmental change: Science and society - Perspectives on long-term research and monitoring in the 21st century. **Science of the Total Environment**, v. 310, n. 1–3, p. 1–8, 2003.

PATTANAYAK, S. K.; WUNDER, S.; FERRARO, P. J. Show me the money: Do payments supply environmental services in developing countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4, n. 2, p. 254–274, 2010.

PATTEN, D. T. Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts. **Wetlands**, v. 18, n. 4, p. 498–512, 1998.

PETERSON, D.; CUMMING, G. S.; CARPENTER, S. R. Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world. **Conservation biology**, v. 17, n. 2, p. 358-366, 2003.

PICKETT, S. T. A., KOLASA, J., JONES, C. G. (2007). *Ecological understanding: the nature of the theory and the theory of nature*. 2nd ed. San Diego: Academic Press.

PINAY, G.; CLÉMENT, J. C.; NAIMAN, R. J. Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems. **Environmental Management**, v. 30, n. 4, p. 481–491, 2002.

PIRES, R. S. J.; SANTOS, E. J.; DEL PRETTE, E. M. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. *Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações*. 2002. Cap. 1, p. 17-35.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, v. 29, p. 98–108, 2005.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 447–465, 2008.

PRICE, K. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 4, p. 465–492, 2011.

PRINGLE, C. M. Exploring How Disturbance Is Transmitted Upstream: Going against the Flow. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, n. 2, p. 425–438, 1997.

QI, M. et al. Resilience changes in watershed systems: A new perspective to quantify long-term hydrological shifts under perturbations. **Journal of Hydrology**, v. 539, p. 281–289, 2016.

QIU, J.; TURNER, M. G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 29, p. 12149–12154, 2013.

RASUL, G. Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. **Environmental Science and Policy**, v. 39, p. 35–48, 2014.

RICHARDS, K.; BRASINGTON, J.; HUGHES, F. Geomorphic dynamics of floodplains: Ecological implications and a potential modelling strategy. **Freshwater Biology**, v. 47, n. 4, p. 559–579, 2002.

RICHTER, B. D. Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows for Ecological Integrity. **Ecological Applications**, v. 13, n. 1, p. 206–224, 2003.

RICHTER, B. D. et al. A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. **River Research and Applications**, v. 22, n. 3, p. 297–318, 2006.

ROBINSON, D. A. et al. Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 1, p. 358, 2008.

ROCKSTRÖM, J. et al. Managing water in rainfed agriculture-The need for a paradigm shift. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 543–550, 2010.

ROCKSTRÖM, J. et al. The unfolding water drama in the Anthropocene: Towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. **Ecohydrology**, v. 7, n. 5, p. 1249–1261, 2014.

ROCKSTROM, J.; BARRON, J.; FOX, P. Rainwater management for increased productivity among smallholder farmers in drought-prone environments. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, n. 11–22, p. 949–959, 2002.

ROSA, I. M. D. et al. Multiscale scenarios for nature futures. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 10, p. 1416–1419, 2017.

SAUCHYN, D. J. et al. Adaptive Water Resource Planning in the South Saskatchewan River Basin: Use of Scenarios of Hydroclimatic Variability and Extremes. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 52, n. 1, p. 222–240, 2016.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 2004.

SCHINDLER, D. E. et al. Population diversity and the portfolio effect in an exploited species. **Nature**, v. 465, n. 7298, p. 609–612, 2010.

ŞEKERCIOĞLU, Ç. H. et al. Turkey's globally important biodiversity in crisis. **Biological Conservation**, v. 144, n. 12, p. 2752–2769, 2011.

SELBY, J. et al. Climate change and the Syrian civil war revisited. **Political Geography**, v. 60, p. 232–244, 2017.

SEMWAL, R. L. et al. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: A case study from central Himalaya, India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 102, n. 1, p. 81–92, 2004.

SEPPELT, R. et al. Form follows function? Proposing a blueprint for ecosystem service assessments based on reviews and case studies. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 145–154, 2012.

SEYFRIED, A. M. S. et al. Ecohydrological Control of Deep Drainage in Arid and Semiarid Regions. **Ecological Society of America**, v. 86, n. 2, p. 277–287, 2009.

SOS – MATA ATLÂNTICA. Observando os rios 2018: O retrato da qualidade da água nas bacias da Mata Atlântica. Brasil, 2018. Disponibilidade e acesso em: <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2018/03/SOSMA_Observando-os-Rios-2018_online.pdf>. Acessado em 25/02/2019.

STANFORD, J. A. et al. a General Protocol for Restoration of Regulated Rivers. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 12, n. 45, p. 391–413, 1996.

STENDERA, S. et al. Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: A review. **Hydrobiologia**, v. 696, n. 1, p. 1–28, 2012.

STICKLER, C. M. et al. The potential ecological costs and cobenefits of REDD: A critical review and case study from the Amazon region. **Global Change Biology**, v. 15, n. 12, p. 2803–2824, 2009.

STIEGLITZ, M. et al. An approach to understanding hydrologic connectivity on the hillslope and the implications for nutrient transport. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 4, p. n/a-n/a, 2003.

STIEGLITZ, M. et al. An approach to understanding hydrologic connectivity on the hillslope and the implications for nutrient transport. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 4, p. 16/1-16/15, 2003.

STOSCH, K. C. et al. Managing multiple catchment demands for sustainable water use and ecosystem service provision. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 9, 2017.

STUBBINGTON, R. et al. Biomonitoring of intermittent rivers and ephemeral streams in Europe: Current practice and priorities to enhance ecological status assessments. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1096–1113, 2018.

SU, S. et al. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. **Applied Geography**, v. 34, p. 295–305, 2012.

SWALLOW, B. et al. Tradeoffs among Ecosystem Services in the Lake Victoria Basin. **World Agroforestry Centre**, 2008.

SWEENEY, B. W. et al. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 39, p. 14132–14137, 2004.

TAFFARELLO, D. et al. Hydrological services in the Atlantic Forest, Brazil: An ecosystem-based adaptation using ecohydrological monitoring. **Climate Services**, v. 8, n. November, p. 1–16, 2017.

TERRADO, M. et al. Integrating ecosystem services in river basin management plans. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 3, p. 865–875, 2016.

THIERE, G. et al. Wetland creation in agricultural landscapes: Biodiversity benefits on local and regional scales. **Biological Conservation**, v. 142, n. 5, p. 964–973, 2009.

THOMAS, K. E. et al. Land-use practices influence nutrient concentrations of southwestern Ontario streams. **Canadian Water Resources Journal**, v. 43, n. 1, p. 2–17, 2018.

THORP, J. H.; THOMS, M. C.; DELONG, M. D. The riverine ecosystem synthesis: Biocomplexity in river networks across space and time. **River Research and Applications**, v. 22, n. 2, p. 123–147, 2006.

TOCKNER, K.; STANFORD, J. A. Riverine flood plains: Present state and future trends. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 3, p. 308–330, 2002.

TOMBACK, D. F.; ACHUFF, P. Blister rust and western forest biodiversity: Ecology, values and outlook for white pines. **Forest Pathology**, v. 40, n. 3–4, p. 186–225, 2010.

TOWNSEND, P. A. et al. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976-2006 Landsat time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 1, p. 62–72, 2009.

TRIPLER, C. E. et al. Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. **Ecology Letters**, v. 9, n. 4, p. 451–466, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: Case studies from Brazil. **Ecohydrology and Hydrobiology**, v. 16, n. 2, p. 83–91, 2016.

TURPIE, J. K.; HEYDENRYCH, B. J.; LAMBERTH, S. J. Economic value of terrestrial and marine biodiversity in the Cape Floristic Region: Implications for defining effective and socially optimal conservation strategies. **Biological Conservation**, v. 112, n. 1–2, p. 233–251, 2003.

TURPIE, J. K.; MARAIS, C.; BLIGNAUT, J. N. The working for water programme: Evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 788–798, 2008.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. Nature-based solutions for water. 2018.

VALETT, H. M. et al. Parent lithology, surface-groundwater exchange, and nitrate retention in headwater streams. **Limnology and Oceanography**, v. 41, n. 2, p. 333–345, 1996.

VAUGHAN, I.P. et al. Integrating Ecology with Hydromorphology: A Priority for River Science and Management. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v.19, p.113 – 125, 2009.

VERSCHUREN, D. et al. History and timing of human impact on Lake Victoria, East Africa. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 269, n. 1488, p. 289–294, 2002.

VIGERSTOL, K. L.; AUKEMA, J. E. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2403–2409, 2011.

WALKER, B. et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, 2004.

WALKER, B.; SALT, D. (2006). Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world. Washington: Island Press.

WALLACE, K. J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. **Biological Conservation**, v. 139, n. 3–4, p. 235–246, 2007.

WALSH, C. J. et al. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 706–723, 2005.

WANG, R. et al. Flickering gives early warning signals of a critical transition to a eutrophic lake state. **Nature**, v. 492, n. 7429, p. 419–422, 2012.

WANG, Y. et al. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 85, n. 1, p. 58–66, 2011.

WATTS, G. Water for people: Climate change and water availability. In: FUNG, F.; LOPEZ, A.; NEW, M. Modelling the Impact of Climate Change on Water Resources. 2011. Cap. 4, p. 86 -127.

WIPFLI, M. S.; RICHARDSON, J. S.; NAIMAN, R. J. Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: Transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 72–85, 2007.

WITHERS, P. J. A.; JARVIE, H. P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. **Science of the Total Environment**, v. 400, n. 1–3, p. 379–395, 2008.

WOLFF, S.; SCHULP, C. J. E.; VERBURG, P. H. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. **Ecological Indicators**, v. 55, p. 159–171, 2015.

XUE, J. et al. Model development of a participatory Bayesian network for coupling ecosystem services into integrated water resources management. **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 50–65, 2017.

ZAFIRAH, N. et al. Sustainable ecosystem services framework for tropical catchment management: A review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 4, p. 1–25, 2017.

ZEDLER, J. B. Wetlands at Your Service: Reducing Impacts of Agriculture at the Watershed Scale. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 2, p. 65, 2003.

ZEDLER, J. B.; KERCHER, S. WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, n. 1, p. 39–74, 2005.

ZIPPER, C. E. et al. Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines. **Environmental Management**, v. 47, n. 5, p. 751–765, 2011.

Material Suplementar

Apêndice MS1 – Lista dos 100 artigos mais citados na base Web Of Science que foram resgatados com a expressão de busca (“(ecosystem* NEAR/4 service*) AND (watershed* OR ‘river basin*’ OR catchment*)”). Para cada artigo são apresentados os trechos que indicam serviços ecossistêmicos providos por bacias hidrográficas. Os serviços ecossistêmicos foram destacados em negrito; as referências a bacias hidrográficas foram sublinhadas. N – refere-se aos artigos que não apresentaram relevância para os serviços ecossistêmicos providos pela bacia hidrográfica.

	TÍTULO DO ARTIGO	AUTOR(ES)	TRECHOS QUE SE REFEREM AOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PROVIDOS PELAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
1	Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales	NELSON et al., 2009	"We apply InVEST to three plausible land-use/land-cover (LU/LC) change scenarios in the <u>Willamette Basin</u> , Oregon (Figure 1). We show how these different scenarios affect hydrological services (water quality and storm peak mitigation), soil conservation , carbon sequestration , biodiversity conservation , and the value of several marketed commodities (agricultural crop products, timber harvest, and rural–residential housing)."
2	Riverine flood plains: present state and future trends	TOCKNER; STANFORD, 2002	" <u>Flood plains</u> need to be understood by the general public for the values they provide in the form of natural goods (harvestable fisheries) and services (natural cleansing of water)." "The major services of <u>flood plains</u> include disturbance regulation (37% of their total value), water supply (39%) and waste treatment (9%). Nitrogen removal , an important floodplain service, varies from 0.5 to 2.6 kg N ha ⁻¹ day ⁻¹ (e.g. 2.6 kg NO ₃ –N ha ⁻¹ day ⁻¹ in a Danubian <u>flood plain</u> ; Tockner et al. 1999). <u>Flood plains</u> along the Danube are valued at EUR 384 ha ⁻¹ yr ⁻¹ for recreation and nutrient removal (Andréasson-Gren & Groth 1995; 1 EUR = 0.88 US\$, March 2001). Similarly, the nitrogen reduction capacity of Estonian coastal and <u>floodplain wetlands</u> is worth EUR 510 ha ⁻¹ yr ⁻¹ ."

3	Understanding relationships among multiple ecosystem services	BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009	N
4	Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability	ZEDLER; KERCHER, 2005	<p>"As <u>wetland</u> area is lost, key functions (ecosystem services) are also lost. Four of the functions performed by <u>wetlands</u> stand out as having global significance and value as an "ecosystem service": biodiversity support, water quality improvement, flood abatement, and carbon management."</p> <p>"The ecosystem services provided by <u>wetlands</u> include the purification of air and water; regulation of rainwater runoff and drought; waste assimilation and detoxification; soil formation and maintenance; control of pests and disease; plant pollination; seed dispersal and nutrient cycling; maintaining biodiversity for agriculture, pharmaceutical research and development, and other industrial processes; protection from harmful UV radiation; climate stabilization (for example, through C sequestration); and moderating extremes of temperature, wind, and waves."</p> <p>"The 10 functions with the highest values (U.S. dollars per ha per year) include recreation (\$492), flood control and storm buffering (\$464), recreational fishing (\$374), water filtering (\$288), biodiversity support (\$214), habitat nursery (\$201), recreational hunting (\$123), water supply (\$45), materials (\$45), and fuel wood (\$14) (75)."</p>
5	Population diversity and the portfolio effect in an exploited species	SCHINDLER et al., 2010	N
6	The nature and value of ecosystem services: An overview	BRAUMAN et al., 2007	"From the supply of water for household use to the mitigation of flood damages , people rely on ecosystems to provide many water related services."

	highlighting hydrologic services		<p>"Water supply is a provisioning service describing ecosystem modification of water used for extractive and in situ purposes."</p> <p>"In situ uses include hydropower generation, water recreation, and transportation, as well as freshwater fish production."</p> <p>"Water damage mitigation is a regulating service; it includes ecosystem mitigation of flood damage, of sedimentation of water bodies, of saltwater intrusion into groundwater, and of dryland salinization."</p> <p>"Cultural hydrologic services include spiritual uses, aesthetic appreciation, and tourism. The water-related supporting services of terrestrial ecosystems are wideranging and include the provision of water for plant growth and to create habitats for aquatic organisms."</p> <p>Figura 3, Página 73: Water for hydropower, recreation, transportation, supply of fish and other freshwater products, reduction of flood damage, dryland salinization, saltwater intrusion, sedimentation, provision of religious, educational, tourism values, water and nutrients to support vital estuaries and other habitats, preservation of options.</p> <p>Figura 4, Página 75: Carbon sequestration, air pollutant removal, pollination, nontimber forest products, soil development, timber, wildlife habitat, local climate modification, recreation, water supply.</p>
7	Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence	PRETTY, 2008	N

8	Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey	LOOMIS et al., 2000	<p>"Rivers can provide many services to humans, including water supply for municipal, industrial and agricultural users, fish habitat and recreation."</p> <p>"In essence, one ecosystem service from the <u>watershed</u>, irrigation water supply, along with 'edge to edge' agriculture has greatly diminished other ecosystem services such as: natural purification of water; erosion control; habitat for fish and wildlife; dilution of wastewater; recreation use."</p> <p>"Restoring vegetation buffer strips along streams to increase ecosystem services such as erosion control, water quality, fish and wildlife habitat along with limited recreation opportunities."</p>
9	An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation	COWLING et al., 2008	N
10	Stream ecosystem function in urbanizing landscapes	MEYER; PAUL; TAULBEE, 2005	N
11			"Nitrogen (as ammonium) and phosphorus (as orthophosphate) uptake and degradation of pesticides were studied as

	Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services	SWEENEY et al., 2004	<p>representative and important measures of stream ecosystem services."</p> <p>"Unlike conventional stream ecosystem studies, which compare activity on a per-unit-area <u>basis</u>, we analyzed the amount of stream ecosystem and its activity per unit of channel length. We did so because (i) stream width responds significantly to riparian vegetation, and (ii) stream ecosystem services (processing of organic matter, nutrients, and pollutants) are delivered on a per-unit-of-stream-length <u>basis</u>."</p> <p>"Moreover, forested streams had an equivalent amount of all other important ecosystem components (BDOM and fish) and a greater-than expected delivery of an ecosystem service (pesticide degradation) that is closely tied to physical (water velocity and benthic surface area), chemical (hydrolysis), and biological (microbial) factors."</p> <p>"Additionally, if our results were scaled up to the <u>watershed</u> level, they could significantly affect economic analyses (31) that weigh the loss of nonmarketed services of riparian forests (e.g., water quality and quantity, flood regulation, erosion control, recreation, carbon stocks, endangered species, wildlife corridors, etc.) against the marketed benefits of deforestation (e.g., timber harvest and dairy, beef, and row-crop production)."</p>
12	Meeting ecological and societal needs for freshwater	BARON et al., 2002	N
13	Wetlands at your service: reducing	ZEDLER, 2003	<p>"Lost services include flood abatement, improved water quality, and support for biodiversity"</p> <p>"We need to prioritize the types of wetlands to be restored, the total area needed, and the best locations for restoration, in order</p>

	impacts of agriculture at the watershed scale		to restore ecosystem services such as biodiversity support, nutrient removal, and flood abatement at <u>watershed</u> and river basin scales."
14	Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review	WITHERS; JARVIE, 2008	N
15	Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries?	PATTANAYAK; WUNDER; FERRARO, 2010	N
16	Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos	LEVIN et al., 2009	N
17	Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services	BIGGS et al, 2012	N
18	Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes	LIMBURG; WALDMAN, 2009	N
19	Unlocking the potential of protected areas for freshwaters	ABELL; ALLAN; LEHNER, 2007	N
20	Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution	MOLDEN et al., 2010	" Fisheries in lakes, rivers and wetlands are only one of the many ecosystem services provided by aquatic ecosystems."

