



# SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: PROPOSTA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PASSO FUNDO (GUAÍBA/RS)

Sumirê da Silva Hinata <sup>1</sup>  
Luís Alberto Basso <sup>2</sup>

## RESUMO

Os Serviços Ecossistêmicos vêm se destacando nos últimos anos, compondo uma perspectiva para evidenciar a importância de novas formas de monitoramento e avaliação ambiental. A sub-bacia hidrográfica do arroio Passo Fundo, localizada no município de Guaíba/RS, encontra-se bastante comprometida por distintos processos de degradação ambiental, mas também oferece benefícios de cunho turístico, recreacional, natural e de produção agrícola para a economia local e regional. Para a avaliação pretendida estabeleceu-se uma correlação entre as classes de uso e cobertura do solo proveniente da Coleção 5 do Projeto MapBiomass e os serviços ecossistêmicos associados. Este mapeamento permitiu quantificar a evolução das classes entre 1985 e 2019 e traçar um cenário tendencial para 2030 e 2050 através do *software* Dinamica EGO. Os principais resultados mostraram o avanço considerável da classe Soja sobre a classe Formação Campestre, aumentando no cenário tendencial. Em termos de valores dos serviços, houve uma perda de 8,64% entre 1985 e 2019. A atribuição de valores aos serviços ecossistêmicos com base nas classes de uso e cobertura do solo mostrou-se uma ferramenta útil de avaliação, que pode ser utilizada na tomada de decisão e formulação de políticas de proteção ambiental. A atribuição de valores monetários não pretende precificar a natureza para transformá-la em ativos de mercado, mas evidencia o quanto se perderia economicamente e qual o custo para a sociedade sem a devida valorização dos serviços ecossistêmicos.

**Palavras-chave:** Classificação do uso e cobertura do solo, Avaliação ambiental, Projeto MapBiomass, Dinamica EGO.

## ABSTRACT

Ecosystem Services have been standing out in recent years, creating a perspective to highlight the importance of new forms of environmental assessment and monitoring. Arroio Passo Fundo watershed, located in the municipality of Guaíba/RS, is quite compromised by different processes of environmental degradation, but it also offers tourist, recreational, natural and agricultural production benefits for the local economy and regional. For the intended evaluation, a correlation was established between the classes of land use and land cover from Collection 5 of the MapBiomass Project and the associated ecosystem services. This mapping allowed us to quantify the evolution of classes between 1985 and 2019 and trace a trend scenario for 2030 and 2050 through the Dinamica EGO software. The main results showed the considerable advance of the Soybean class over the

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS, [sumire.hinata@ufrgs.br](mailto:sumire.hinata@ufrgs.br)

<sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS, Doutor em Geografia Física (Universidade de Zaragoza/Espanha), [luis.basso@ufrgs.br](mailto:luis.basso@ufrgs.br)



Grassland class, increasing in the trend scenario. In terms of service values, there was a loss of 8.64% between 1985 and 2019. Assigning values to ecosystem services based on land use and land cover classes proved to be a useful assessment tool that can be used in decision-making and formulation of environmental protection policies. The attribution of monetary values does not intend to price nature in order to transform it into market assets, but shows how much would be lost economically and what the cost to society would be without the proper valuation of ecosystem services.

**Keywords:** LULC classification, Environmental assessment, MapBiomas Project, Dinamica EGO.

## INTRODUÇÃO

Processos desestabilizadores do equilíbrio ambiental têm atuado significativamente ao longo das últimas décadas, e cada vez mais faz-se necessária a busca por soluções que arrefeçam e estanquem a degradação do meio ambiente. A avaliação ambiental associada a critérios de valoração dos ecossistemas pode ser uma metodologia eficaz para avaliação de impactos e monitoramento ambiental, tornando-se uma ferramenta importante em processos de tomada de decisão em políticas ambientais.

Alguns instrumentos de avaliação ambiental já possuem regulamentação definida, como o mercado de créditos de carbono, por exemplo, que permite trocas e monetarização entre diferentes setores, onde as cotas de emissão de gases de efeito estufa podem ser comercializadas entre empresas e governos.

Um importante instrumento de avaliação ambiental vem ganhando destaque nos últimos 20 anos, e consiste na caracterização dos Serviços Ecossistêmicos (SE), entendidos como benefícios que as pessoas adquirem dos ecossistemas (MEA, 2005). O pioneirismo na elaboração de projetos para avaliação dos ecossistemas, com objetivo de promover o aumento da conservação e uso sustentável da biodiversidade em benefício do bem estar humano, fica evidente em três relevantes projetos: Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005), Economia de Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB, 2010) e América Latina e o Caribe: uma superpotência de Biodiversidade (PNUD, 2010).

No Brasil, muitas aplicações voltadas à conservação da natureza referem-se a esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que têm se consolidado como um instrumento econômico, cuja essência está em remunerar quem preserva direta ou indiretamente, o meio ambiente (MMA, 2011; PAGIOLA et al., 2013).