21	Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin	FOLEY et al., 2007	"Other ecosystem services, such as pollination and flood control , are somewhat less obvious and may appear over larger spatial scales, extending over complex landscapes and whole <u>watersheds</u> ."
22	Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas	KREUTER et al., 2001	N
23	State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes	CARPENTER; STANLEY; VANDER ZANDEN, 2011	" Fish production is a valuable provisioning ecosystem service generated by freshwater."
			"Though floodplains cover ~1.5% of land surface, they provide >25% of all terrestrial ecosystem services including nutrient removal, flood regulation, water supply, and fishery production. "
			Figura 3, Página 90: "Ecosystem services: food and fiber production, freshwater, flood regulation, nutrient regulation, carbon sequestration, recreation, aesthetics "
24	Managing water in rainfed agriculture-The need for a paradigm shift	ROCKSTRÖM et al., 2010	"Yet key ecosystem services, such as agricultural production , depend on green water in terrestrial ecosystems."
25	History and timing of human impact on Lake Victoria, East Africa	VERSCHUREN et al., 2002	N

26	A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services	KREMEN; OSTFELD, 2005	Figura 01, página 541: "(c) Regulating services: forests surrounding rivers provide flood control and can help to justify conservation (the Namorana River in Ranomafana National Park, SE Madagascar)."
27	Equity implications of marketing ecosystem services in protected areas and rural communities: Case studies from Meso-America	CORBERA; KOSOY; MARTÍNEZ TUNA, 2007	N
28	A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States	MCKINLEY et al., 2011	N
29	The working for water programme: Evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa	TURPIE; MARAIS; BLIGNAUT, 2008	"Thus, a system that encourages the conservation of <u>catchment</u> areas for water supply will also make an important contribution to habitat maintenance and biodiversity conservation ."
30	Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale	MALAJ et al., 2014	N
31		PATTEN, 1998	"By trapping or filtering sediment, nutrients, and pollutants transported during floods, riparian vegetation reduces downstream

	Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts		sediment loads and improves water quality. "
			"Dense stands of riparian vegetation in the <u>floodplain</u> also reduce downstream flooding by causing the river to spread while slowing its velocity, which in turn, enhances ground-water recharge. "
			"The width and density of riparian vegetation directly influence the amount of soil and sediment lost to the river from eroding , poorly-managed upland areas and also the rate of immobilization of fertilizers, pesticides , and other natural, applied, or spilled contaminants that may be present."
			" Canopies of plants growing on streambanks provide shade, cooling stream water , while roots stabilize and create overhanging banks, providing habitat for fish and other aquatic organisms. "
			" <u>Rivers</u> have been managed regionally to produce water for irrigation, generate hydroelectric power , and for flood control. "
32	Tropical turmoil: a biodiversity tragedy in progress	BRADSHAW; SODHI; BROOK, 2009	N
33	Invasive alien trees and water resources in South Africa: case studies of the costs and benefits of management	LE MAITRE et al., 2002	N
34	The ecology of European ponds: defining the	CÉRÉGHINO et al., 2008	N

	characteristics of a neglected freshwater habitat		
35	Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: Transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels	WIPFLI; RICHARDSON; NAIMAN, 2007	N
36	Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China	FU et al., 2011	N
37	Flickering gives early warning signals of a critical transition to a eutrophic lake state	WANG et al., 2012	N
38	Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services	POSTEL; THOMPSON, 2005	<p>"Because <u>watersheds</u> connect and encompass terrestrial, freshwater, and coastal ecosystems, they perform a wide variety of valuable services, including the supply and purification of fresh water, the provision of habitat that safeguards fisheries and biological diversity, the sequestering of carbon that helps mitigate climatic change, and the support of recreation and tourism."</p> <p>Tabela 1, página 98: Water supplies for agricultural, industrial, and urban-domestic uses, water filtration/purification, flow regulation, flood control, erosion and sedimentation control, fisheries, timber and other forest products, recreation/tourism, habitat for biodiversity preservation, aesthetic enjoyment, climate stabilization, cultural, religious, inspirational values.</p> <p>"The ability of healthy <u>watersheds</u> to moderate water flows and purify drinking water supplies is one of their most tangible and</p>

valuable services."

"The failure to formally recognize, protect, and manage the **water purification** and **sediment control** services provided by the watershed has led to the creeping deterioration of these hydrological services during a period of rapid population growth and rising land pressures."

"Although forests and wetlands are unambiguously good at **cleansing water supplies**, their **ability to increase dry-season flows, reduce flood damage, and perform other water supply services** varies with local conditions."

"Land designated as protected, however, may in some cases be used by local inhabitants for farming, grazing, fuelwood collection, or other enterprises that potentially can compromise the provision of **water supply services**."

"Ecosystem services that are potentially complementary to the natural water supply and purification services provided by watersheds include **soil conservation; sedimentation control; fisheries protection; carbon sequestration; biodiversity conservation; recreation; tourism; and cultural and aesthetic enhancements**."

"Such a transaction would transform what is now a project subsidy of limited duration to participating farmers into an ongoing compensation payment for a valuable watershed service that these farmers can continue to provide — the protection of drinking **water quality**."

			"Although varying levels of coordination between the two groups occur, the separation of functions makes it more difficult to integrate a <u>watershed's</u> natural purification services with particular water quality goals."
39	PHYTOREMEDIATION OF INORGANICS: REALISM AND SYNERGIES	DICKINSON et al., 2009	N
40	Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review	PRICE, 2011	N
41	Disappearing headwaters: patterns of stream burial due to urbanization	ELORE; KAUSHAL, 2008)	N
42	Avoiding Coral Reef Functional Collapse Requires Local and Global Action	KENNEDY et al., 2013	N
43	Rivers in peril inside and outside protected areas: a systematic approach to conservation assessment of river ecosystems	NEL et al., 2007	N

44	Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale	SU et al., 2012	N
45	A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation	BAGSTAD et al., 2013	N
46	On the forest cover-water yield debate: from demand- to supply-side thinking	ELLISON; FUTTER; BISHOP, 2012	N
47	The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems	(CASTELLO et al., 2013)	N
48	Stream health: Incorporating the human dimension to advance stream ecology	MEYER, 1997	Tabela 1, página 441: Cleansing and detoxifying water, producing fish for angling, reducing sediment inputs to coastal zone, providing aesthetic pleasure, maintaining water supply, decomposing organic matter, storing and regenerating essential elements.
49	Blister rust and western forest biodiversity: ecology, values and outlook for white pines	TOMBACK; ACHUFF, 2010	N

50	The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region	STICKLER et al., 2009	N
51	Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data	LAUTENBACH et al., 2011	N
52	Fish Migration, Dams, and Loss of Ecosystem Services in the Mekong Basin	DUGAN et al., 2010	N
53	Turkey's globally important biodiversity in crisis	ŞEKERCIOĞLU et al., 2011	N
54	A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services	VIGERSTOL; AUKEMA, 2011	" Water flow regulation ensures sufficient water supply , controls against floods , and provides instream flows for fish ; water quality regulation provides clean water for humans and species on which humans rely ; and sediment regulation can minimize costs of removing sediment from downstream water resource structures."
			"Some of the services that people benefit from most directly include the provision of drinking water , irrigation water , hydropower , fish , opportunities for recreation , and flood mitigation ."

55	Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone environments	ROCKSTROM; BARRON; FOX, 2002	N
56	Restoring Forests and Associated Ecosystem Services on Appalachian Coal Surface Mines	ZIPPER et al., 2011	N
57	An assessment of ecosystem services: Water flow regulation and hydroelectric power production	GUO; XIAO; LI, 2000	N
58	Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion	ALONZO; BOOKHAGEN; ROBERTS, 2014	N
59	Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed	QIU; TURNER, 2013	<p>"Ecosystem services related to freshwater (e.g., water supply, surface and groundwater quality, and flood regulation) are of particular concern in agricultural and urban landscapes. "</p> <p>Tabela 1, página 12150: Crop production , pasture production, freshwater supply , carbon storage, groundwater quality, surface water quality, soil retention, flood regulation, forest recreation, hunting recreation.</p>

			<p>"The first factor ("forest and water synergies") identified positive relationships among four services, of which three were regulating services (carbon storage, surface water quality, and soil retention) and one was a cultural service (forest recreation). The second factor ("pasture and water synergies") identified positive relationships among two provisioning services (pasture production and freshwater supply) and a regulating service (flood regulation). The third factor ("crop and water quality tradeoffs") identified tradeoffs between a provisioning service (crop yield) and two regulating services (ground and surface water quality). One service (hunting) remained independent (all factor loadings <0.30)."</p> <p>"The four hydrologic services (freshwater supply, surface and groundwater quality, flood regulation) were distributed among the three orthogonal factors (Table 2)."</p> <p>"Surprisingly, the only tradeoff among the 10 ecosystem services we quantified was between crop production and water quality(...) Environmental externalities that increase food supply at the expense of regulating services such as water purification may undermine the resilience of agricultural landscapes and the ecosystem services they provide."</p> <p>Tabela 2, página 12153: Crop production , pasture production, freshwater supply , carbon storage, groundwater quality, surface water quality, soil retention, flood regulation, forest recreation, hunting recreation.</p>
60	Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians	TOWNSEND et al., 2009	N

	detected using a 1976-2006 Landsat time series		
61	Flood regulating ecosystem services- Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria	NEDKOV; BURKHARD, 2012	<p>"This is especially true in areas where people settled too close to water bodies or constructed their properties in previous flood plains. Additional problems arise when people actively modify water bodies, <u>watersheds</u>, or flood plains. Hence, most of the flood-related disservices are ecosystem functions created by human activities. On the other hand, flood protection is one of the most important regulating ecosystem services that may increase or reduce the negative effects of water-related disasters."</p> <p>"Hence, flood regulating ecosystem service assessments should conform to the biophysical characteristics and the likelihood of a flood in the particular area."</p> <p>" If efficient natural flood protection and mitigation are to be achieved in this region, the supply of flood regulating ecosystem services by nature on the one hand should spatially match the demands of society on the other hand. This is especially interesting in the case of flood regulation as related services have to be provided in regions which are directly linked to the area where the demand is located, for example along the same watercourse or within the same <u>watershed</u>. In contrast to many other ecosystem services, flood regulating services cannot be imported from other regions."</p>

62	Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes	DEFRIES; KARANTH; PAREETH, 2010	N
63	Soil organic carbon and water retention following conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadoran Andes	FARLEY; KELLY; HOFSTEDE, 2004	N
64	Economic value of terrestrial and marine biodiversity in the Cape Floristic Region: implications for defining effective and socially optimal conservation strategies	TURPIE; HEYDENRYCH; LAMBERTH, 2003	N
65	Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives	WOLFF; SCHULP; VERBURG, 2015	N
66	Form follows function? Proposing a blueprint for ecosystem service assessments based on reviews and case studies	SEPPELT et al., 2012	N

67	Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region	RASUL, 2014	N
68	A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modelling	LANDUYT et al., 2013	N
69	Development of a framework based on an ecosystem services approach for deriving specific protection goals for environmental risk assessment of pesticides	NIENSTEDT et al., 2012	N
70	Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: Putting biofuels in the ecosystem services narrative	GASPARATOS; STROMBERG; TAKEUCHI, 2011	N
71	Carbon balance of UK peatlands: current state of knowledge and future research challenges	BILLETT et al., 2010	"Attempts to quantify the C budget of UK <u>peatlands</u> are in their infancy and the short-term nature of these data sets is currently a weakness. The growing interest in managing C in the context of ecosystem services as a viable climate mitigation strategy suggests that there is a real need for a coherent, unified approach underpinned by scientific research based on long-term, site based monitoring networks."

72	Trends and Future Potential of Payment for Ecosystem Services to Alleviate Rural Poverty in Developing Countries	MILDER; SCHERR; BRACER, 2010	N
73	Progress and challenges in freshwater conservation planning	Nel et al., 2009	N
74	Wet and Wonderful: The World's Largest Wetlands Are Conservation Priorities	KEDDY et al., 2009	<p>"<u>Wetlands</u> can also improve the quality of water by trapping sediment and by removing nutrients from moving water (Kadlec and Knight 1996, Mitsch et al. 2001), and there are now thousands of constructed treatment wetlands that use this process for water purification."</p> <p>"Human civilizations have been associated with <u>wetlands</u> for millennia, partly because of the steady supply of freshwater, partly because of the rich alluvial soils for agriculture, and partly because of high rates of animal food production."</p> <p>"By storing water and releasing it slowly, <u>wetlands</u> can reduce flood levels and contribute to the well-being of populations in floodplains."</p> <p>"Finally, <u>freshwater flow</u> may have implications for climate. Freshwater contributes significantly to stratification of the ocean near the surface and supports sea-ice formation, which can influence the regulation of Arctic climate and the global freshwater cycle."</p>

			<p>" Large <u>wetlands</u> can provide refuge for large mammals, many of which are at risk because of their requirement for relatively large tracts of wild land."</p> <p>" In many savanna areas, <u>wetlands</u> provide places of refuge for large herds of mammals during periods of drought; including these species would considerably lengthen the list of wetland-dependent mammals."</p> <p>"We have yet to fully quantify the services performed by large <u>wetlands</u>, but those most important at the global scale may include carbon cycling, freshwater supply, protein production, and maintenance of biodiversity."</p>
75	<p>Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress - An introduction to the MARS project</p>	<p>HERING et al., 2015</p>	<p>"Ecosystem services were provided by <u>surface water bodies (rivers, lakes and transitional waters)</u> and to a lesser degree by <u>groundwater bodies</u> which include provisioning services (e.g. water supply, food from fish farms, energy from hydropower generation), regulating and maintenance services (e.g. flood and drought regulation, climate regulation through carbon sequestration, water purification biodiversity, dispersal of matter, organisms and energy, nutrient cycling) and cultural services (e.g. recreation such as angling and water sports, tourism, and inspiration for arts and religion)."</p>

"This lowland catchment (1100 km²) includes rivers, lakes and transitional waters where the main stressors are eutrophication, pesticides from agriculture, droughts and groundwater abstraction leading to water scarcity. Ecological effects are exacerbated by extensive channelization, dredging and macrophyte removal. Mechanistic models will examine abiotic effects on phytoplankton, zooplankton, submerged vegetation and fish to understand consequences for key ecosystem services (**water supply, nutrient retention, recreation and angling**)."

" The Havel and Saale catchments are parts of the extensively monitored lowland Elbe basin. Major stressors include eutrophication, hydromorphological alterations by damming, land use regulation structures (e.g. groynes), loss of bank vegetation and intensive shipping. Model applications will focus on services for **flood risk reduction, fisheries, recreation and water purification** (N and P-retention)."

" The Ruhr catchment is dominated by forestry and agriculture in the upper parts, and urbanisation in the lower parts. Biological data are extensive, hydromorphological data are available for each 100 m stretch and fine sediment inputs have been modelled for all sections. Models for nutrients and discharge will address ecosystem services including **self purification** and **biodiversity protection** using empirical dose– response relationships to examine future scenarios of land use and restoration."

"This Alpine basin (2600 km²) has good water quality, but hydropower and associated morphological alteration are key stressors affecting fisheries and recreation. Based on extensive data, empirical models will link hydromorphology to fish, invertebrates and phytobenthos. Faced with new hydropower plants, scenarios will address the conflicting ecosystem service effects on **fisheries, recreation and hydropower**."

"The extensive Welsh river basins (4000 km²) range hierarchically from continuously monitored experimental catchments to hundreds of other sub-catchments throughout Wales with extensive biological and physico-chemical data from 1981 to present that in combination allow factorial investigations of stressor combinations in time and space. Linking with large ongoing programmes (Duress project), scenarios and modelling will explicitly address links between land-use, climate and ecosystem service resilience (**fish production, water quality regulation, decomposition and cultural values**)."

"Lakes and reservoirs provide essential ecosystem services such as **recreation and water supply**."

76	Valuing ecosystem services from wetlands restoration in the Mississippi Alluvial Valley	JENKINS et al., 2010	<p>" Although the flows of ecosystem services are myriad, we select three focal services: GHG mitigation, nitrogen mitigation, and waterfowl recreation, each representing positive externalities from <u>wetlands</u> at different geographical scales—global, regional, and local, respectively. "</p> <p>"Although they were not monetized in this analysis, it can be assumed that floodwater storage, sediment retention, and other wildlife habitat services also possess positive economic values. Therefore, the social value estimated here, which ranges from \$1435 to \$1486/ha/year, is necessarily a lower bound on the full social value of restoring <u>wetlands</u>."</p> <p>" So no further adjustment is made. Leakage means that GHG sequestration services gained in one area are partially compensated by loss in another. This can happen when restoring cropland to <u>wetlands</u> in one place could cause land clearing for agriculture in another."</p>
77	Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico	MARTÍNEZ et al., 2009	<p>"When demand for participation in the PSAH exceeded supply funds, the government suggested that additional indicators (such as water quality services, such as water quality, have not been considered so far. In this sense, in our study we wanted to demonstrate the value of these services."</p> <p>"Natural ecosystems in the highlands of La Antigua <u>watershed</u> offer a wide array of ecosystem goods and services (ES). We found economic valuations for the following ecosystem services: carbon sequestration, water regulation, water supply, erosion control, pollination, biological control, food production and recreation."</p>

			"In this study we observed that land use changes in the highlands of La Antigua <u>watershed</u> have resulted in loss of species richness and biodiversity. The modified community structure with reduced growth form diversity resulted in altered ecosystem services other than water quantity , such as water quality ."
78	Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed	BAI et al., 2011	" The northern and southwestern regions of the <u>watershed</u> were very important for providing multiple services, such as biodiversity , water yield , carbon sequestration and soil retention , while the eastern and southern sections were important for providing N/P retention and pollination ."
79	Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges	LOPES-LIMA et al., 2017	N
80	Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges	FALKENMARK, 2003	N
81	Integrated ecological economic modeling of the Patuxent River watershed, Maryland	COSTANZA et al., 2009	N
82	Nature as infrastructure: Making and managing the Panama Canal watershed	CARSE, 2012	" <u>Watershed</u> administrators, I will argue, have sought to reshape human–environment relationships so as to optimize the delivery of one class of environmental services (water storage and regulation), while campesino farmers have sought to optimize another (nutrient cycling)."

83	Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile	LARA et al., 2009	<p>"Despite the clear relationship between native forest cover and water supply, as well as recreational fishing opportunities as ecosystem services, the low percentage area of old-growth forests in the different <u>watersheds</u> prevented a better understanding of their role in providing these services."</p> <p>Tabela 2, página 420: Water supply, water supply, recreational fishing opportunities.</p>
84	Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China	WANG et al., 2011	N
85	Effects of coastal development on nearshore estuarine nekton communities	BILKOVIC; ROGGERO, 2008	N
86	Contingent valuation, net marginal benefits, and the scale of riparian ecosystem restoration	HOLMES et al., 2004	<p>"An alternative, holistic approach to ecosystem valuation was reported by Loomis et al. (2000), who used the contingent valuation method to evaluate the benefits of restoring a portion of the Platte River <u>watershed</u>. The approach used in this paper described the current level of provision of four ecosystem services: dilution of wastewater, natural purification of water, erosion control, and habitat for fish and wildlife."</p> <p>"Zhongmin et al. (2003) estimated the benefits and costs of restoring ecosystem services in the Hei River <u>basin</u> in China using a holistic approach to valuation, similar to the method used by Loomis et al. (2000). Five ecosystem services were listed that ecosystem restoration could provide control soil erosion and reduce sand storms, provide habitat for wildlife, natural purification of water,</p>

			dilution of wastewater, and limit land salinization."
			"Based on these conversations, several ecosystem services (and indicator variables for each service) were identified: (1) habitat for fish (abundance of game fish), (2) habitat for wildlife (wildlife habitat in buffer zones), (3) erosion control and water purification (water clarity), (4) recreational uses (allowable water uses), and (5) ecosystem integrity (index of ecosystem naturalness)."
87	Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: a case study from central Himalaya, India	SEMWAL et al., 2004	N
88	The role of multi-functionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: An ecosystem service approach	GARCÍA-LLORENTE et al., 2012	"Finally, aesthetic values , local identity preservation and nature tourism were important cultural services in the <u>watersheds</u> (Appendix E: Air quality; microclimate regulation; natural accident mitigation; soil fertility; water regulation; freshwater; timber; traditional agriculture; scientific knowledge)."
89	Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile	LITTLE et al., 2009	N
90	Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in	SWALLOW, B. et al., 2008	"SWAT is a physically-based, continuous-time and distributed-parameter model designed to simulate the impact of management practices on water, sediment and agricultural chemical yield in large and complex <u>watersheds</u> (Jha et al. 2004, Spruill et al. 2000). Higher levels of sediment yield are an indicator of declines in regulatory services (esp. flood mitigation) and supporting services

	the Lake Victoria basin of East Africa		(eg. soil formation , primary productivity). Higher levels of water yield are an indicator of higher levels of provisioning services (freshwater), but an indicator of lower levels of regulatory services (esp. water flow regulation)."
91	Water funds and payments for ecosystem services: practice learns from theory and theory can learn from practice	GOLDMAN-BENNER, R. L. et al., 2012	"Water funds allow downstream water users (service buyers) to finance upstream provision of a clean, regular supply of water . In all these cases the services originate within natural ecosystems (e.g. public protected areas) but it is the land management and land use by the human communities living on private, public and communal lands in the <u>watershed</u> that determine service delivery; these communities are the key service providers."
92	Wetland creation in agricultural landscapes: Biodiversity benefits on local and regional scales	THIERE, G. et al., 2009	N
93	Planetary Opportunities: A Social Contract for Global Change Science to Contribute to a Sustainable Future	DEFRIES, R. S. et al, 2012	N
94	Detecting environmental change: science and society - perspectives on long-term research and monitoring in the 21st century	PARR et al., 2003	N
95	Polyscape: A GIS mapping framework providing efficient and spatially explicit	JACKSON et al., 2013	N

	landscape-scale valuation of multiple ecosystem services		
96	Quenching urban thirst: Growing cities and their impacts on freshwater ecosystems	FITZHUGH; RICHTER, 2004	N
97	The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services	KEESSTRA et al., 2018	"The second service NBSs (Solutions based on nature) provide is flood regulation . Through the promotion of infiltration, soil water retention, vegetational obstructions in the drainage system and <u>wetlands</u> the system becomes less connected. All measures are designed to retard and divert the water to reduce the speed and the converging of water during a high intensity rainfall event." Tabela 3, página 1005: Biodiversity, Water quality regulation, Nutrient regulation, Flood regulation.
98	River corridor science: Hydrologic exchange and ecological consequences from bedforms to basins	HARVEY ; GOOSEFF, 2015	"A fully functioning river corridor that has intact <u>riparian habitats</u> , <u>river</u> and <u>floodplain morphologies</u> , with enough complexity to host an array of river exchanges with marginal surface and subsurface waters is important to providing ecosystem services, especially good water quality ."
99	Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: a review	STENDERA et al., 2012	N
100	Harvested perennial grasslands provide ecological benchmarks for agricultural sustainability	GLOVER et al., 2010	N

Apêndice MS2 – Tabela de termos similares utilizados para contabilizar os mesmos serviços ecossistêmicos

Serviços Ecossistêmicos Controle de fluxos	Termos similares Mitigação de pico de tempestades, regulação de distúrbios, redução de enchentes, controle de inundações e secas, regulação do escoamento de águas pluviais e secas, controle de enchentes e tempestades, mitigação de danos causados pelas inundações, moderação dos fluxos de água, regulação de enchentes, proteção contra inundações, redução de inundações, redução dos níveis de inundação, redução dos riscos de inundação, armazenamento de água das enchentes.
Diluição de efluentes	Tratamento de resíduos, assimilação e desintoxicação de resíduos, diluição de águas residuais.
Provisão de recursos genéticos	Apoio à biodiversidade
Regulação do clima	Estabilização do clima, regulação de gases atmosféricos, armazenamento de carbono, mitigação climática, sequestro de carbono, mitigação dos gases de efeito estufa, gestão de

	carbono, modificação do clima local, controle dos estoques de carbono.
Purificação de água	Filtragem de água, autopurificação, tratamento natural da água.
Controle de doenças e pragas	Controle biológico
Produção de alimentos	Produção de culturas, produção de peixes, suprimento de alimentos, produtos florestais não madeireiros.
Água em quantidade	Água para produção, abastecimento de água, suprimento de água fresca, rendimento de água, fornecimento de água.
Água com qualidade	Qualidade da água subterrânea, qualidade da água superficial, melhoria da qualidade da água
Controle da erosão	Retenção do solo, retenção de sedimentos, controle de sedimentos.
Habitat para as diferentes espécies	Fornecimento de refúgio, habitat berçário, habitat para vida selvagem, corredores de vida selvagem.
Degradação de pesticidas e poluentes	Dispersão de matéria, imobilização de fertilizantes e pesticidas.
Ciclagem de nutrientes	Retenção de nutrientes, mitigação do nitrogênio, retenção N/P, regulação de nutrientes, processamento da matéria orgânica.

Apoio à biodiversidade	Proteção à biodiversidade, conservação da biodiversidade, suporte à biodiversidade.
Oportunidades de recreação	Recreação aquática, uso recreativo, pesca recreativa, caça recreativa.
Turismo natural	Valor turístico.
Purificação do ar	Remoção da poluição do ar.
Formação e conservação do solo	Formação e manutenção do solo.
Polinização	–
Dispersão de sementes	–
Materiais e lenha	–
Proteção contra radiação UV	–
Geração de energia elétrica	–
Uso espiritual e religioso	–
Apreciação estética	Prazer estético
Manutenção de áreas de recarga	–

Apêndice MS3 – Lista dos 38 artigos mais citados na base Web Of Science para os processos ecológicos que foram resgatados com as expressões de busca (('ecological* process*') AND ('erosion control') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')), (('ecological* process*') AND ('flow control') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')), (('ecological* process*') AND ('nutrient cycling') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')), (('ecological* process*') AND ('recharge areas') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')), (('ecological* process*') AND ('water purification') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')), (('ecological* process*') AND ('climate regulation') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')) e (('ecological* process*') AND ('hydrological cycle') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')). Para cada artigo são apresentados os trechos que indicam processos ecológicos ou hidrológicos relacionados com os serviços ecossistêmicos que eles sustentam. As referências a bacias hidrográficas foram sublinhadas. N – refere-se aos artigos que não apresentaram relevância para processos ecológicos ou hidrológicos dos serviços ecossistêmicos de interesse.

SERVIÇO ECOSISTÊMICO	CÓDIGO	TÍTULO DO ARTIGO	PROCESSO ECOLÓGICO	TRECHOS QUE SE REFEREM AOS PROCESSOS ECOLÓGICOS RELACIONADOS AOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
	1001	Process domains and the river continuum	N	–
Controle da erosão	1002	A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale	Formação de serrapilheira	"Key parameters behind this hydrological behaviour are the interaction between biological activity and soil properties in the forested part of the <u>catchment</u> ./... increases the organic matter content of the soil, which in turn increases the shrinkage and swelling properties of the topsoil."
			Infiltração de água no solo	"Key parameters behind this hydrological behaviour are the interaction between biological activity and soil properties in the forested part of the <u>catchment</u> . "
	1003	Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks?	Retenção do sedimento devido à relação raízes/solo	"Moreover, a root-permeated soil is markedly more resistant to direct erosion by <u>fluvial</u> entrainment." "A complete cover of <u>riparian vegetation</u> would mitigate almost all of the effects of desiccation.

				<p>Roots bind bank material together and resist cracking, while grass and leaf litter reduce drying."</p> <p>"Deeply rooted trees provide a buttressing effect against the bank material above by restraining its downslope movement. Where the trees are closely spaced, they behave as both cantilever piles and as abutments to soil arches that form as the material tries to move between and around the trees, tending to stabilise the bank. "</p>
	1004	Bank erosion as a desirable attribute of rivers	N	–
Controle de fluxos	1005	A General Protocol for Restoration of Regulated Rivers	Pulsos de inundação nas planícies de inundação	"Of course, restoration of overbank flows may be problematic in many rivers where humans have colonized the <u>floodplains</u> . In these cases, revetments have often been extensively built to restrain flood flows. Reregulation to produce overbank flows may not be practical. However, floods of record will most likely result in overbank flow even in intensely regulated rivers, because natural storage on <u>floodplains</u> throughout the continuum has been drastically diminished."
			Erosão e deposição de sedimentos atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água	<p>" Inorganic and organic materials are eroded upstream and deposited downstream primarily in relation to: (a) long- and short-term flow dynamics; (b) the resistivity of geological formations to erosion and dissolution; (c) instream retention structures (e.g. eddies, wood debris); and, (d) the geometry of the <u>catchment</u>."</p> <p>" All big rivers that are not influenced by large <u>on-channel lakes</u> are naturally flood prone, and ultimately biophysical structure is controlled by the inexorable, but highly dynamic, scouring process of cut and fill <u>alluviation</u>."</p>

1006	Meeting ecological and societal needs for freshwater	N	-
1007	Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management	N	-
1008	A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations	N	-
1009	Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts	Erosão e deposição de sedimentos atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água	" Braided streams range from steep to low gradient, but they require erodible banks to facilitate development of mid channel bars. Reaches of rivers may alternate from braided to meandering or are compound <u>rivers</u> that have a low flow meandering channel and high flow braided channel."
1010	Geomorphic dynamics of floodplains: ecological implications and a potential modelling strategy	N	-

1011	Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003-2008	N	-
1012	An approach to understanding hydrologic connectivity on the hillslope and the implications for nutrient transport	Pulsos de inundação nas planícies de inundação	" Upland water supports and maintains lowland saturated regions via the relaxation of the hydraulic gradient under the influence of gravity and topography. During storm events, the hillslope hydraulic gradient and base flow increase, and lowland saturated regions expand. During dry down periods, the hydraulic gradient and base flow decrease, and lowland saturated regions contract."
1003	Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks?	N	-
1013	Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities	N	-
1014			" Most <u>watersheds</u> include some areas in which soils are shallow to bedrock. In sloping terrain, deep

		Ecohydrological control of deep drainage in arid and semiarid regions	Pulsos de inundação nas planícies de inundação	drainage in fractured rock may not result in direct groundwater recharge but in lateral subsurface flow."
	1015	Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss	N	–
	1016	Hydropedology: Bridging Disciplines, Scales, and Data	N	–
	1017	Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems	N	–
Ciclagem de nutrientes	1018	The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure	N	–
	1019	Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence	N	–

1020	Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review	Nitrificação e Desnitrificação	"Burial of P in aerobic sediments, and N throughout the sediment, leads to N and P removal from the water column. Within the aerobic sediment layers, the microbially mediated process of nitrification occurs, which when to denitrification within the underlying anaerobic sediment, leads to the further loss of N as N ₂ gas."
		Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos	"Thus, in eutrophic waters, consumption of particulate organic matter by abundant stocks of bivalve suspension-feeders in shallow and well-oxygenated conditions will directly reduce the amount of POM remineralized by bacteria beneath the pycnocline where oxygen resupply is restricted."
		Absorção de nutrientes pelos produtores	"The growth of benthic microalgae (MPB) may be enhanced by increased light penetration to the sediment. The MPB can absorb regenerated nutrients, thereby out-competing phytoplankton."
1021	Parent lithology, surface-groundwater exchange, and nitrate retention in headwater streams	Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos	"Therefore, nitrate uptake lengths in our study systems are influenced by hydrologic retention associated with exchange between surface and interstitial environments and by biological retention associated with metabolic activity. of the benthic zone and within the alluvial aquifer."
1022	Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review	Decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias	"Bacteria and fungi (hyphomycetes) are abundant in flowing waters and contribute to P cycling via two mechanisms."
		Absorção de nutrientes pelos produtores	"Corresponding decrease in significance of P uptake by benthic algae, periphyton and macrophytes." "Submerged macrophyte species flourish...Biofilms and bed sediments dominate P exchange within the water-column"

1023	Ecological stoichiometry in freshwater benthic systems: recent progress and perspectives	Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos	"These changes were associated with average increases in the C : P (40%), C : N (14%) and N : P (16%) ratios of the total POM exported. Thus, it appears that the activity of detritivores can affect the stoichiometry of elements exported from whole <u>catchments</u> ."
		Nitrificação e Desnitrificação	" Denitrification, nitrification , and sorption are a few processes that result in the loss of particular forms of nutrients from solution and are included in tracer-derived estimates of nutrient uptake in streams."
1024	Aquatic invertebrates in riverine landscapes	Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos	"These are generally insects, especially larvae of net-spinning caddisflies or blackflies, or bivalves. A high density of suspension feeders not only indicates their own high local production and that of their predators but also, because of the production of faeces, leads to increased retention of organic material."
1025	Effects of climate change on freshwater ecosystems of the south-eastern United States and the Gulf Coast of Mexico	N	–
1026	Exploring how disturbance is transmitted upstream: Going against the flow	N	–
1027	Dissolved organic matter in soils - future directions and	N	–

	unanswered questions		
1012	An approach to understanding hydrologic connectivity on the hillslope and the implications for nutrient transport	N	–
1028	Modelling the transfer and retention of nutrients in the drainage network of the Danube River	Nitrificação e Desnitrificação	Tabela 6, pág. 297
		Absorção de nutrientes pelos produtores	Tabela 6, pág. 297
		Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos	Tabela 6, pág. 297
		Decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias	Tabela 6, pág. 297
1029	ECOLOGICAL DISTURBANCE AND THE CONSERVATIVE MANAGEMENT OF EUCALYPT FORESTS IN AUSTRALIA	N	–
1016		N	–

		Hydrogeology: Bridging Disciplines, Scales, and Data		
	1017	Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems	N	–
Manutenção das Áreas de recarga	1009	Riparian ecosystems of semi-arid North America: Diversity and human impacts	Infiltração de água no solo	" By trapping or filtering sediment, nutrients, and pollutants transported during floods, <u>riparian vegetation</u> reduces downstream sediment loads and improves water quality. Dense stands of <u>riparian vegetation</u> in the <u>floodplain</u> also reduce downstream flooding by causing the river to spread while slowing its velocity, which in turn, enhances ground-water recharge. <u>Riparian vegetation</u> tends to prevent the river from down-cutting or cutting a straight path (channelizing), thus promoting a sinuous course, ground-water recharge, and maintenance of an elevated water table (a form of positive feedback)."
			Pulsos de inundação nas planícies de inundação	
	1014	Ecohydrological control of deep drainage in arid and semiarid regions	Percolação de água nas fraturas das rochas	"Thus, where soils are shallow and bedrock is fractured, storage is greatly reduced and the probability of deep drainage greatly increased." " Most <u>watersheds</u> include some areas in which soils are shallow to bedrock. In sloping terrain, deep drainage in fractured rock may not result in direct groundwater recharge but in lateral subsurface flow."
Purificação da água	1006	Meeting ecological and societal needs for freshwater	N	–

	1030	Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data	N	-
Regulação do ciclo hidrológico	1031	Ecohydrological implications of woody plant encroachment	Transpiração pelas plantas	<p>“A simplified representation of the water budget, useful for framing the issue, relates major hydrologic fluxes as follows: $P = R + S + ET$ e $ET = I + E + T$ (1) in which P = precipitation, R = runoff, S = deep soil recharge beyond the rooting zone, and ET = total evapotranspiration, which is equal to the summation of three terms: I = water that is intercepted by plant foliage and assumed to evaporate, E = evaporation from soil, and T = water transpired by plants following soil water uptake...To aid in determining how shifts in vegetation might influence not only the magnitude but other characteristics of these major fluxes, runoff (R) can be further subdivided into overland flow, shallow subsurface flow, and groundwater flow—all of which may contribute to streamflow.”</p>
			Interceptação da chuva pela vegetação e pela serrapilheira	
			Precipitação	
			Escoamento natural e superficial	
			Evaporação da superfície do solo e dos corpos d’água	
1032	Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale	Evaporação da superfície do solo e dos corpos d’água	<p>"In this case, soil moisture becomes an important source of atmospheric water, a fraction of which falls as precipitation back on the land surface downwind from the site of the original evapotranspiration. This feedback between land-surface evaporation and precipitation is a significant source of rainfall in larger midcontinental <u>basins</u> like the Mississippi and Amazon. Subsequently, when low soil water contents persist, precipitation is reduced, increasing the likelihood of dry conditions. Conversely, wet periods can help maintain soil moisture. Th is positive feedback creates a bimodal distribution of soil moisture probability over large <u>watersheds</u>, with important climatic implications."</p>	
		Transpiração pelas plantas		

	observatories: A review	Precipitação	
		Escoamento natural e superficial	"In many <u>watersheds</u> , lateral downslope subsurface flow is a highly important process at the hillslope scale. Conceptual models can implicitly simulate this phenomena at the <u>watershed</u> scale and its effect on the hydrology of runoff . However, the effect of lateral downslope subsurface flow on soil moisture is not well simulated using physics-based approaches at hillslope scales because of a lack of understanding of the multidimensional properties of the soil, including the influence of downslope macroporosity."
1033	Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research (HiWATER): Scientific Objectives and Experimental Design	N	–
1034	Watershed Allied telemetry Experimental Research	N	–
1025	Effects of climate change on freshwater ecosystem of the south-eastern United States and the Gulf Coast of Mexico	Evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água	" Nevertheless, the seasonality of precipitation and evapotranspiration is not ideal for many of the water uses, and leads to considerable stresses in terms of water quantity."
		Precipitação	

		Transpiração pelas plantas	
		Escoamento natural e superficial e superficial	"Increases in air temperatures and lengthening of the growing season may increase ET (evapotranspiration) substantially, reducing soil moisture levels and runoff , particularly in summer."
		Precipitação	"The precipitation regime strongly affects the quality and quantity of runoff, wetland distribution and hydroperiod, flushing rates and incidence of anoxia, and land-water interactions in <u>riparian environments</u> . The precipitation regime also influences human water demands and flow management."
1028	Modelling the transfer and retention of nutrients in the drainage network of the Danube River	Escoamento natural e superficial	"This model, which involves four parameters (soil saturation, infiltration rate, internal flow rate and aquifer flow rate), distinguishes between three components of the discharge from the <u>watershed</u> : the base flow supplied by the water table, the internal (or hypodermic) flow supplied by the soil reservoir and the surface runoff supplied in periods of soil saturation (Figure 4)."
1035	Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes	Evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água	" In a fully connected system, consistent with the translatory flow paradigm, water accessible to plants and subjected to soil evaporation also moves into streams. In a disconnected system characterized by preferential flow, soil waters do not interact with surface waters, and therefore water entering streams and rivers has an isotopic composition equivalent to that of rainfall. This theoretical framework can be applied, using established models for isotopic fractionation and data on isotopic inputs (precipitation) and outputs (runoff and evapotranspiration), to constrain the partitioning of hydrologic fluxes into the subcomponents of transpiration, evaporation of bound water in soils, and evaporation from mobile surface waters."
		Precipitação	
		Escoamento natural e superficial	
		Transpiração pelas plantas	
			"When implementing this framework, constraints on possible runoff, interception, transpiration,

			<p>Evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água</p> <p>Escoamento natural e superficial</p> <p>Transpiração pelas plantas</p> <p>Interceptação da chuva pela vegetação e pela serrapilheira</p>	<p>and evaporation fluxes within the terrestrial hydrologic cycle (e.g., transpiration may not exceed evapotranspiration) limit the range of continental output flux isotope ratios relative to the previous ocean-atmosphere study (Fig. 1A)."</p>
			<p>Transpiração pelas plantas</p>	<p>"Transpiration fluxes form the primary link between the water and carbon cycles, with water lost from plant stomata during carbon assimilation (i.e., plant water use efficiency) being a critical factor determining ecosystem function and productivity."</p>
	1036	Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems	N	–
Regulação do clima	1037	The riverine ecosystem synthesis: Biocomplexity in river	N	–

	networks across space and time		
1022	Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review	N	-
1038	Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management	N	-

Apêndice MS4 – Lista dos 22 artigos mais citados na base Web Of Science que foram resgatados com a expressão de busca (('loss ecosystem* service*') AND (watershed* OR catchment* OR 'river basin*')) para os impactos impulsionadores da perda dos serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas. Para cada artigo são apresentados os trechos que indicam os impactos antrópicos nas bacias hidrográficas. Para cada artigo são apresentados os trechos que indicam impactos antrópicos nas bacias hidrográficas que levam à perda dos serviços ecossistêmicos. N – refere-se aos artigos que não apresentaram relevância para os impactos na bacia hidrográfica.