Alguns programas incluem monitoramento sistemático utilizando indicadores quantitativos, como áreas de recomposição florestal, avaliação do volume de água (medição da vazão) e qualidade da água (oxigênio dissolvido, temperatura, pH, etc.), número de projetos de recuperação ambiental, regime fluvial ou protocolos de monitoramento da



restauração florestal (MMA, 2011), mas na maior parte dos esquemas de PSA, a identificação e o monitoramento quanto à variação espacial dos serviços muitas vezes não apresentam metodologia definida. Nesses casos, a avaliação do cumprimento dos programas é realizada através de vistorias técnicas para monitorar as atividades, acompanhamento das alterações do uso e cobertura da terra, fiscalização do cumprimento das medidas conservacionistas propostas pelos proprietários de terra, medidos na maioria dos programas de PSA através da subjetividade da percepção dos técnicos de secretarias ambientais ou instituições equivalentes, que normalmente não apresentam precisão e métricas definidas.

Ainda que existam trabalhos em desenvolvimento e com propostas de avaliação consistentes, a identificação e a análise da evolução em termos da mudança dos SE no espaço e no tempo no país e, especialmente no Rio Grande do Sul, ainda é incipiente e necessita de maior aprofundamento.

Importante salientar que existem muitas incertezas e ambiguidades quanto aos conceitos (bens ambientais, serviços ambientais, pagamento por serviço ecossistêmico, pagamento por serviço ambiental, serviço de ecossistema), gerando um obstáculo para a implementação de uma avaliação unificada.

A recém sancionada Lei Nº 14.119 (BRASIL, 2021) que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais incorpora os SE em seus objetivos:

III - valorizar econômica, social e culturalmente os serviços ecossistêmicos;

...

VII - reconhecer as iniciativas individuais ou coletivas que favoreçam a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos, por meio de retribuição monetária ou não monetária, prestação de serviços ou outra forma de recompensa, como o fornecimento de produtos ou equipamentos;

...

IX - estimular a pesquisa científica relativa à valoração dos serviços ecossistêmicos e ao desenvolvimento de metodologias de execução, de monitoramento, de verificação e de certificação de projetos de pagamento por serviços ambientais;

...

XII - incentivar o setor privado a incorporar a medição das perdas ou ganhos dos serviços ecossistêmicos nas cadeias produtivas vinculadas aos seus negócios;

Ressalta-se que esta lei carece de regulamentação jurídica e de maior detalhamento com relação às fontes pagadoras e metodologia de operação dessas trocas, mas ainda assim é uma forma de reconhecer a importância e incorporar os SE na avaliação ambiental.



Diante deste cenário, esta pesquisa<sup>3</sup> tem por objetivo apresentar uma forma de avaliação e classificação dos SE associadas ao uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do arroio Passo Fundo (SBHAPF), município de Guaíba/RS.

A escolha dessa área se deu em função de fortes evidências de degradação e da falta de aplicação de medidas de prevenção e mitigação em relação aos impactos ambientais negativos. A SBHAPF possui diversos problemas associados à poluição, inventariados em um primeiro momento no diagnóstico ambiental sobre a sua área de drenagem (GUERRA et al., 2002) e ratificados através das propostas demandadas pelas agendas temáticas apresentadas no Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (DRH/SEMA, 2015).

Apesar de constatada a degradação ambiental em diversos setores e inferidas as causas, e do alerta do diagnóstico sobre “a capacidade de regeneração do recurso hídrico, através de um gerenciamento adequado da bacia como um todo e de estudos de monitoramento contínuos na bacia hidrográfica” (GUERRA et al., 2002), poucas ações foram efetivamente executadas para a reversão da situação degradante ou recuperação de áreas, tampouco foram tomadas medidas preventivas ou de contenção.

Esse cenário é representativo de um dos principais obstáculos da gestão ambiental, qual seja, a mobilização de recursos e a consolidação de uma rede de informações que permita o monitoramento de uma determinada área ao longo do tempo, com base em indicadores que sejam representativos dos processos existentes no local. A seleção de indicadores que possam retratar a evolução de uma condição existente para o alcance de uma meta ou manutenção de uma situação que já esteja confortável é o passo inicial para a recuperação, preservação e/ou conservação de uma área de interesse.