	Artigo	Impacto	Citação
I1	A global crisis for seagrass ecosystems	N	–
I2	Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability	Desmatamento da vegetação nativa	" <u>Forested wetlands</u> also sequester C effectively, and restoration of large areas of <u>floodplain</u> that have been converted to agriculture may be especially beneficial...hence, the restoration of <u>floodplain</u> hydrology and the restoration of <u>forested wetlands in floodplains</u> would very likely contribute to C sequestration and indeed to biodiversity support, water quality improvement, and flood abatement functions."
			"... but <u>floodplains</u> are known to be critical in mitigating flood damage, as they store large quantities of water, effectively reducing the height of flood peaks and the risk of flooding downstream."
		Eutrofização	"Runoff water from agricultural and urban areas typically contains large amounts of nitrate-nitrogen (NO ₃ –N) and phosphorus, nutrients that stimulate algal growth in <u>water bodies</u> . With eutrophication , the decay of algae lowers oxygen concentrations, sometimes causing fish kills and disrupting the aquatic food chain."
			" Eutrophication is a common problem for <u>wetlands</u> downstream from agricultural and urban lands, in part because nutrients allow aggressive plants to gain a competitive advantage and displace native species."

13	Population diversity and the portfolio effect in an exploited species	N	–
14	Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence	Uso de agrotóxicos	"For example, farmers generally have few incentives to prevent some pesticides escaping to <u>water bodies</u> , to the atmosphere and to nearby natural systems as they transfer the full cost of cleaning up the environmental consequences to society at large. In the same way, pesticide manufacturers do not pay the full cost of all their products, as they do not have to pay for any adverse side effects that may occur."
15	Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services	Desmatamento da vegetação nativa	<p>"We also measured NDM (net daily metabolism) as an integrated assessment of total metabolic activity of the ecosystem in the study reaches. Results show that forested streams usually had significantly greater rates of heterotrophy (i.e., NDM was more negative per unit of length than deforested reaches). In fact, of the 13 streams studied for this parameter, annual mean NDM was 200–500% more negative in forested reaches in five streams and 20–200% times more negative in another five. Thus, forested reaches seem to process significantly greater amounts of organic matter per unit channel length than deforested reaches, a service whose value seems underestimated and often overlooked."</p> <p>" Here we test the hypothesis that the narrowing of small streams caused by riparian deforestation leads to a significant decline in (i) the amount and functional quality of stream ecosystem and (ii) the ability of that ecosystem to process water pollutants."</p>
16	Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos	N	–

17	Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes	N	-
18	Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution	Demanda de água pelo agronegócio	<p>"Assessing the scope for gains in water productivity requires an understanding of basic biological and hydrological crop–water relations. How much more water will be needed for agriculture in the future is governed, to a large extent, by links between water, food and changes in diets. The amount of water that we consume when eating food depends on diet and also on the water productivity of the agriculture production system. The amount of water required for field crops and its relation to yield dominates the equation on the need for additional water for food."</p> <p>"This relationship between transpiration and crop production has far-reaching consequences for water. Increases in food production in productive areas are achieved with near proportionate increases in transpired water. This is the reason why increases in food production have taken water from ecosystems, thereby reducing the amount of water transpired by forests and grass and reducing water flows to the sea, and is also the reason why future production will continue to do the same. Feeding more people will require more water to be transpired. The amount of additional transpiration depends on the changes made in water productivity."</p> <p>"Similarly, taking a little water from <u>rivers</u> for agriculture may result in very small changes in ecosystem services delivered by the <u>river</u>, but this may provide a large gain in agricultural value. However, when <u>rivers</u> are reduced to minimum levels, the next drop taken out of the river may be at a considerable ecosystem cost."</p> <p>"A change in <u>basin</u> water use will result in winners and losers. Putting water into the service of agriculture by expanding rainfed systems or adding irrigation takes water away from other uses—forests, grasslands, <u>rivers</u>. (...)Producing more food means putting more water into production and taking it out of other uses."</p>
19			

	Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin	Desmatamento da vegetação nativa	"The forests of the <u>basin</u> strongly influence this complex hydrological system, largely because they regulate the volume and timing of water and nutrient flows into it."
110	State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes	Mudanças climáticas	" Climate change directly affects freshwaters as a result of increased temperatures, greater variability of precipitation among locations and over time, and rising sea levels."
			" Warmer water temperatures decrease the amount of oxygen that can be dissolved in surface waters and thereby decrease the availability of oxygen for respiration by organisms and processing of organic matter and pollutants."
			" Greater variability of precipitation , over time and among locations, adds to the variability of hydrologic inputs to <u>lakes</u> and streams."
		Represamento de rios	"Although reservoirs may provide a reliable source of water to meet human demand, they have transformative effects on <u>rivers</u> , including fragmentation, flow regime modification, enhanced evaporative loss, and increased water residence times, in addition to wide-ranging consequences impacting aquatic communities."
		Desmatamento da vegetação nativa	" Landuse change affects freshwater flows by changing the fates of precipitation among ET, runoff, and groundwater recharge."

		<p>Demanda de água pelo agronegócio</p>	<p>"Future trends in agricultural production will affect freshwater sources directly through water withdrawals, nutrient emissions, and effects on <u>riparian ecosystems</u> as well as indirectly through climate change."</p>
		<p>Uso de fertilizantes e lançamento de efluentes</p>	<p>" The increase in chemical inputs to freshwaters is a result of diffuse inputs from landscapes dominated by human use (agricultural and urban areas) and atmospheric sources as well as from direct discharges of waste waters from sources such as mining, industry, or municipal sewage. The diverse array of anthropogenic chemicals added to freshwaters includes organic compounds, heavy metals, acids, and alkalis, some of which are toxic to aquatic organisms or humans."</p>
			<p>"Urban areas are also becoming significant sources of chemicals to freshwater environments. (...) Urban areas also contribute surface runoff enriched in metals or organic compounds as well as atmospheric inputs of automobile and industrial emissions that can eventually move into aquatic systems."</p>
		<p>Demanda de água pelo agronegócio</p>	<p>"The hydrology of many <u>freshwater systems</u> is profoundly affected by agriculture. Over the past three centuries, the expansion of pasture and nonirrigated croplands has increased streamflow approximately tenfold by reducing ET."</p>
<p>111</p>	<p>History and timing of human impact on Lake Victoria, East Africa</p>	<p>N</p>	<p>–</p>

I12	Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale	N	-
I13	A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States	Desmatamento da vegetação nativa	<p>" Such large offsets would require substantial trade-offs, such as lower agricultural production, diminished noncarbon ecosystem services from forests, and higher risk for increasing forest carbon loss in forests. Decisionmakers will need to weigh the potential carbon and other benefits of these activities against the considerable uncertainties surrounding their carbon consequences (i.e., leakage effects and risks), negative impacts on other ecosystem services, some large negative societal and monetary trade-offs, enormous scale needed for proposed activities, and uncertainty in how future climate will affect forests."</p> <p>"Because forest carbon loss poses a significant climate risk and because climate change may impede regeneration following disturbance, avoiding forest loss and promoting regeneration after disturbance should receive high priority as policy considerations. Avoiding loss of forests should be a strong policy consideration owing to very low risk and little uncertainty compared to other strategies discussed in this report. Forest loss moves carbon from forests to the atmosphere, particularly where the loss includes not only trees but also the decomposition of soil carbon."</p>
I14	Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China	N	-
I15	Tropical turmoil: a biodiversity tragedy in progress	Desmatamento da vegetação nativa	"Forests assist in regulating water flow to <u>downstream areas</u> . Thus, deforestation can alter the natural water flow of an area, resulting in either flood or drought episodes."

116	Invasive alien trees and water resources in South Africa: case studies of the costs and benefits of management	Invasão por espécies exóticas	"Unfortunately, many of the plantation species have become major invaders, spreading the negative impacts far beyond the afforested areas."
			"The mapping of the invaded areas , information on the species composition and density, and the estimated age of the invaders are potentially further sources of error; their magnitude and whether any of them has been either under- or over-estimated is simply not known at present. These estimates are the best possible under the circumstances and, given that the impacts will increase because the invasions will become worse, should support the argument that pre-emptive action is wiser than waiting for more accurate data."
			"Current reductions were estimated at 11 and 19 million m ³ per year, respectively, and would increase to 21 and 30 million m ³ per year, respectively, in 20 years time if no control operations were implemented."
			"The costs of these control programmes appear to be prohibitive but this depends on If, for example, a control programme would require 15 years to complete and would save 50% of the total volume of water that would have been lost through invading plants during that time, the costs would be as follows: Sonderend 7¢ per m ³ , Keurbooms 3¢ per m ³ , Upper Wilge 2¢ per m ³ and SabieSand 1¢ per m ³ ."
117	Avoiding Coral Reef Functional Collapse Requires Local and Global Action	N	–

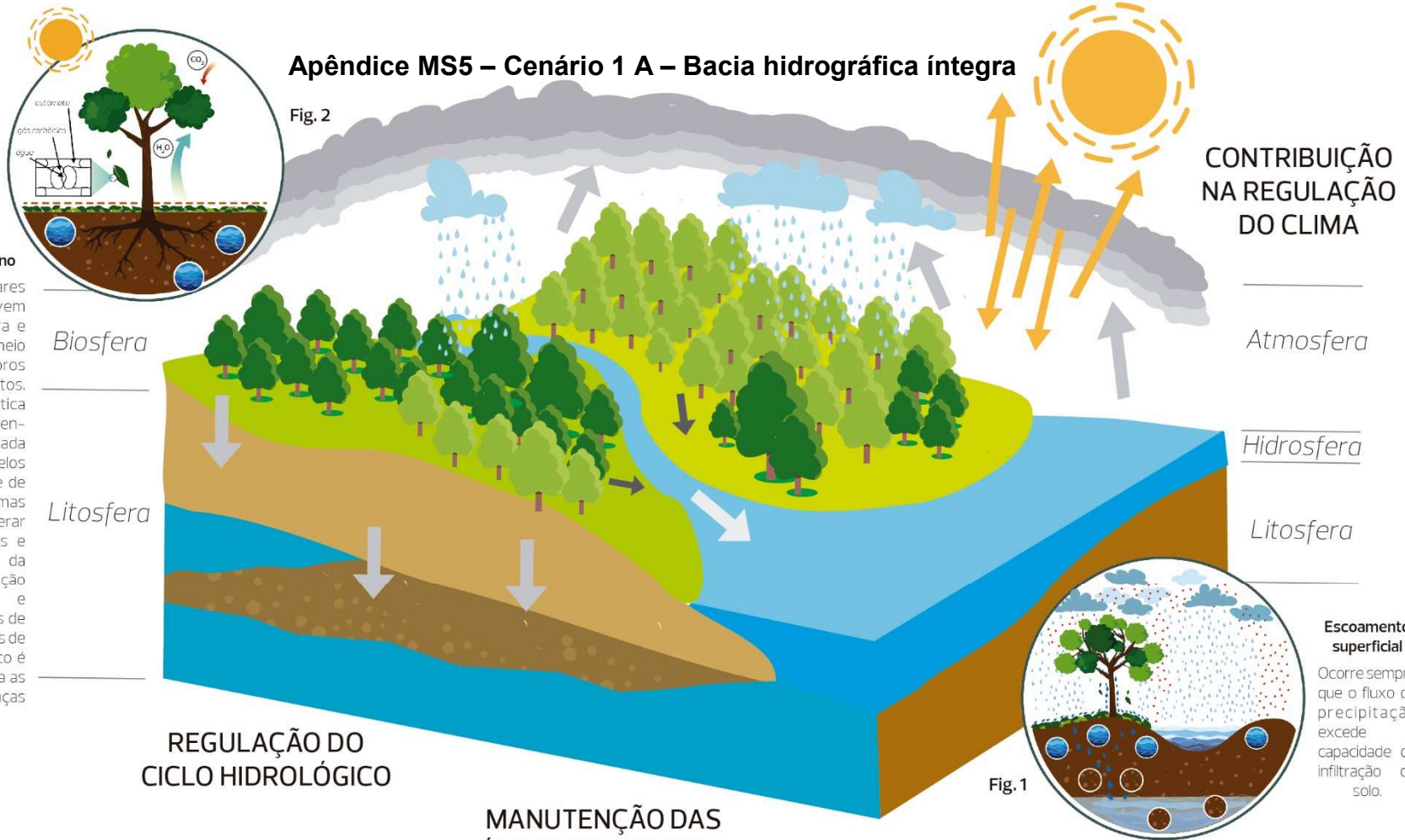
118	Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale	N	-
119	From Natural to Degraded Rivers and Back Again: A Test of Restoration Ecology Theory and Practice	<p data-bbox="589 480 792 683">Uso de fertilizantes e lançamento de efluentes</p> <p data-bbox="589 683 792 807">Eutrofização</p> <p data-bbox="589 807 792 1050">Canalização de rios</p>	<p data-bbox="813 504 2024 715">"Society's food demand, for instance, is a Driver of agricultural land use. In order to increase food production, fertilisers and pesticides are applied to the crops, which, through stormwater and groundwater runoff, are partly flushed into adjacent rivers and lakes, where they cause pollution and eutrophication (Pressure), leading to water quality deterioration (State). Eutrophication has a stimulating, direct effect on the growth of instream flora, but can also negatively affect the aquatic fauna (fishes, benthic macroinvertebrates) when decomposers start depleting oxygen (State)."</p> <p data-bbox="813 842 2024 1018">"The abundance of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT taxa) was significantly lowest in channelised streams, intermediate in natural streams and highest in re-meandered streams (Figure 22).(…) However, several taxa associated with stone and gravel substrates were clearly favoured in re-meandered streams (Figure 23), including the river limpet <i>Ancylus fluviatilis</i> O.F. Müller, 1774 the mayfly genus <i>Baetis</i> and the caddis genus <i>Hydropsyche</i>."</p> <p data-bbox="813 1126 2047 1225">"In parallel with eutrophication and contamination, rivers in agricultural landscapes are morphologically modified and hydrologically regulated (Pressure). As a result, microhabitats and flow regimes may change negatively (State) and affect the flora and fauna (Impact)."</p>

		Represamento de rios	"Following high population density and its demand for food (Driver) weirs and dams (Pressure) are built to control the ground water levels (State), but disrupt the longitudinal connectivity of the system (State). The flow conditions are altered and sections of the <u>river</u> may become stagnant (State)."
		Ocupação física das planícies de inundação	" Land use is often extended to the <u>river</u> banks and inhibits the development of a natural (vegetated) <u>riparian buffer</u> . Solar radiation is increased and stagnant sections may heat up exceptionally during summer. As a consequence of changing States, the riverine fauna and flora are being disrupted, sensitive taxa disappear (Impact) and a few tolerant taxa become dominant in the system (Impact)."
120	Blister rust and western forest biodiversity: ecology, values and outlook for white pines	N	–
121	The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region	Desmatamento da vegetação nativa	"The amount of increase depends on many local factors including the amount of rainfall, how much of the <u>watershed</u> is deforested, topography, soils, and the land use after deforestation , but observations indicate little effect with 020% of a basin deforested and a large increase in run-off (200–800 mm yr ¹) with near complete forest removal."
			" Deforestation , selective logging, and forest fires affect <u>watersheds</u> and the streams that drain them by increasing runoff, river discharge, erosion and sediment fluxes (Fig. 1). These effects occur at the local scale and are influenced by the type of ecosystems that replace the forest and the ways in which these ecosystems are managed."

122	Fish Migration, Dams, and Loss of Ecosystem Services in the Mekong Basin	N	-
-----	---	---	---

Apêndice MS5 – Cenário 1 A – Bacia hidrográfica íntegra

Fig. 2



Absorção do carbono

Plantas vasculares terrestres absorvem CO₂ da atmosfera e perdem água por meio de pequenos poros foliares, os estômatos. A resposta estomática às condições ambientais é influenciada fortemente pelos fluxos de carbono e de água dos ecossistemas terrestres. Considerar aspectos ecológicos e hidrológicos da mudança da vegetação (e.g., ocupações e plantios em planícies de inundação) nos ciclos de carbono e hidrológico é de fundamental para as projeções de mudanças climáticas.

Biosfera

Litosfera

CONTRIBUIÇÃO NA REGULAÇÃO DO CLIMA

Atmosfera

Hidrosfera

Litosfera

REGULAÇÃO DO CICLO HIDROLÓGICO

MANUTENÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA

Transpiração

A transpiração é o produto úmido da fotossíntese. A vegetação que pode acessar a umidade mais profunda do solo pode, portanto, manter a evaporação através da transpiração além do que pode ser sustentado apenas pela interceptação. Com a transpiração, a evaporação é responsável por toda produção de biomassa. É o fluxo de evaporação dominante em quase todo tipo de uso da terra: 50-64% em florestas, 61% em campos, 72% em terras agrícolas, e 58-65% em arbustos.

Interceptação

A cobertura florestal desempenha um papel importante no ciclo hidrológico ao captar o produto da precipitação por meio da superfície foliar e redistribuí-la, parte retorna para a atmosfera por evaporação, e uma outra parte alcança o piso florestal por gotejamento e escoamento de tronco. É um componente importante no balanço hídrico, pois é o processo mais rápido para reciclar a umidade na formação das chuvas e o processo dominante nas estações chuvosas.

Evaporação e Precipitação

A evaporação é o maior fluxo de saída de todos os fluxos de umidade, mas retorna à superfície por meio da precipitação, que é o maior fluxo de entrada. São importantes mecanismos para a reciclagem de umidade no ecossistema.

Manutenção da umidade atmosférica

A vegetação retira água do solo e transpira para atmosfera, ajudando a manter níveis altos de umidade em áreas mais afastadas do litoral e contribuindo com a regulação do clima.

Percolação

É o avanço descendente da água pela zona não saturado do solo. A percolação é responsável pela drenagem profunda das águas, e ocorre principalmente quando os solos são rasos e o leito rochoso é fraturado, principal contribuição para a manutenção das áreas de recarga.

Escoamento superficial

Ocorre sempre que o fluxo de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo.

Fig. 1

Apêndice MS6 – Cenário 1 B – Trecho de rio íntegro

Absorção de nutrientes pelos produtores

Microalgas e outros organismos fotossintetizantes assimilam carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio e fósforo, além de outros micronutrientes.

Decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias

Fungos e bactérias se alimentam a partir da matéria orgânica dissolvida (MOD) proveniente de outros organismos e da carga poluidora lançada na água, transformando-a em matéria orgânica particulada (MOP) e disponível para os organismos heterotróficos, sendo assim responsáveis pela autodepuração.

Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos

Os organismos aquáticos bentônicos, no seu processo de alimentação, convertem o carbono orgânico particulado (COP) em biomassa animal, atuando em ciclagem de nutrientes do sistema.

Nitrificação e Desnitrificação

Concentrações altas de nitrogênio (N), principalmente na forma de Nitrito (NO_2^-) e amônia (NH_3), causam prejuízos na qualidade da água devido ao processo de eutrofização. O nitrogênio configura como o principal impulsionador desse grande problema ambiental. Os processos microbianos de nitrificação e desnitrificação atuam na transformação da amônia e do nitrito, liberando N_2O como produto volátil. São, portanto, processos de ciclagem de nutrientes que ocorrem na interface sedimento-água, desempenhando um papel importante na remoção e transformação dos nutrientes nos ecossistemas aquáticos.

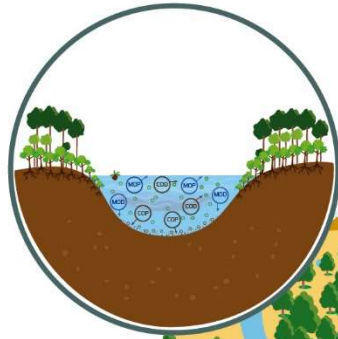


Fig. 5

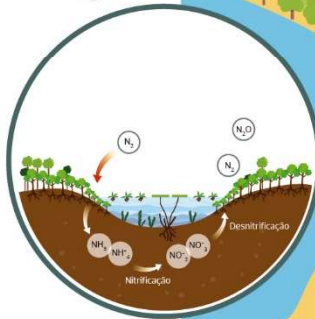


Fig. 4

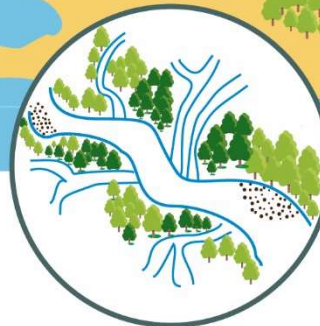
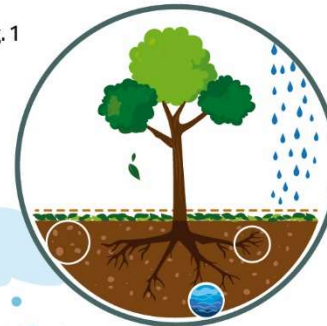


Fig. 3

Fig. 1



Formação da serrapilheira

A formação da serrapilheira aumenta a matéria orgânica do solo e a agregação das partículas. Essa camada superficial de matéria orgânica reduz o escoamento superficial, além de mitigar a erosão causada pelo vento.

Retenção do sedimento devido à relação raízes/solo

Os sistemas radiculares afetam propriedades físicas do solo adjacente à raiz influenciando uma diminuição da taxa de erosão do solo devido ao aumento do estado de agregação do solo, do aumento da capacidade de infiltração do solo e do aumento da densidade do solo próximo à raiz.

Infiltração da água no solo devido à presença de macroporos

A presença de macroporos no solo produzidos por atividade biológica como canalização de raiz ou escavação de anelídeos melhora a umidade do solo, além diminuir o escoamento superficial, contribuindo assim para o controle da erosão.

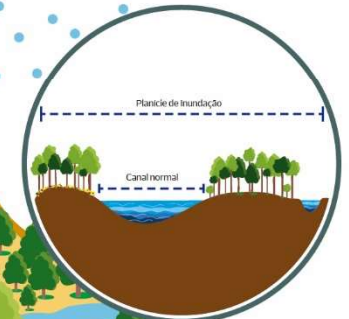


Fig. 2

Pulsos de inundação nas planícies de inundação

As planícies de Inundação preservadas aumentam a capacidade de retenção da água na bacia e diminuem a probabilidade de inundação ao absorverem os pulsos de inundação.

Erosão e deposição de sedimentos

Erosão e deposição de sedimentos atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água. A manutenção dos meandros naturais diminui a velocidade de escoamento da água na bacia.

Apêndice MS7 – Cenário 2 A – Bacia hidrográfica sem a gestão dos recursos hídricos integrada à base ecossistêmica

Represamento de rios

O armazenamento de águas superficiais em reservatórios e a estratégia mais comum para garantir um suprimento confiável de água. Embora os reservatórios possam fornecer uma fonte confiável de água para atender à demanda humana, eles têm efeitos transformadores sobre os rios, incluindo o aumento da perda por evaporação e aumento do tempo de residência da água, causando alterações nos serviços ecossistêmicos hidrológicos de ciclagem de nutrientes e regulação do ciclo hidrológico.

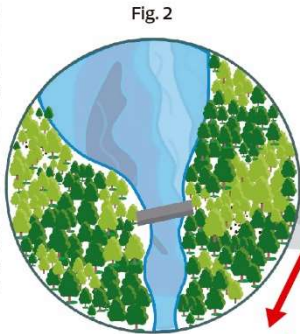
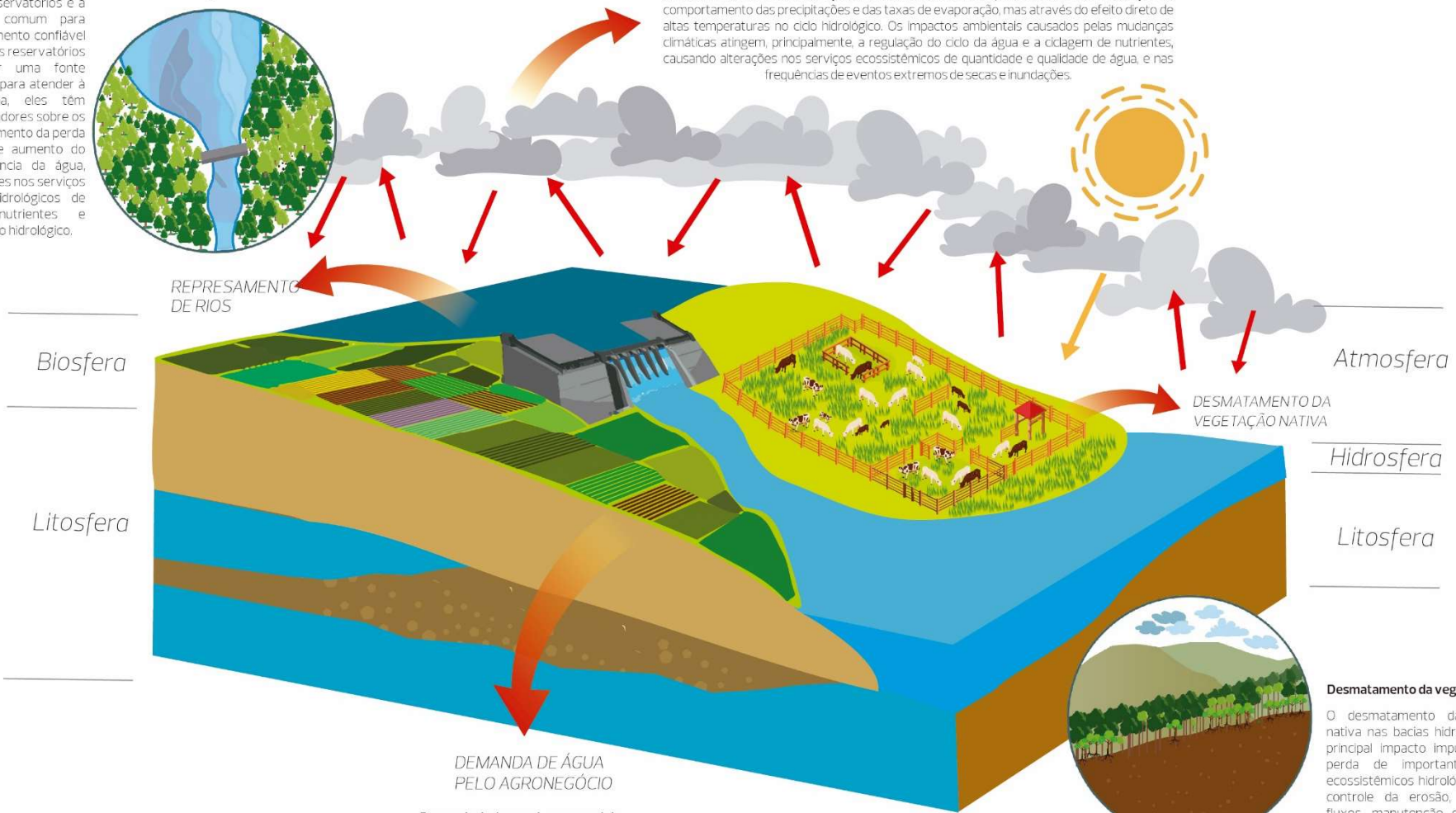


Fig. 2

Mudanças climáticas

A maior influência das mudanças climáticas não ocorrerá apenas através de mudanças no comportamento das precipitações e das taxas de evaporação, mas através do efeito direto de altas temperaturas no ciclo hidrológico. Os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas atingem, principalmente, a regulação do ciclo da água e a ciclagem de nutrientes, causando alterações nos serviços ecossistêmicos de quantidade e qualidade de água, e nas frequências de eventos extremos de secas e inundações.



Biosfera

Litosfera

Atmosfera

Hidrosfera

Litosfera

REPRESAMENTO DE RIOS

DESMATAMENTO DA VEGETAÇÃO NATIVA

DEMANDA DE ÁGUA PELO AGRONEGÓCIO

Demanda de água pelo agronegócio

A maior parte da retirada de água e do consumo (retirada menos fluxo de retorno para o sistema fluvial) de rios, lagos e aquíferos é para fins de irrigação. E mais que grandes retiradas, a produção agrícola, também, é responsável por alterações na cobertura vegetal, o que de fato, terá efeitos na disponibilidade de recursos hídricos. A retirada de água para a agricultura e pecuária afeta diretamente o serviço ecossistêmico de provisionamento de água em quantidade.

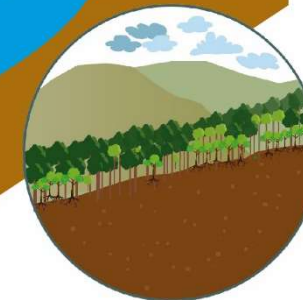
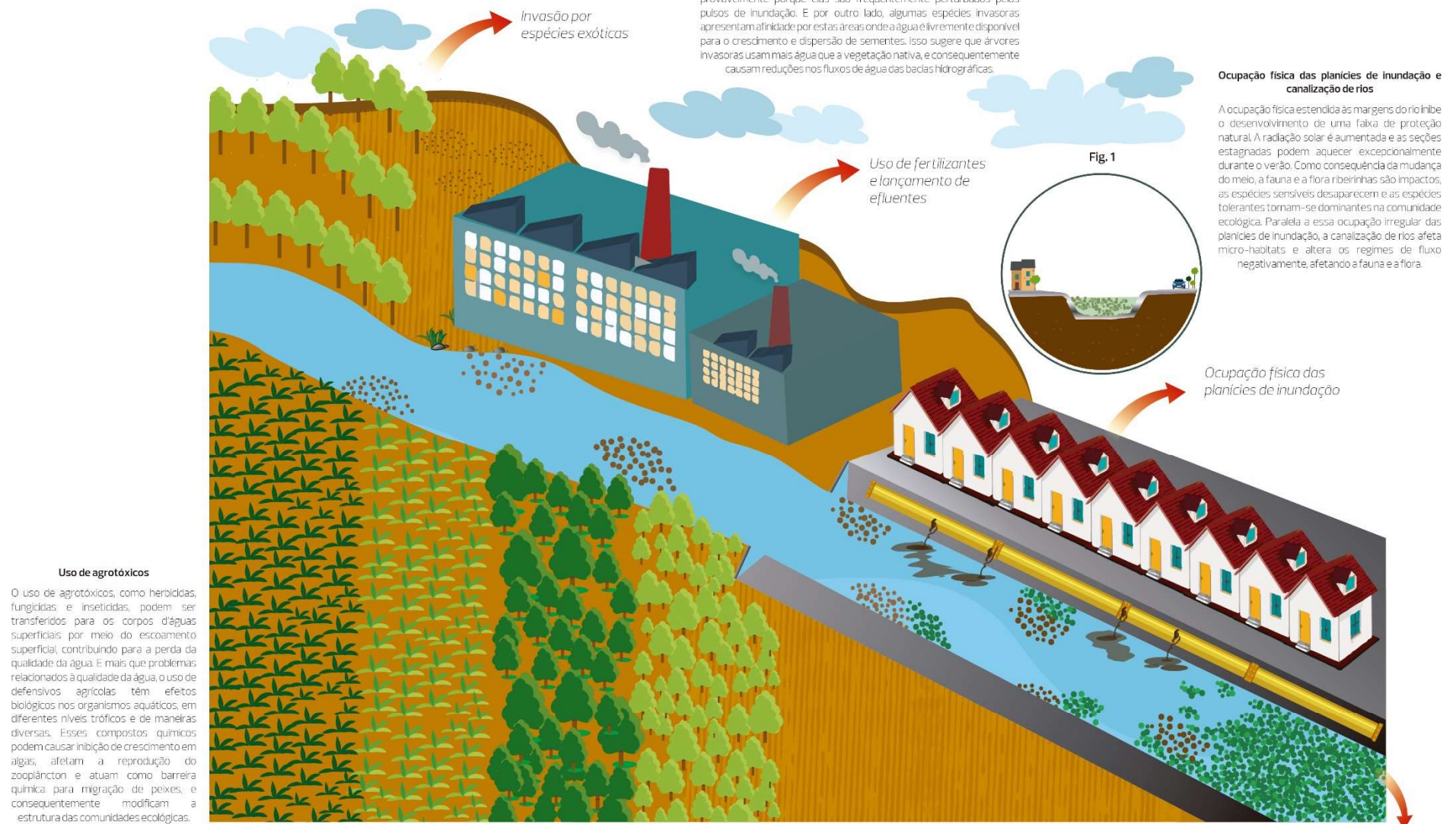


Fig. 1

Desmatamento da vegetação nativa

O desmatamento da vegetação nativa nas bacias hidrográficas é o principal impacto impulsionador da perda de importantes serviços ecossistêmicos hidrológicos como o controle da erosão, controle de fluxos, manutenção das áreas de recarga, ciclagem de nutrientes, purificação natural da água e alterações na regulação da água e do clima. E como consequência, haverá grande redução nos serviços ecossistêmicos de provisionamento de água em quantidade e qualidade para os diversos usos.

Apêndice MS8 – Cenário 2 B – Trecho de rio em uma bacia hidrográfica sem a gestão dos recursos hídricos integrada à base ecossistêmica



Uso de agrotóxicos

O uso de agrotóxicos, como herbicidas, fungicidas e inseticidas, podem ser transferidos para os corpos d'água superficiais por meio do escoamento superficial, contribuindo para a perda da qualidade da água. E mais que problemas relacionados à qualidade da água, o uso de defensivos agrícolas têm efeitos biológicos nos organismos aquáticos, em diferentes níveis tróficos e de maneiras diversas. Esses compostos químicos podem causar inibição de crescimento em algas, afetam a reprodução do zooplâncton e atuam como barreira química para migração de peixes, e consequentemente modificam a estrutura das comunidades ecológicas.

Uso de Agrotóxicos

Invasão por espécies exóticas

As planícies de inundação apresentam-se propensas a invasão, provavelmente porque elas são frequentemente perturbadas pelos pulsos de inundação. E por outro lado, algumas espécies invasoras apresentam afinidade por estas áreas onde a água é livremente disponível para o crescimento e dispersão de sementes. Isso sugere que árvores invasoras usam mais água que a vegetação nativa, e consequentemente causam reduções nos fluxos de água das bacias hidrográficas.

Ocupação física das planícies de inundação e canalização de rios

A ocupação física estendida às margens do rio inibe o desenvolvimento de uma faixa de proteção natural. A radiação solar é aumentada e as seções estagnadas podem aquecer excepcionalmente durante o verão. Como consequência da mudança do meio, a fauna e a flora ribeirinhas são impactadas, as espécies sensíveis desaparecem e as espécies tolerantes tornam-se dominantes na comunidade ecológica. Paralela a essa ocupação irregular das planícies de inundação, a canalização de rios afeta micro-habitats e altera os regimes de fluxo negativamente, afetando a fauna e a flora.

Fig. 1

O uso de fertilizantes, lançamento de efluentes e eutrofização

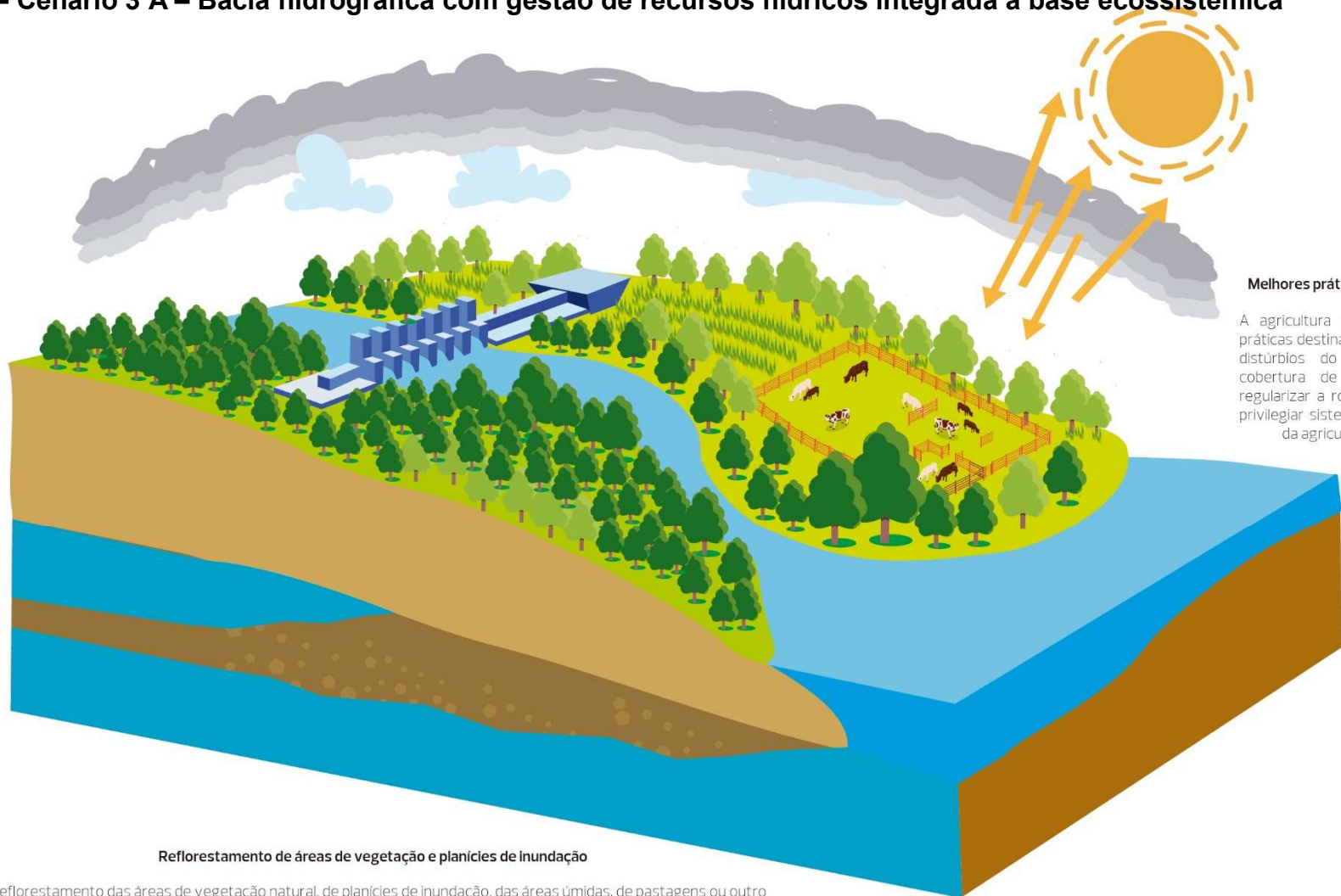
O uso de fertilizantes e o lançamento de efluentes é um dos principais impactos ambientais nas bacias hidrográficas relacionados com a perda do serviço ecossistêmico de provisionamento de água com qualidade. A agricultura continua a ser a fonte predominante de nitrogênio lançado no meio ambiente e uma fonte significativa de fósforo, além de inúmeros outros produtos químicos, como herbicidas, inseticidas e fungicidas, que implicam na perda da qualidade da água. Com relação aos efluentes domésticos, nem todas as excretas sanitárias chegam às estações de tratamento, muitas vezes são descarregados diretamente na água superficial. O aumento das emissões de nutrientes pode levar à proliferação de algas e à desoxigenação das águas, ocasionando um grave problema ambiental, a eutrofização. A eutrofização afeta a qualidade ecológica das águas e as atividades econômicas, como a pesca, a aquicultura e o turismo, além de expor as pessoas mais vulneráveis a uma água poluída e cheia de patógenos.

Eutrofização | Canalização de rios

Apêndice MS9 – Cenário 3 A – Bacia hidrográfica com gestão de recursos hídricos integrada à base ecossistêmica

Barragens de regularização com conservação do curso do rio

A construção de barragens ou represas sem a formação de grandes lagos de acumulação representa uma solução que se baseia na manutenção de processos naturais que ocorrem no rio, como os pulsos de inundação e a ciclagem de nutrientes. A conservação dos meandros naturais do rio, sob o paradigma de que a manutenção do regime de fluxo natural à montante, maximiza benefícios ecológicos e sociais, como a produtividade da pesca e a provisão de água com qualidade, trata-se de soluções baseadas na natureza que têm como objetivo contribuir para um desenvolvimento econômico e social mais justo.



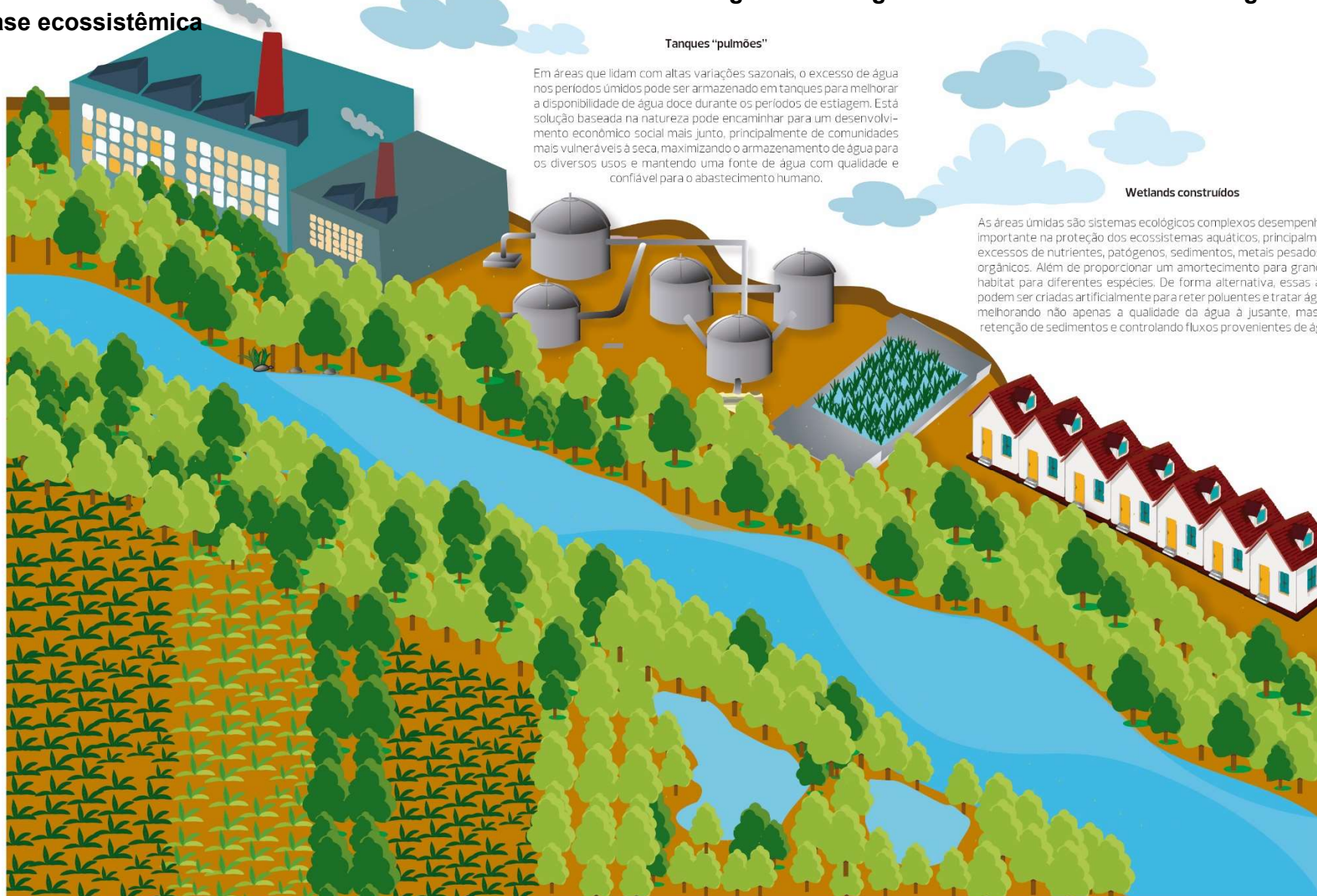
Melhores práticas de agricultura

A agricultura precisa incorporar práticas destinadas a minimizar os distúrbios do solo, manter a cobertura de áreas florestais, regularizar a rotação de culturas, privilegiar sistemas de sequeiro e da agricultura familiar.

Reflorestamento de áreas de vegetação e planícies de inundação

O reflorestamento das áreas de vegetação natural, de planícies de inundação, das áreas úmidas, de pastagens ou outro habitat da bacia hidrográfica, restaura a capacidade de manter o solo no lugar e reduzir a erosão, de filtrar naturalmente os poluentes carregados com o escoamento superficial e ajudam a infiltrar água de escoamento no solo. Trata-se de incorporar à gestão das bacias hidrográficas a concepção de soluções baseadas na natureza, como gerenciamento do uso da terra e armazenamento natural de água em áreas úmidas, o que de fato oferece oportunidades para a manutenção dos serviços ecossistêmicos hidrológicos, e conseqüentemente a provisão de água em quantidade e qualidade.

Apêndice MS10 – Cenário 3 B – Trecho de rio em uma bacia hidrográfica com gestão de recursos hídricos integrada à base ecossistêmica



Apêndice MS11 – Cartilha: Serviços ecossistêmicos providos pela bacias hidrográficas

Ficha técnica

Este material foi produzido no âmbito da elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso “Serviços ecossistêmicos e provisão de água em quantidade e qualidade: traduzindo graficamente o conhecimento científico para a gestão”. É destinado aos setores da sociedade envolvidos com políticas de recursos hídricos com o objetivo de facilitar o aporte de conhecimento científico atualizado sobre o tema. Elas deverão ser especialmente úteis ao corpo técnico de órgãos de planejamento e gestão dos recursos hídricos do Brasil. Adicionalmente, poderão ser úteis para outros públicos, como a sociedade civil organizada e o setor educacional.

Elaboração

Priscila de Santana Soares. Bióloga. Mestranda da Pós-Graduação em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental do Instituto de Biologia da UFBA. Membro do Laboratório de Ecologia Básica e Aplicada – LABECOBA.

Orientação

Prof. Dr. Pedro Luís Bernardo da Rocha. Professor Titular do Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia. Coordenador do Laboratório de Ecologia Básica e Aplicada – LABECOBA.

Projeto gráfico, diagramação e ilustrações

Juliana Araújo. Estudante do Bacharelado em Designer Gráfico da UFBA.

Salvador, 2019



Universidade
Federal da Bahia



Serviços Ecosistêmicos Providos Pelas Bacias Hidrográficas

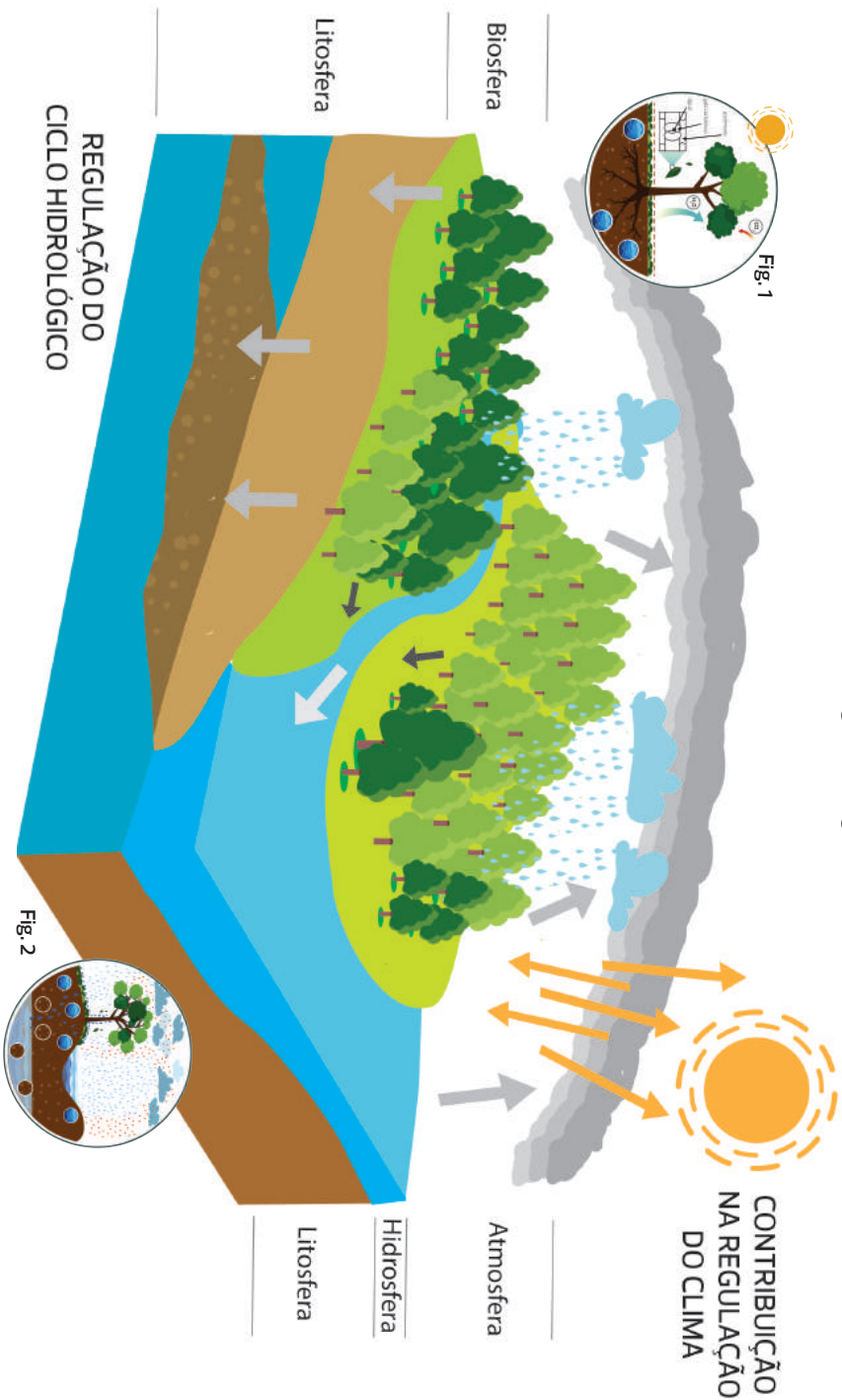
Apresentação

As bacias hidrográficas são as unidades básicas de fornecimento de água para os seres humanos e para o ecossistema, e para as políticas de recursos hídricos é a unidade territorial para a gestão pública. Promover a integração dos aspectos de gestão territorial da bacia hidrográfica com os processos e funções do ecossistema poder ser o caminho para um gerenciamento voltado ao provisionamento dos serviços ecossistêmicos relacionados à água.

A ideia deste material surgiu no decorrer da elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental. O objetivo é apresentar para órgão ambiental do estado, aqui na Bahia, uma cartilha que traduza graficamente o conhecimento científico obtido a partir de informações consolidadas na literatura científica sobre como os processos ec hidrológicos geram o serviço ecossistêmico de fornecimento de água e quais potenciais impactos antrópicos, locais e globais, podem levar à perda do serviço. São apresentados três cenários que envolvam a provisão de serviços ecossistêmicos de fornecimento de água em quantidade e qualidade em uma bacia hidrográfica. No primeiro cenário represento uma bacia hidrográfica e um trecho de rio íntegros, nos quais são incorporados os serviços ecossistêmicos hidrológicos e os processos ecológicos que os sustentam, com o objetivo esclarecer como ocorre a provisão de água em quantidade e qualidade em uma bacia hidrográfica completamente preservada. No segundo cenário represento uma bacia hidrográfica e um trecho de rio em situação contrária ao primeiro cenário, identificando e mapeando os principais impulsionadores das mudanças, de causa antropogênica, que levam à perda dos serviços ecossistêmicos de água. O terceiro cenário é uma visão inspiradora, baseado em um melhor manejo das bacias hidrográficas, cujo objetivo é conectar determinadas atividades empreendedoras à continuidade da provisão de serviços ecossistêmicos de provisionamento de água em quantidade e com qualidade pelas bacias hidrográficas.

Essa estratégia de comunicação, se disponível para o corpo técnico relacionado à gestão de recursos hídricos pode qualificar o processo de tomada de decisão nos diferentes setores do órgão. Esse material pode adicionalmente ser útil para outros públicos, como escolas públicas estaduais, municipais, particulares, ou a sociedade civil como um todo.

Sei que toda a complexidade inerente aos sistemas socioecológicos não cabem neste material. Mas, aqui apresento algumas possibilidades para a busca de um novo desenvolvimento, pautado no uso socialmente justo e ecologicamente viável da água!



Cenário 1A - Bacia hidrográfica íntegra

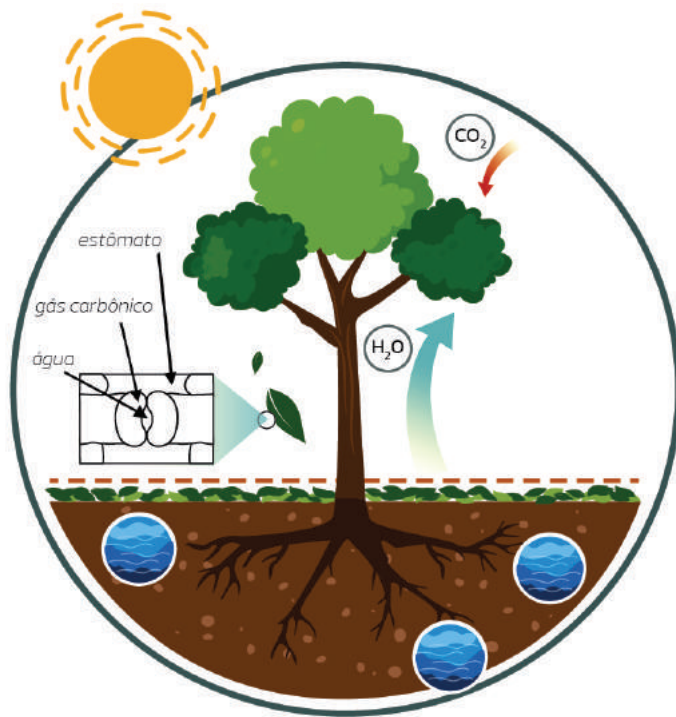


Fig. 1

Absorção do carbono

Plantas vasculares terrestres absorvem CO_2 da atmosfera e perdem água por meio de pequenos poros foliares, os estômatos. A resposta estomática às condições ambientais é influenciada fortemente pelos fluxos de carbono e de água dos ecossistemas terrestres. Considerar aspectos ecológicos e hidrológicos da mudança da vegetação (e.g., ocupações e plantios em planícies de inundação) nos ciclos de carbono e hidrológico é de fundamental para as projeções de mudanças climáticas.

Transpiração

A transpiração é o produto úmido da fotossíntese. A vegetação que pode acessar a umidade mais profunda do solo pode, portanto, manter a evaporação através da transpiração além do que pode ser sustentado apenas pela interceptação. Com a transpiração, a evaporação é responsável por toda produção de biomassa. É o fluxo de evaporação dominante em quase todo tipo de uso da terra: 50-64% em florestas, 61% em campos, 72% em terras agrícolas, e 58-65% em arbustos.

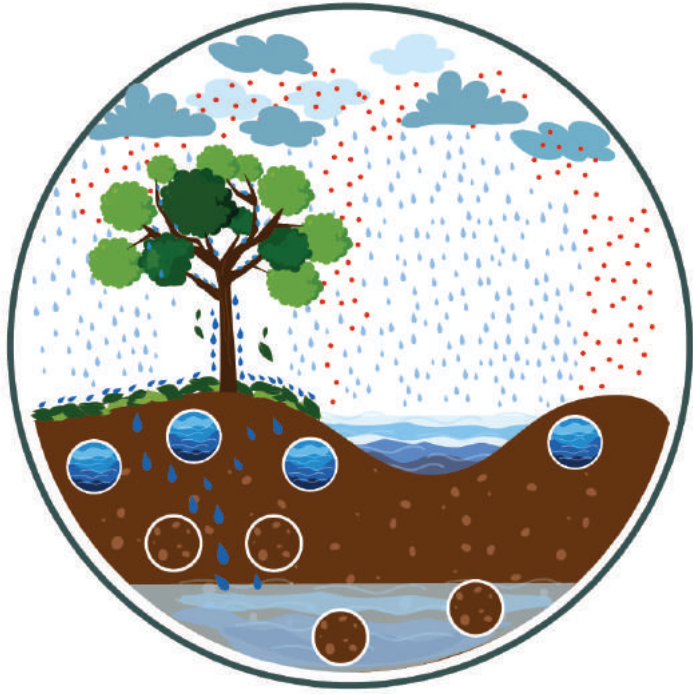


Fig. 2

Manutenção da umidade atmosférica

A vegetação retira água do solo e transpira para a atmosfera, ajudando a manter níveis altos de umidade em áreas mais afastadas do litoral e contribuindo com a regulação do clima.