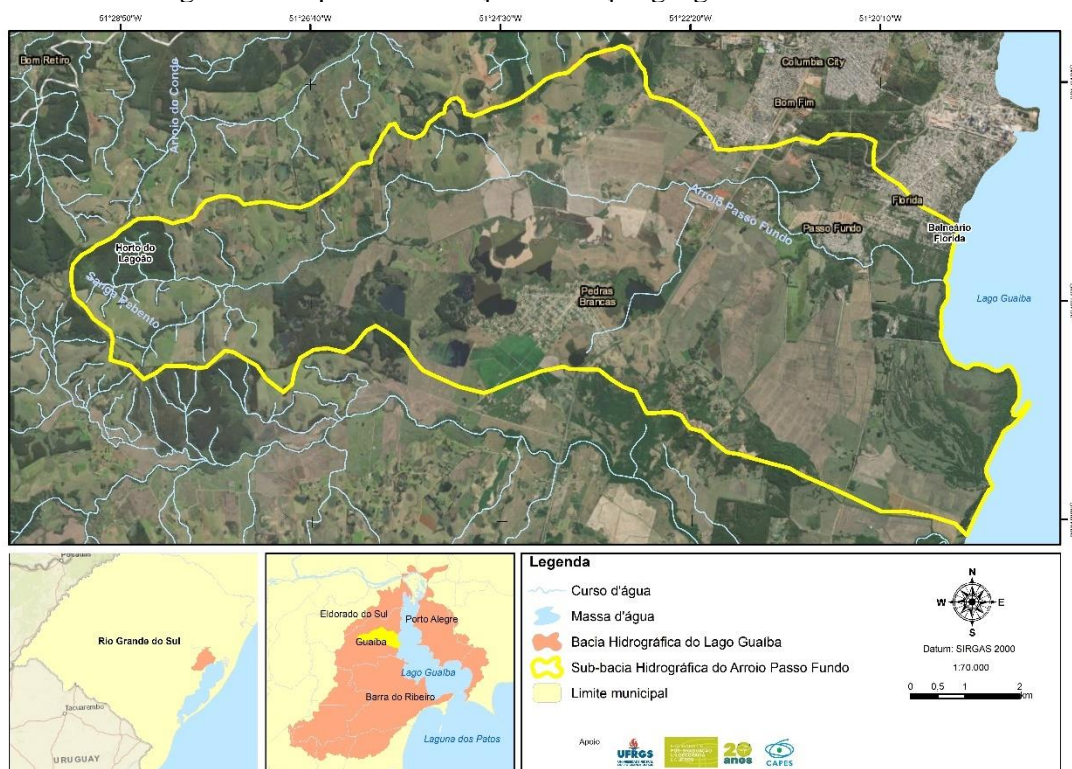
A preocupação de incluir os serviços ecossistêmicos no planejamento, gestão e tomada de decisão já é evidente, visto que muitos trabalhos têm apresentado diferentes abordagens para este fim, mas “muitos problemas ainda precisam ser resolvidos para integrar totalmente conceito de serviços (ecossistema) no planejamento diário da paisagem, gestão e tomada de decisão” (DE GROOT et al., 2010).

---

<sup>3</sup> Tese de doutorado em andamento (iniciada em 2018), realizada no Programa de Pós-graduação em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com concessão de bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

A sub-bacia em estudo pertence à bacia hidrográfica do Lago Guaíba e está localizada entre as coordenadas UTM 6667680 N, 6658728 S, 470354 E e 452812 W (Figura 1) com área aproximada de 75,7 km<sup>2</sup> (7.570 ha) (DRH/SEMA, 2015). Apresenta diferentes tipos de uso e cobertura do solo, compreendendo área urbana, atividade industrial e agropecuária, silvicultura, áreas de banhado e nascentes, incluindo a do arroio que lhe concede o nome.

Figura 1 - Mapa de localização e situação geográfica da SBAPF.



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).

A SBHAPF possui potencial para atividades voltadas à recreação, ao turismo, às atividades culturais, esportivas e de observação da paisagem, especialmente na área denominada Balneário Florida (Guaíba/RS) junto à orla do Lago Guaíba. Entretanto, tem sido impactada ao longo dos anos por atividades antrópicas, o que se reflete especialmente a jusante do arroio Passo Fundo (APF), trazendo consequências à saúde da população do entorno.

No perímetro urbano o arroio passa a receber a carga de efluentes industriais e esgotos sanitários sem tratamento. Habitações irregulares e com precárias condições de saneamento agravam a situação da foz do APF, agregando o problema social ao impacto de devastação da mata ciliar e depósito de resíduos sólidos em massa no local (AMA, 2013).



Diante desses aspectos, a identificação, classificação e monitoramento dos SE podem ser adotados como ferramenta eficaz para o monitoramento e avaliação das transformações ocorridas na área durante um tempo e espaço predefinidos, possibilitando que gestores públicos e órgãos de controle ambiental tenham uma alternativa para o planejamento e gestão ambiental na sub-bacia, uma vez que este conflito pela melhoria do arroio Passo Fundo e pelas condições ambientais na área vem persistindo ao longo dos anos.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Os Serviços Ecossistêmicos (SE) correspondem às características, funções ou processos ecológicos que contribuem direta ou indiretamente para o bem-estar humano, ou seja, os benefícios que as pessoas obtêm do funcionamento dos ecossistemas (COSTANZA et al., 1997, 2017; MAES et al., 2012; MEA, 2005).

Os SE são agrupados em quatro grupos, incluindo: serviços de produção, como alimento e água; serviços de regulação de enchentes, de secas, da degradação dos solos, e de doenças; serviços de suporte, relacionados à formação dos solos e dos ciclos de nutrientes; e serviços culturais, relacionados à recreação, valor espiritual, valor religioso e outros benefícios não-materiais (MEA, 2005).

Estudos pioneiros iniciados há mais de 20 anos (DAILY, 1997; COSTANZA et al., 1997) propuseram o valor dos serviços ecossistêmicos no mundo, e impulsionaram inúmeras publicações e pesquisas importantes em âmbito internacional (MAES et al., 2012, 2016; COSTANZA et al., 2017).

A categorização proposta por Costanza et al. (1997) faz uma abordagem integradora, relacionando o capital natural, social, construído e humano necessário para produzir esses serviços, e considera os serviços de provisão ou abastecimento, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte, os quais foram agrupados em 17 principais categorias. Cada uma dessas categorias recebeu um valor distinto com base em diversos outros estudos publicados anteriormente.

A adoção de valores monetários para avaliação de SE envolve uma série de critérios, e traz discussões relacionadas a uma interpretação negativa quanto à ‘precificação’ da natureza.

Em 2006, foram expostas questões pertinentes quanto à identificação e quantificação do valor econômico proposto para os SE, considerando que esse tipo de avaliação não seria suficiente para alertar os tomadores de decisão sobre a destruição da natureza. Ganhos significativos e duradouros na conservação deveriam ser alicerçados sobre valores como



ética e estética (MCCAULEY, 2006). Para este autor, uma avaliação pautada em modelos embasados em ecossistemas em geral, bem como o exemplo do programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) na bacia hidrográfica de Catskill no estado de Nova York (PEREIRA; ALVES SOBRINHO, 2017) seriam uma mensagem apelativa para diferentes atores - público em geral, políticos, filantropos, fundações, etc. - com objetivo de contemplar a todos.

Nesta perspectiva, este tipo de avaliação poderia sugerir que a conservação da natureza só valeria a pena se oferecesse lucro, e que ganhar dinheiro e proteger a natureza são, muitas vezes, objetivos mutuamente excludentes. McCauley (2006) defendeu enfaticamente a preservação da natureza, e não refutou o papel dos SE para protegê-la, mas preconizou a utilização de SE individuais como moeda de troca em planos de conservação específicos, sem conversão do valor intrínseco da natureza para a linguagem da economia. Por fim, ressaltou que apelar para o coração das pessoas em vez de suas carteiras traria mais progresso a longo prazo, e que exagerar na mensagem de que os ecossistemas são importantes porque prestam serviços, seria legitimar a venda da natureza (MCCAULEY, 2006).

Tal publicação gerou uma série de comentários e contra argumentos por parte dos autores que defendem a avaliação pautada em SE. Para alguns, não se pode ignorar os custos e benefícios econômicos reais dos SE em processos deliberativos de tomada de decisão, pois estes são necessários para permitir a ponderação de valores econômicos e culturais intrínsecos. Outro aspecto considerado foi o esforço de conservação baseado em SE, que não estão necessariamente condicionados à regulamentação do mercado, visto que papéis úteis desempenhados por uma bacia hidrográfica na purificação da água, um bosque para recreação ou uma floresta para sequestro de carbono são apenas alguns dos muitos fatores usados para ajudar a convencer um governo dos méritos de proteger certas áreas. Considerando-se que o planeta é um mosaico de sistemas que fornecem diferentes pacotes de serviços e desserviços ecossistêmicos às pessoas, não seria possível gerenciar tais sistemas de forma eficaz sem buscar uma forma de medir os fluxos desses serviços, examinar os beneficiários e considerar uma série de políticas, incentivos, tecnologias e regulamentações que possam encorajar uma melhor gestão e repartição dos benefícios. Avaliar a conservação apenas pelo valor intrínseco seria insuficiente como resposta às crescentes ameaças à biodiversidade, notadamente em regiões mais pobres do planeta, visto que valores intrínsecos e espirituais são frequentemente superados pela necessidade de



sobrevivência ou para excluir segmentos da população beneficiários dos recursos do ecossistema (REID et al., 2006).

Outro argumento a favor dos SE consistiu em reforçar seu significado como informação útil na complexa tarefa de gerenciar de forma sustentável os ativos naturais, e que valorizá-los não significa mercantilizá-los para o comércio em mercados privados (COSTANZA, 2006). Considerando-se que os SE são bens públicos, conhecer seu valor torna-se importante para uma gestão eficaz, que em alguns casos pode incluir incentivos econômicos, como o sistema de PSA bem sucedido da Costa Rica (PEREIRA; ALVES SOBRINHO, 2017). Não se trata de uma escolha entre meio ambiente ou economia, pois se a natureza contribui significativamente para o bem-estar humano, então é uma grande contribuinte para a economia real, e os ecossistemas são essenciais para sobrevivência e bem-estar humano por muitas razões, incluindo “coração, mente e carteiras” (COSTANZA, 2006, p. 749).

Outros conservacionistas (MARVIER; GRANT; KAREIVA, 2006) também defenderam que promover a valoração dos SE não significa vender a natureza, mas buscar uma forma de valorizá-la corretamente. Eles ressaltaram que indivíduos mais pobres da sociedade são os mais afetados pelos esforços de proteger a natureza, e também os que mais sofrem quando ocorre degradação dos ecossistemas. A valoração econômica dos SE pode fornecer dados e ferramentas necessárias para tornar o bem-estar humano parte do planejamento de projetos de conservação, de modo que tanto os seres humanos quanto a biodiversidade possam ser identificados e promovidos. Evidenciar os SE fornece maiores chances de incentivos de mercado, elaboração de políticas governamentais, projetos de conservação melhor estruturados e a possibilidade de ampliação de atores beneficiados que se estenda além do mundo rico ocidental.