Evaporação e Precipitação

A evaporação é o maior fluxo de saída de todos os fluxos de umidade, mas retorna à superfície por meio da precipitação, que é o maior fluxo de entrada. São importantes mecanismos para a reciclagem de umidade no ecossistema.

Percolação

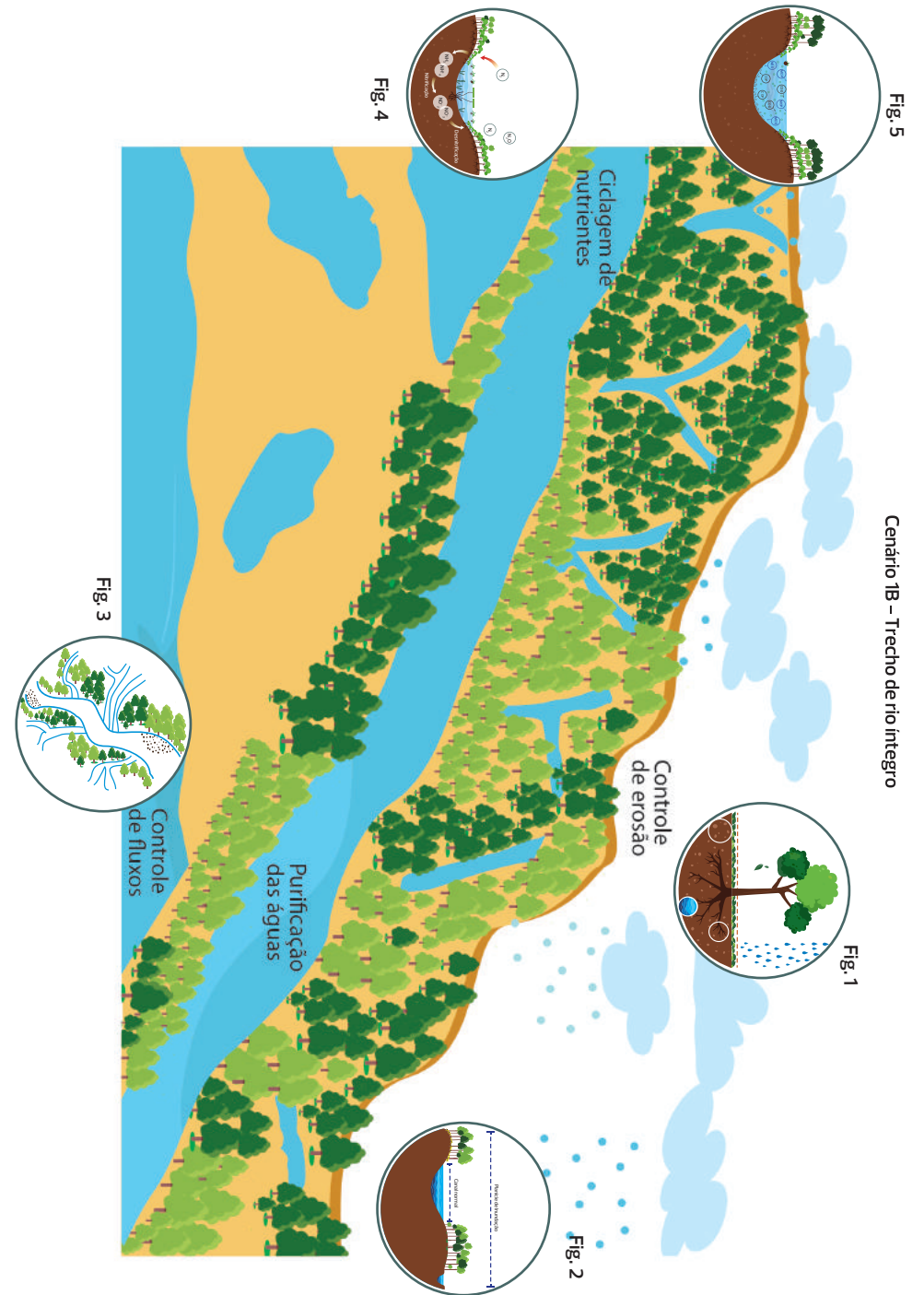
É o avanço descendente da água pela zona não saturado do solo. A percolação é responsável pela drenagem profunda das águas, e ocorre principalmente quando os solos são rasos e o leito rochoso é fraturado, principal contribuição para a manutenção das áreas de recarga.

Escoamento superficial

Ocorre sempre que o fluxo de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo.

Interceptação

A cobertura florestal desempenha um papel importante no ciclo hidrológico ao captar o produto da precipitação por meio da superfície foliar e redistribuí-la, parte retorna para a atmosfera por evaporação, e uma outra parte alcança o piso florestal por gotejamento e escoamento de tronco. É um componente importante no balanço hídrico, pois é o processo mais rápido para reciclar a umidade na formação das chuvas e o processo dominante nas estações chuvosas.



Cenário 1B - Trecho de rio integrado

Fig: 5

Fig: 1

Fig: 2

Fig: 4

Fig: 3



Fig. 1

Formação da serrapilheira

A formação da serrapilheira aumenta a matéria orgânica do solo e a agregação das partículas. Essa camada superficial de matéria orgânica reduz o escoamento superficial, além de mitigar a erosão causada pelo vento.

Retenção do sedimento devido à relação raízes/solo

Os sistemas radiculares afetam propriedades físicas do solo adjacente à raiz influenciando uma diminuição da taxa de erosão do solo devido ao aumento do estado de agregação do solo, do aumento da capacidade de infiltração do solo e do aumento da densidade do solo próximo à raiz.

Infiltração da água no solo devido à presença de macroporos

A presença de macroporos no solo produzidos por atividade biológica como canalização de raiz ou escavação de anelídeos melhora a umidade do solo, além de diminuir o escoamento superficial, contribuindo assim para o controle da erosão.

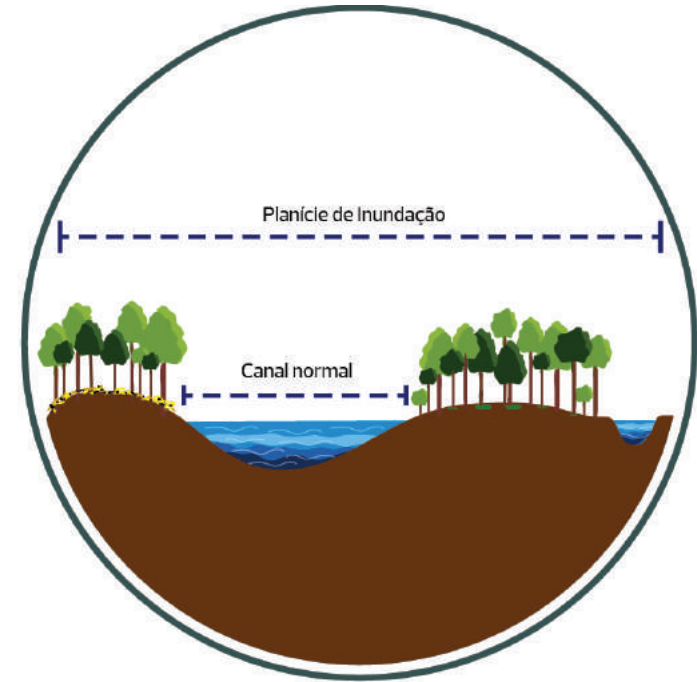


Fig. 2

Pulsos de inundação nas planícies de inundação

As planícies de Inundação preservadas aumentam a capacidade de retenção da água na bacia e diminuem a probabilidade de inundação ao absorverem os pulsos de inundação.



Fig. 3

Erosão e deposição de sedimentos

Erosão e deposição de sedimentos atuando na geomorfologia heterogênea dos cursos d'água. A manutenção dos meandros naturais diminui a velocidade de escoamento da água na bacia.

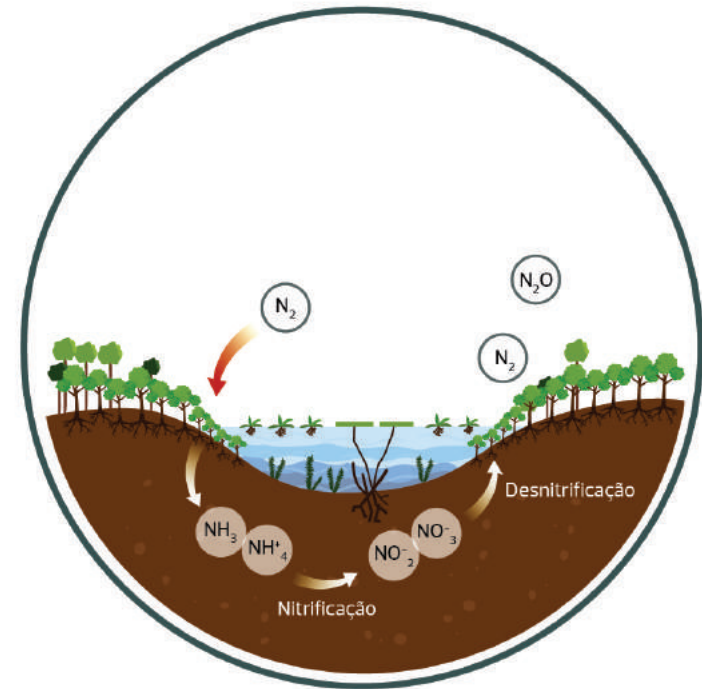


Fig. 4

Nitrificação e Desnitrificação

Concentrações altas de nitrogênio (N), principalmente na forma de Nitrato (NO_3^-) e amônia (NH_3), causam prejuízos na qualidade da água devido ao processo de eutrofização. O nitrogênio configura como o principal impulsionador desse grande problema ambiental. Os processos microbianos de nitrificação e desnitrificação atuam na transformação da amônia e do nitrato, liberando N_2O como produto volátil. São, portanto, processos de ciclagem de nutrientes que ocorrem na interface sedimento-água, desempenhando um papel importante na remoção e transformação dos nutrientes nos ecossistemas aquáticos.

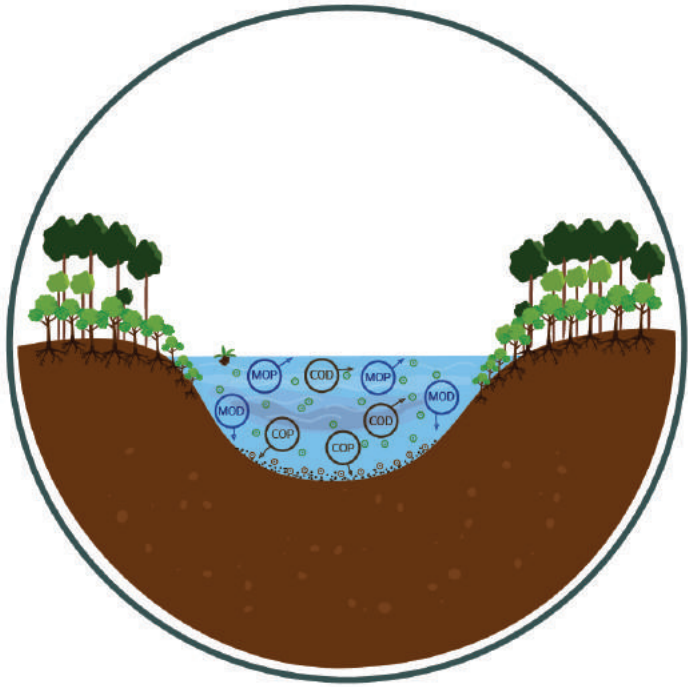


Fig. 5

Absorção de nutrientes pelos produtores

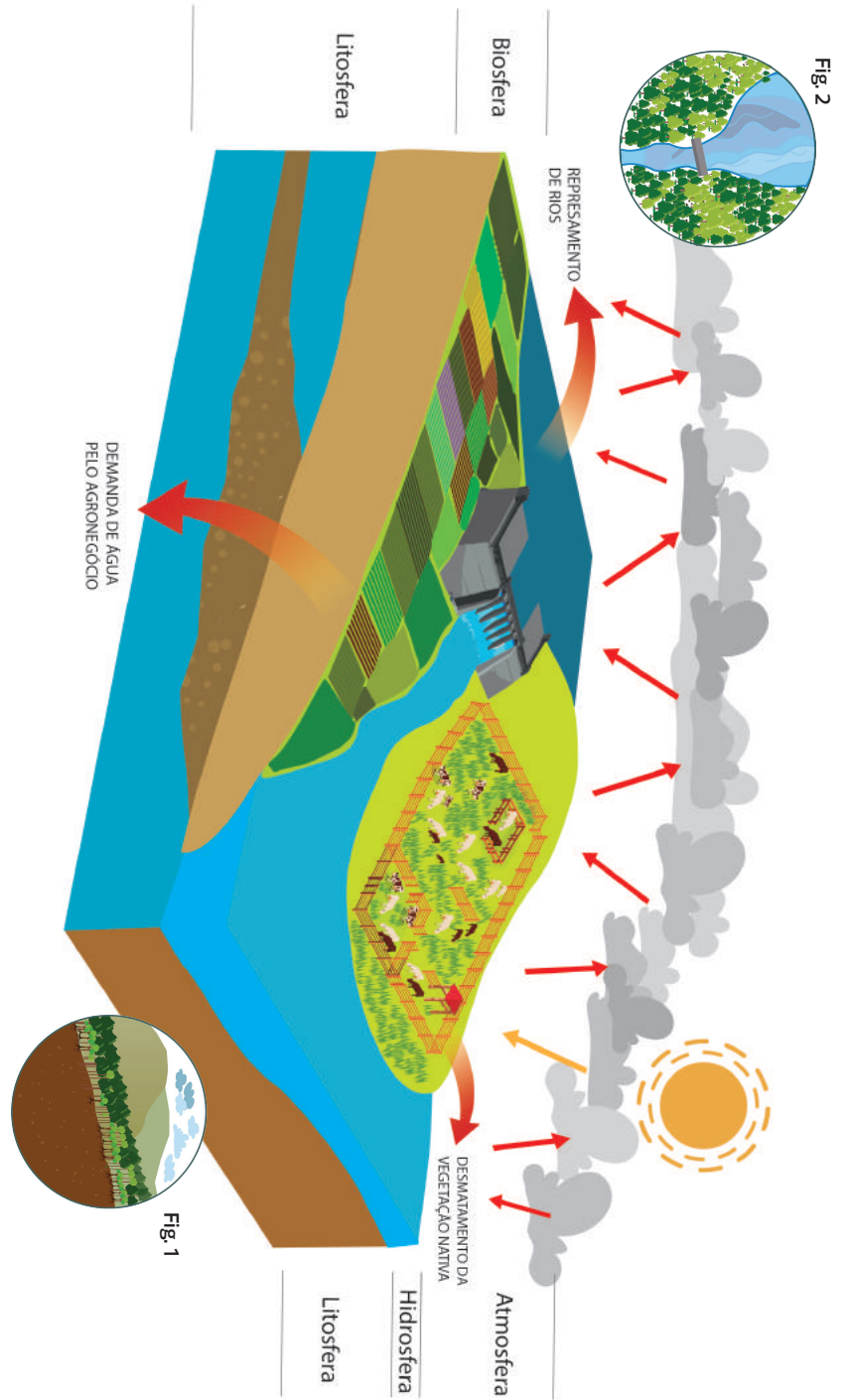
Microalgas e outros organismos fotossintetizantes assimilam carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio e fósforo, além de outros micronutrientes.

Decomposição dos nutrientes por fungos e bactérias

Fungos e bactérias se alimentam a partir da matéria orgânica dissolvida (MOD) proveniente de outros organismos e da carga poluidora lançada na água, transformando-a em matéria orgânica particulada (MOP) e disponível para os organismos heterotróficos, sendo assim responsáveis pela autodepuração.

Processamento de nutrientes pela fauna bentônica/invertebrados aquáticos

Os organismos aquáticos bentônicos, no seu processo de alimentação, convertem o carbono orgânico particulado (COP) em biomassa animal, atuando em ciclagem de nutrientes do sistema.



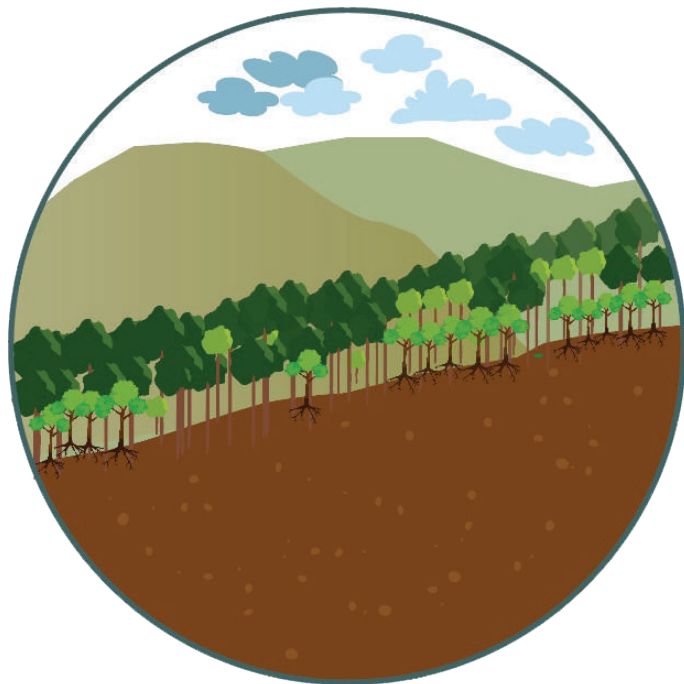


Fig. 1

Desmatamento da vegetação nativa

O desmatamento da vegetação nativa nas bacias hidrográficas é o principal impacto impulsionador da perda de importantes serviços ecossistêmicos hidrológicos como o controle da erosão, controle de fluxos, manutenção das áreas de recarga, ciclagem de nutrientes, purificação natural da água e alterações na regulação da água e do clima. E como consequência, haverá grande redução nos serviços ecossistêmicos de provisionamento de água em quantidade e qualidade para os diversos usos.

Mudanças climáticas

A maior influência das mudanças climáticas não ocorrerá apenas através de mudanças no comportamento das precipitações e das taxas de evaporação, mas através do efeito direto de altas temperaturas no ciclo hidrológico. Os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas atingem, principalmente, a regulação do ciclo da água e a ciclagem de nutrientes, causando alterações nos serviços ecossistêmicos de quantidade e qualidade de água, e nas frequências de eventos extremos de secas e inundações.