Ainda, Kubiszewski et al. (2017) sustentam que a avaliação dos SE em unidades monetárias não está em conflito com outras abordagens ao considerar sua importância, mas representa uma informação adicional que pode complementar outras abordagens.

O desconhecimento do tema relacionado ao fornecimento de bens e serviços providos pelos ecossistemas induz a sociedade e os gestores públicos de maneira geral à negligência. Pode ser que ocorra uma valoração dos serviços ecossistêmicos à medida que os impactos de ações humanas sobre o meio ambiente se intensifiquem, e os custos e investimento em tecnologias se tornem mais evidentes. Os SE são absolutamente essenciais à civilização, mas a vida urbana moderna torna obscura sua existência (DAILY, 1997). Além dos custos para





remediação de uma área degradada, ações antrópicas sem controle durante um período prolongado de tempo podem se intensificar e ser tão prejudiciais que um impacto pode se tornar irreversível, não sendo mais possível a recuperação de condições adequadas para a vida animal e vegetal.

## **METODOLOGIA**

O conjunto de dados utilizados para o mapeamento da área de estudo é proveniente da Coleção 5 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - MapBiomias, que gerou uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura do solo do Brasil produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélites da série Landsat com resolução de 30 metros. O Projeto MapBiomias tem como propósito contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais tendo como base o desenvolvimento e implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de uso e cobertura do solo do Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (última atualização em 2019) (PROJETO MAPBIOMIAS, 2020).

Segundo este mapeamento, a SBHAPF encontra-se inteiramente inserida no Bioma Pampa, e compreende as classes Floresta Natural (Formação Florestal); Floresta Plantada; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Infraestrutura Urbana; Outras Áreas não Vegetadas; Outras Lavouras Temporárias; Soja (a partir do ano 2000); e Corpos d'água (Rios e Lagos).

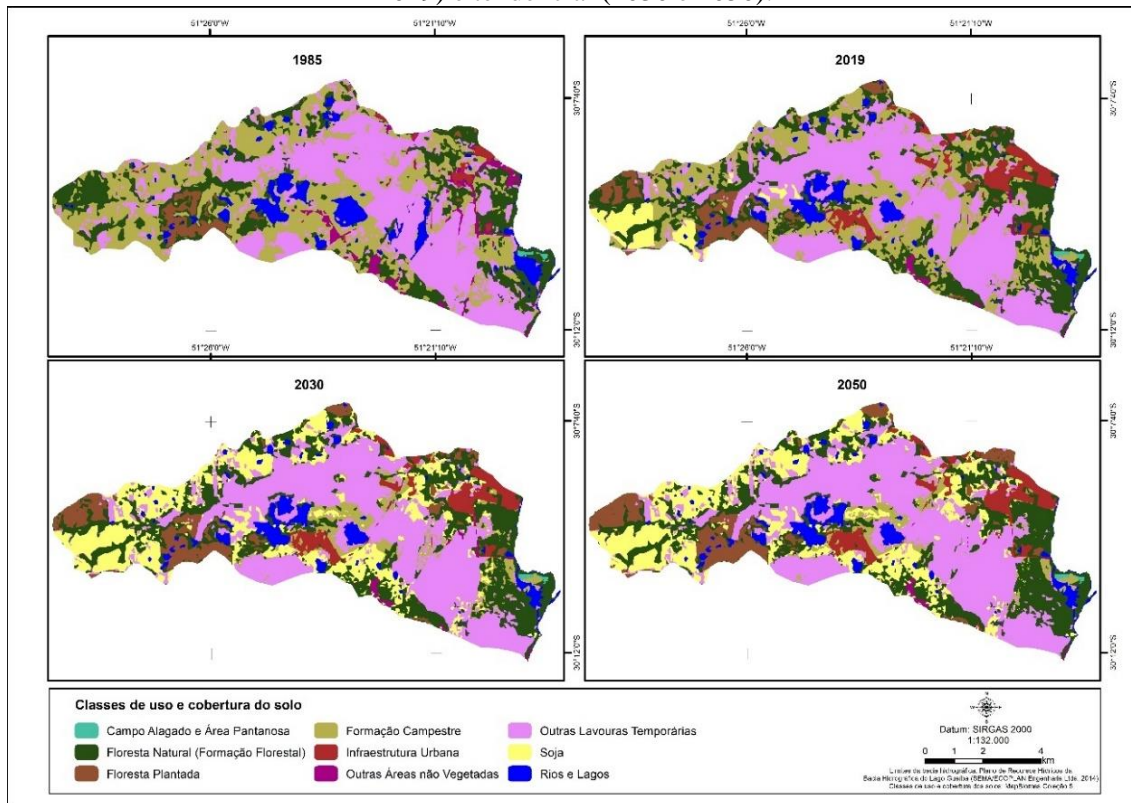
Além da análise das mudanças ocorridas entre os anos de 1985 até 2019, elaborou-se o cenário tendencial para 2050, ou seja, um intervalo de 34 anos, simulado no software Dinamica EGO (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009).

Através do mapeamento de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomias realizou-se uma associação de cada classe com os SE correspondentes seguindo a metodologia proposta por Costanza et al. (1997). A avaliação em termos de quantidade de área e tipos de SE é uma abordagem em expansão em muitos países, e começa a ter resultados expressivos também no Brasil (BACHI *et al.*, 2020; DE LIMA *et al.*, 2018; HINATA; BASSO; SANTOS, 2021; ROSA; SOUZA; SÁNCHEZ, 2020).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A sub-bacia do APF apresentou nove tipos de classes de uso e cobertura do solo que se transformaram significativamente de 1985 até 2019 (Figura 2).

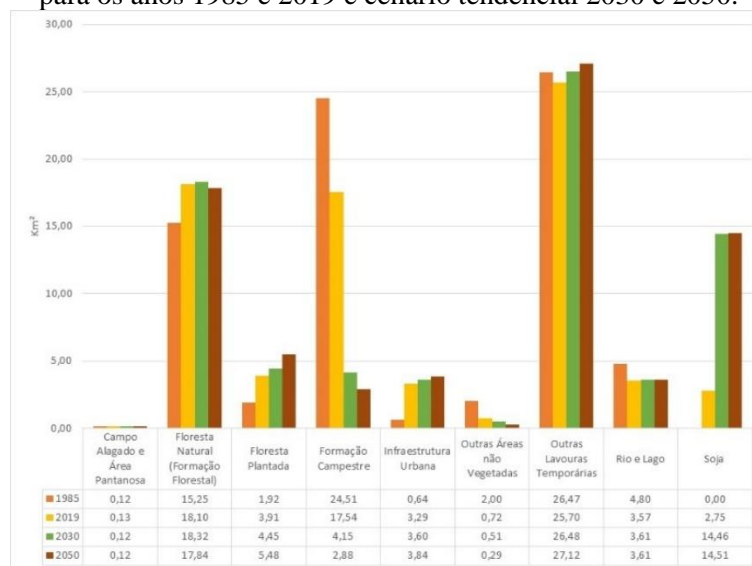
Figura 2 - Mapeamento do uso e cobertura do solo na SBHAPF observado (1985 e 2019) e tendencial (2030 e 2050).



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).

As transformações observadas de 1985 a 2019 (Figura 3) evidenciam que as áreas ocupadas pela classe Outras lavouras temporárias (excetuando-se a soja) foram predominantes, cobrindo 26,47 km<sup>2</sup> (34,97%) da área em 1985 e 25,70 km<sup>2</sup> (33,94%) em 2019, com retração de -1,03% no período.

Figura 3 - Distribuição das classes de uso e cobertura do solo segundo o MapBiomas para os anos 1985 e 2019 e cenário tendencial 2030 e 2050.



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).



A classe Formação Campestre ocupou segunda colocação em 1985, cobrindo 24,51 km<sup>2</sup> (32,38%) da área da sub-bacia e, ainda que tenha garantido a terceira maior colocação em termos de ocupação em 2019 (23,16%), sofreu redução de -6,98 km<sup>2</sup> (-9,21%) no período, cedendo espaço principalmente para as classes Soja e Outras Lavouras Temporárias.

A classe Floresta Natural avançou 2,86 km<sup>2</sup> (3,77%) no período, ocupando 15,25 km<sup>2</sup> (20,14%) em 1985 e 18,10 km<sup>2</sup> (23,91%) em 2019. Esta formação é composta por vegetação com predomínio de espécies arbóreas, mas não necessariamente representam áreas preservadas ou com vegetação nativa. Os dados levantados pelo Projeto MapBiomass apontaram que pelo menos 9,3% de toda a vegetação natural do Brasil é secundária, ou seja, são áreas que já foram desmatadas e convertidas para uso antrópico pelo menos uma vez (PROJETO MAPBIOMASS, 2020). Pelo grau de antropização existente na sub-bacia, infere-se que a classe Floresta Natural seja composta por vegetação secundária.

Ainda que o crescimento desta classe tenha sido pequeno, ele foi superior ao avanço da Floresta Plantada, que ocupou 1,92 km<sup>2</sup> (2,53%) em 1985 e 3,91 km<sup>2</sup> (5,16%) da área total da sub-bacia em 2019, um aumento de 2,63% no período. Na porção oeste da sub-bacia fica mais evidente o avanço da Floresta Plantada, onde a silvicultura se faz presente na área de plantio conhecida como Horto do Lagoão, pertencente a uma das maiores indústrias de celulose, papel e produtos de papel do Rio Grande do Sul. Este crescimento na SBAPF foi relativamente moderado em comparação às florestas plantadas no Bioma Pampa, que cresceram 4,9 vezes no mesmo período (PROJETO MAPBIOMASS, 2020).

A partir de 2013 a classe Soja irrompeu em áreas na porção oeste da sub-bacia, antes destinadas a Outras Lavouras Temporárias e Formação Campestre, e em 2019 ocupou 2,75 km<sup>2</sup> (3,64%) da área da sub-bacia.

Em relação ao cenário tendencial, a classe Outras Lavouras Temporárias seguiu predominante, cobrindo 26,48 km<sup>2</sup> em 2030 e 27,12 km<sup>2</sup> em 2050.