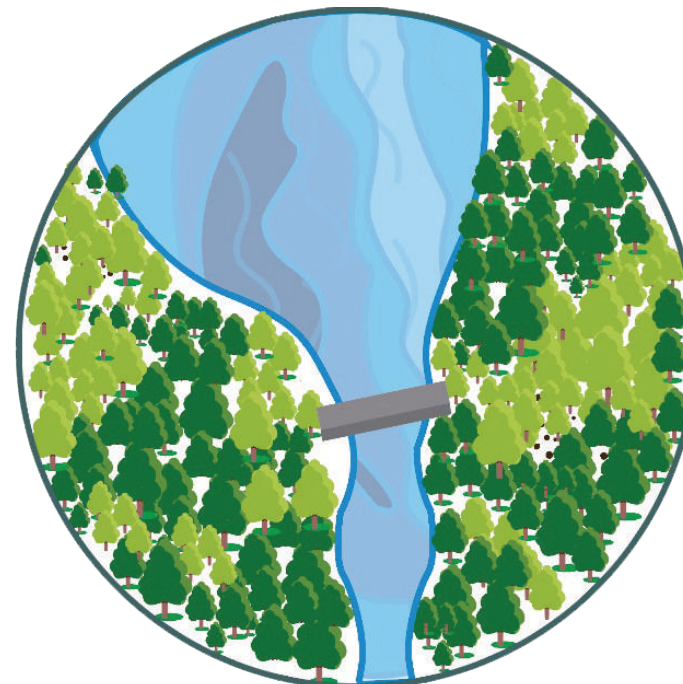


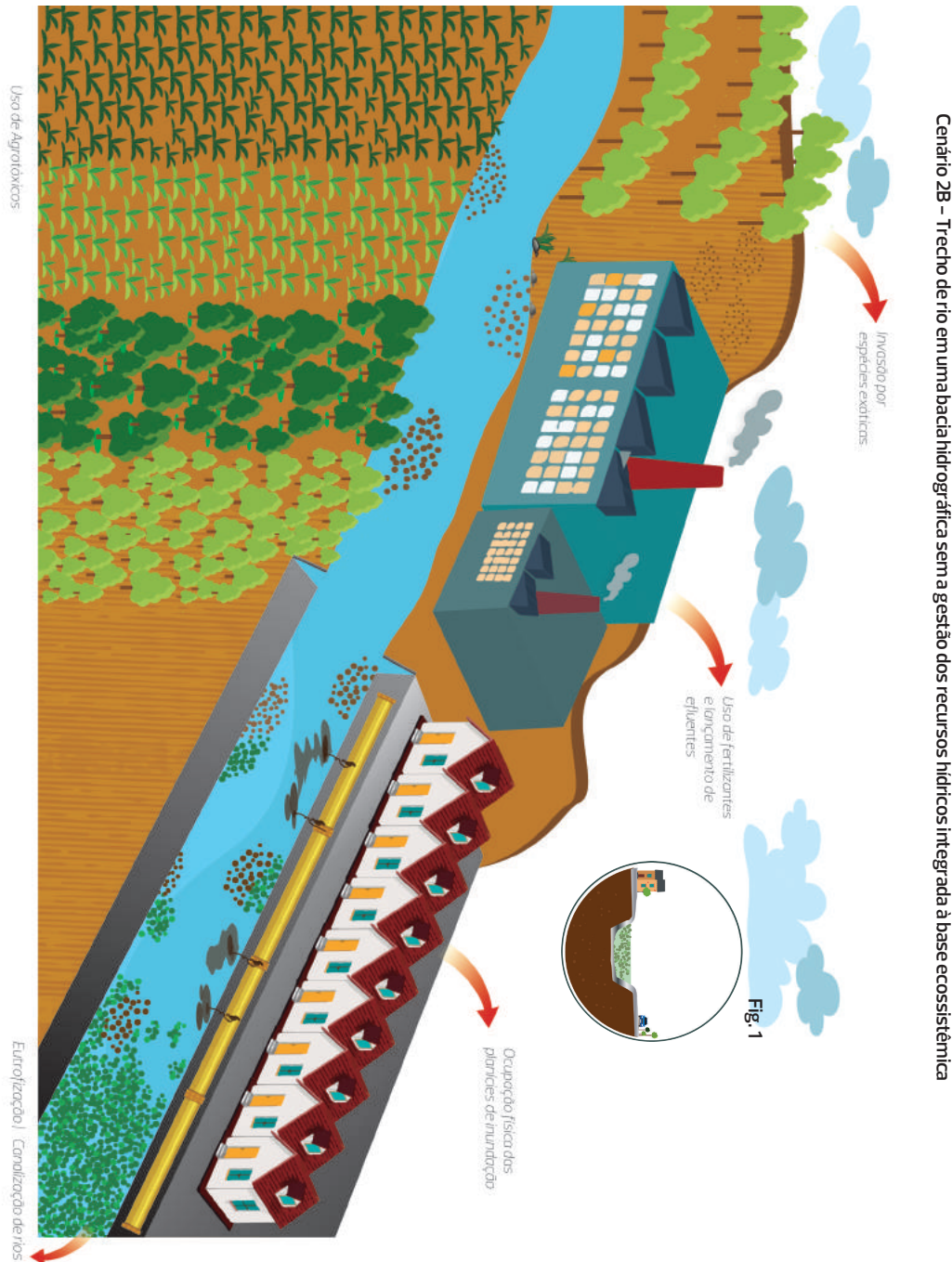
Fig. 2

Represamento de rios

O armazenamento de águas superficiais em reservatórios é a estratégia mais comum para garantir um suprimento confiável de água. Embora os reservatórios possam fornecer uma fonte confiável de água para atender à demanda humana, eles têm efeitos transformadores sobre os rios, incluindo o aumento da perda por evaporação e aumento do tempo de residência da água, causando alterações nos serviços ecossistêmicos hidrológicos de ciclagem de nutrientes e regulação do ciclo hidrológico.

Demanda de água pelo agronegócio

A maior parte da retirada de água e do consumo (retirada menos fluxo de retorno para o sistema fluvial) de rios, lagos e aquíferos é para fins de irrigação. E mais que grandes retiradas, a produção agrícola, também, é responsável por alterações na cobertura vegetal, o que de fato, terá efeitos na disponibilidade de recursos hídricos. A retirada de água para a agricultura e pecuária afeta diretamente o serviço ecossistêmico de provisionamento de água em quantidade.



Cenário 2B - Trecho de rio em uma bacia hidrográfica sem a gestão dos recursos hídricos integrada à base ecossistêmica

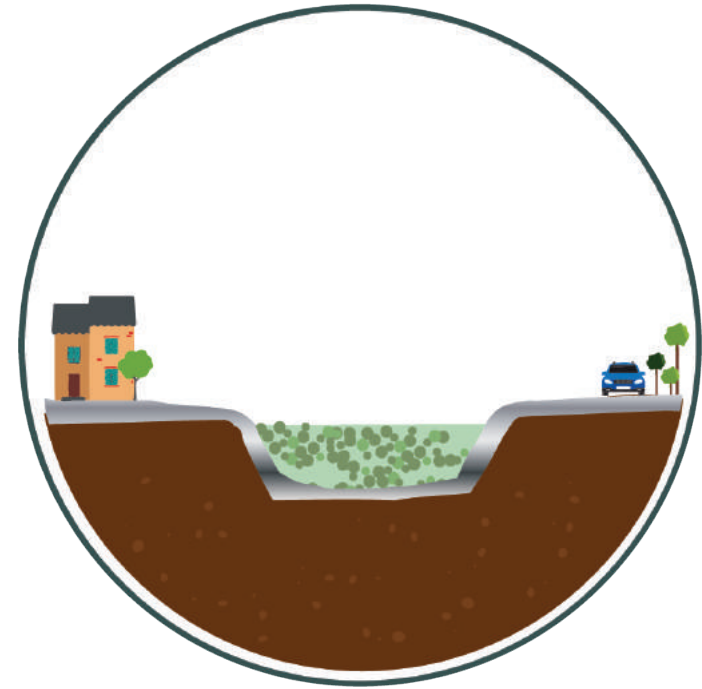


Fig. 1

O uso de fertilizantes, lançamento de efluentes e eutrofização

O uso de fertilizantes e o lançamento de efluentes é um dos principais impactos ambientais nas bacias hidrográficas relacionados com a perda do serviço ecossistêmico de provisionamento de água com qualidade. A agricultura continua a ser a fonte predominante de nitrogênio lançado no meio ambiente e uma fonte significativa de fósforo, além de inúmeros outros produtos químicos, como herbicidas, inseticidas e fungicidas, que implicam na perda da qualidade da água. Com relação aos efluentes domésticos, nem todas as excretas sanitárias chegam às estações de tratamento, muitas vezes são descarregados diretamente na água superficial. O aumento das emissões de nutrientes pode levar à proliferação de algas e à desoxigenação das águas, ocasionando um grave problema ambiental, a eutrofização. A eutrofização afeta a qualidade ecológica das águas e as atividades econômicas, como a pesca, a aquicultura e o turismo, além de expor a pessoas mais vulneráveis a uma água poluída e cheia de patógenos.

Uso de agrotóxicos

O uso de agrotóxicos, como herbicidas, fungicidas e inseticidas, podem ser transferidos para os corpos d'água superficiais por meio do escoamento superficial, contribuindo para a perda da qualidade da água. E mais que problemas relacionados à qualidade da água, o uso de defensivos agrícolas têm efeitos biológicos nos organismos aquáticos, em diferentes níveis tróficos e de maneiras diversas. Esses compostos químicos podem causar inibição de crescimento em algas, afetam a reprodução do zooplâncton e atuam como barreira química para migração de peixes, e consequentemente modificam a estrutura das comunidades ecológicas.

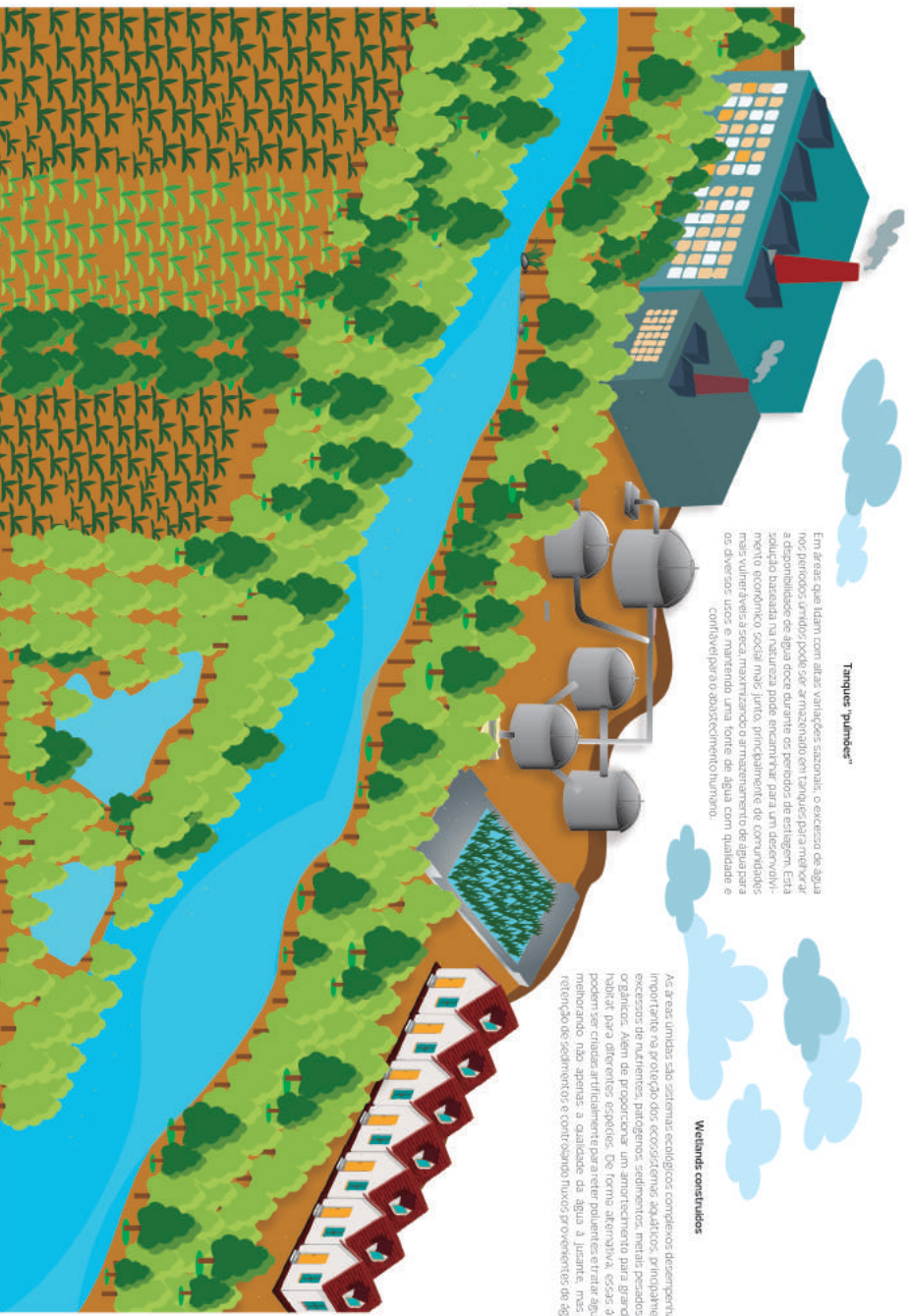
Ocupação física das planícies de inundação e canalização de rios

A ocupação física estendida às margens do rio inibe o desenvolvimento de uma faixa de proteção natural. A radiação solar é aumentada e as seções estagnadas podem aquecer excepcionalmente durante o verão. Como consequência da mudança do meio, a fauna e a flora ribeirinhas são impactadas, as espécies sensíveis desaparecem e as espécies tolerantes tornam-se dominantes na comunidade ecológica. Paralela a essa ocupação irregular das planícies de inundação, a canalização de rios afeta micro-habitats e altera os regimes de fluxo negativamente, afetando a fauna e a flora.

Invasão por espécies exóticas

As planícies de inundação apresentam-se propensas a invasão, provavelmente porque elas são frequentemente perturbadas pelos pulsos de inundação. E por outro lado, algumas espécies invasoras apresentam afinidade por estas áreas onde a água é livremente disponível para o crescimento e dispersão de sementes. Isso sugere que árvores invasoras usam mais água que a vegetação nativa, e consequentemente causam reduções nos fluxos de água das bacias hidrográficas.

Cenário 3B – Trecho de rio em uma bacia hidrográfica com gestão de recursos hídricos integrada à base ecossistêmica



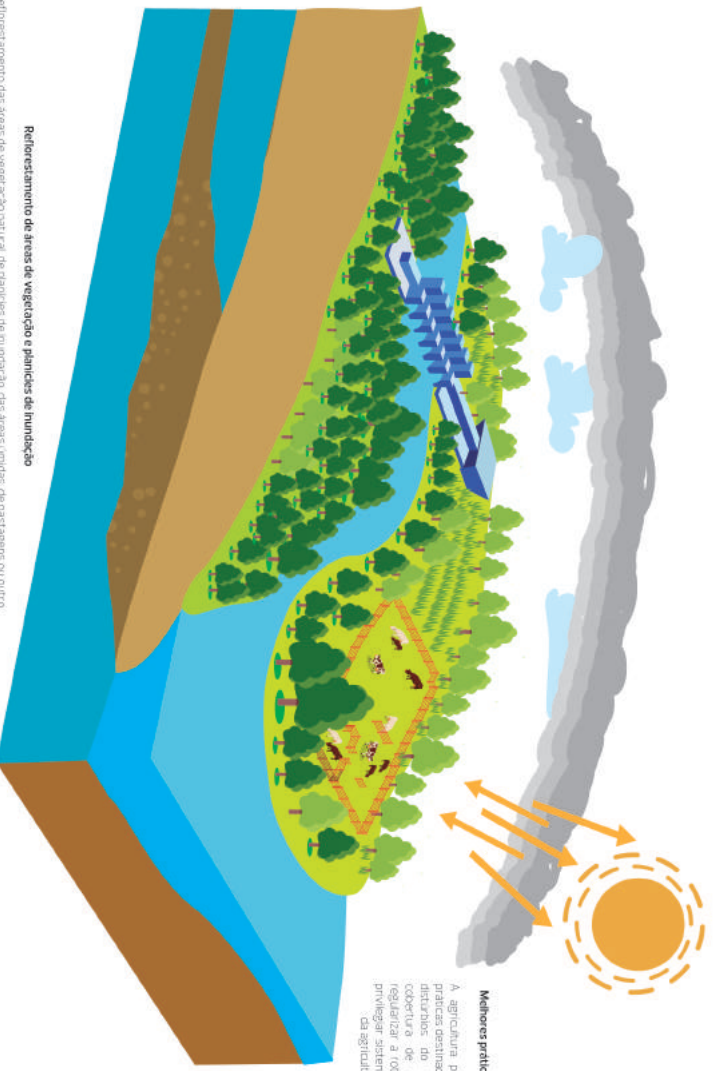
Tanques "pintados"

Em áreas que lidam com altas variações sazonais, o excesso de água nos períodos úmidos pode ser armazenado em tanques para melhorar a disponibilidade de água doce durante os períodos de estiagem. Esta solução baseada na natureza pode encaminhar para um desenvolvimento econômico social mais justo, principalmente de comunidades mais vulneráveis à seca, maximizando o armazenamento de água para os diversos usos e mantendo uma fonte de água com qualidade e confiável para o abastecimento humano.

Wetlands construídos

As áreas úmidas são sistemas ecológicos complexos desempenham um papel importante no ciclo dos ecossistemas aquáticos, principalmente ao reter excessos de nutrientes, patógenos, sedimentos, metais pesados e poluentes orgânicos. Além de proporcionar um amortecimento para girafas, veados e habitat para diferentes espécies, de forma alternativa, essas áreas úmidas podem ser criadas artificialmente para reter poluentes e tratar águas residuais, melhorando não apenas a qualidade da água a jusante, mas atuando na retenção de sedimentos e fornecendo novos provedores de águas potáveis.

Cenário 3A – Bacia hidrográfica com gestão de recursos hídricos integrada à base ecossistêmica



Barragens de regularização com conservação do curso do rio

A construção de barragens ou represas sem a formação de grandes lagoas de acumulado representa uma solução que se baseia na manutenção de processos naturais que ocorrem no rio, como os pulões de inundação e a ciclagem de nutrientes. A conservação dos meandros naturais do rio, sob o paradigma de que a manutenção do regime de fluxo natural é prioritária, maximiza benefícios ecológicos e sociais, como produtividade da pesca e a provisão de água com qualidade, trata-se de soluções baseadas na natureza que tem como objetivo contribuir para um desenvolvimento econômico e social mais justo.

Reforçamento de áreas de vegetação e planícies de inundação

O reforçamento das áreas de vegetação natural, de planícies de inundação, de pastagens ou outro habitat da bacia hidrográfica, restituir a capacidade de manter o solo no lugar e reduzir a erosão, de fitar naturalmente os poluentes carregados, com o escoamento superficial e ajudar a reter a água de escoamento no solo. Trata-se de incorporar a gestão das bacias hidrográficas a concepções de soluções baseadas na natureza, como gerenciamento do uso da terra e armazenamento natural de água em áreas úmidas, o que de fato oferece oportunidades para a manutenção dos serviços ecossistêmicos hidrológicos, e consequentemente a provisão de água em quantidade e qualidade.

Melhores práticas de agricultura

A agricultura precisa encontrar práticas destinadas a minimizar os distúrbios do solo, manter a cobertura de áreas florestais, regularizar a rotação de culturas, privilegiar sistemas de sequeiro e da agricultura familiar.