A expansão mais significativa corresponde a conversão de áreas de Formação Campestre para áreas destinadas à classe Soja. Em 2019, a Formação Campestre ocupou 17,54 km<sup>2</sup> da área da sub-bacia (23,16%), e para 2030 e 2050 o cenário tendencial mostrou uma diminuição dessa classe, para 4,15 km<sup>2</sup> e 2,88 km<sup>2</sup>, respectivamente, correspondendo a uma retração de -14,65% de 2019 a 2050. Em contrapartida, a classe Soja, que ocupou 2,75 km<sup>2</sup> em 2019, apresentou no cenário tendencial uma expansão considerável, saltando para



14,46 km<sup>2</sup> (19,10%) em 2030 e 14,51 km<sup>2</sup> (19,17%) em 2050, um aumento de 11,76% da área total da sub-bacia entre 2019 a 2050.

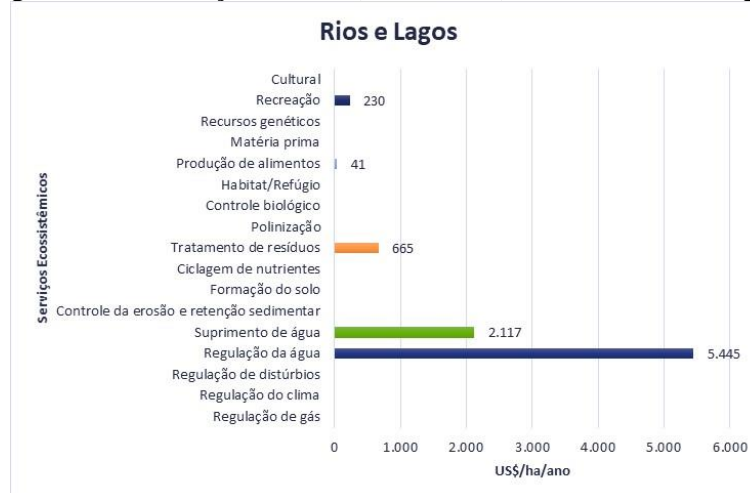
O cenário tendencial também apontou expansão da classe Floresta Plantada, que passaria de 3,91 km<sup>2</sup> em 2019 para 4,45 km<sup>2</sup> em 2030 e 5,48 km<sup>2</sup> em 2050, uma expansão de 1,58% entre 2019 e 2050. Pelo cenário tendencial esse aumento ocorreria sobre áreas de Floresta Natural.

### **Avaliação dos serviços ecossistêmicos na SBHAPF**

Os SE na SBHAPF foram avaliados com base nos valores propostos inicialmente por Costanza et al. (1997), considerando-se os totais em área por hectare para as classes de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomas observados em 1985 e 2019 e projetados para 2030 e 2050 na sub-bacia. Os SE foram correlacionados a essas classes, obtendo-se o valor por tipo de serviço, o total por classe de uso e cobertura do solo e o valor total em dólares (US\$) atualizados conforme a taxa de inflação para aquele país no ano de 2020 (Tabela 1).

Os resultados apresentados na sequência foram apresentados por Hinata, Basso e Santos (2021), e indicaram que a SBHAPF forneceu em torno de US\$ 21.020.441 em SE em 1985. A maior parte dos serviços ecossistêmicos foi fornecida pela classe Rios e lagos (US\$ 10.360.762), sendo o principal a Regulação da água (Figura 4), que em 1985 correspondia a US\$ 6.638.544. A função deste serviço concentra-se na regulação dos fluxos hidrológicos, fundamentais para a provisão de água para a agricultura, os processos industriais e o abastecimento da área urbana na sub-bacia.

Figura 4 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Rios e Lagos.



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).



Tabela 1 - Valor global médio anual dos serviços ecossistêmicos para a SBHAPF (1985, 2019 e 2050).

Classes de uso e cobertura do solo	Serviços Ecossistêmicos (valor em US\$ para o ano 2020*, ha/ano) (adaptado de COSTANZA et al., 1997)																	Área na SBHAPF (ha)			Valor total (total SE x área em ha) (em US\$ de 2020)		
	1 Regulação de gás	2 Regulação do clima	3 Regulação de distúrbios	4 Regulação da água	5 Suprimento de água	6 Controle da erosão e retenção sedimentar	7 Formação do solo	8 Ciclagem de nutrientes	9 Tratamento de resíduos	10 Polinização	11 Controle biológico	12 Habitat/Refúgio	13 Produção de alimentos	14 Matéria prima	15 Recursos genéticos	16 Recreação	17 Cultural	Valor total SE (ha/ano)	1985	2019	2050	1985	2019
Campo Alagado e Área Pantanosa	673		18.3 90	76	19.3 04				4.214		1.11 5	119	124		1.24 7	4.47 3	49.7 36	12	13	12	596.829	646.565	596.829
Floresta Natural		566	13	15	20	622	25	2.34 2	221			81	800	104	284	5	5.10 0	1.525	1.810	1.784	7.777.988	9.231.579	9.098.971
Floresta Plantada		224					25		221	10		127	64		91	5	767	192	391	548	147.279	299.928	420.360
Formação Campestre	18			8		74	3		221	64	58	170			5		620	2.451	1.754	288	1.519.032	1.087.059	178.491
Infraestrutura Urbana																		64	329	384			
Outras Áreas não Vegetadas																		200	72	29			
Outras Lavouras Temporárias										36	61	137					234	2.647	2.570	2.712	618.551	600.558	633.740
Soja										36	61	137					234	x	275	1.451	-	64.262	339.070
Rios e Lagos				13.8 30	5.37 7				1.689			104			584		21.5 85	480	357	361	10.360.76 2	7.705.816	7.792.156
Total																					21.020.44 1	19.635.76 7	19.059.61 6

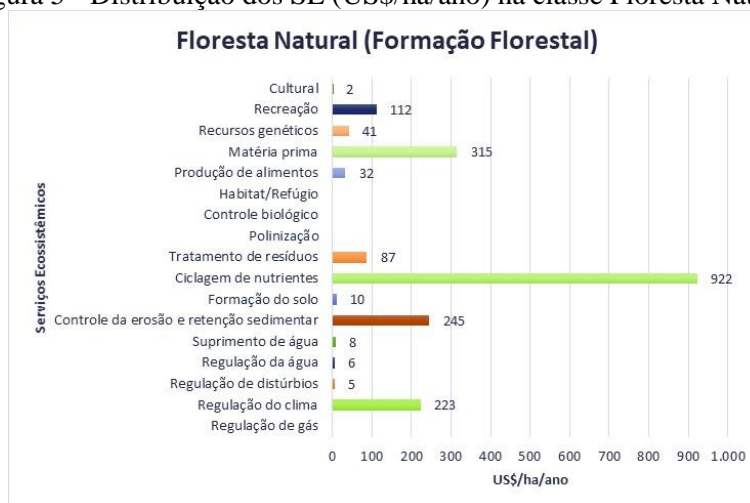
\*A taxa de inflação nos Estados Unidos entre 1984 e 2020 foi de 154,01%, o que se traduz em um aumento total de US \$ 1,54. Isso significa que 1 dólar em 1984 equivale a 2,54 dólares em 2020. Em outras palavras, o poder de compra de \$ 1 em 1984 é igual a \$ 2,54 hoje. A taxa média de inflação anual foi de 2,55%. Fonte <https://www.inflationtool.com/us-dollar/1984-to-present-value?amount=1>. As células sombreadas indicam os serviços que não ocorrem ou são considerados insignificantes. Células em branco indicam falta de informação disponível.

Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).



A classe Floresta Natural forneceu valor correspondente a US\$ 7.777.988 em 1985, US\$ 9.231.579 em 2019 e US\$ 9.098.971 no cenário tendencial de 2050. A variação no valor entre 1985 a 2019 foi de 0,19%, e entre 2019 para 2050 houve queda de -0,01%. Dentro dessa classe, a Ciclagem de nutrientes foi o SE preponderante (Figura 5), como resultado de processos de fixação de nitrogênio, fósforo e outros elementos ou ciclos de nutrientes no solo pela atuação das árvores. Também estão presentes o fornecimento de Matéria-prima (15,69%), o Controle da erosão e retenção sedimentar (12,20%) e a Regulação do clima (11,11%).

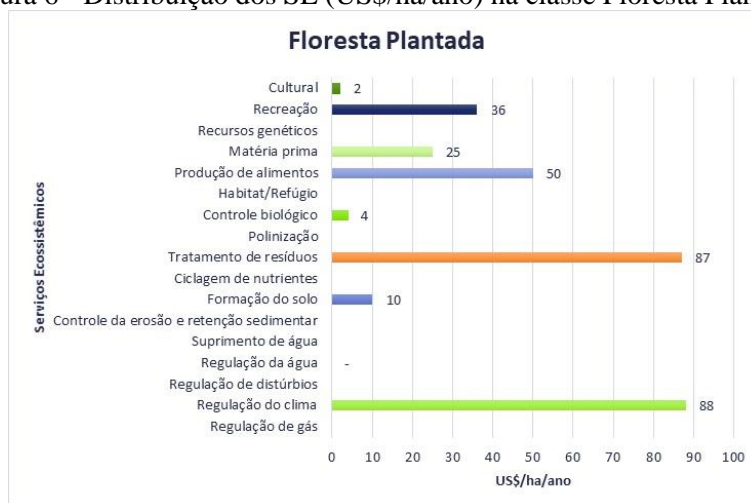
Figura 5 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Floresta Natural.



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).

Já o valor da classe Floresta Plantada cresceu 1,04% no período compreendido entre 1985 a 2019, e entre 2019 a 2050 prevê-se que tenha crescimento de 0,40%, passando de US\$ 299.928 para US\$ 420.360. Comparando-se a Floresta Natural (Formação Florestal) e a Floresta Plantada (Figura 6), observa-se que, a segunda fornece menor quantidade de tipos de SE e, conseqüentemente, menor valor por área em termos gerais. Serviços como Regulação de distúrbios, Regulação e Suprimento de água, Controle da erosão e retenção sedimentar, Ciclagem de nutrientes e Recursos genéticos não são fornecidos pela classe Floresta Plantada em comparação com a Floresta Natural. Em contrapartida, há maior oferta de Controle Biológico e Produção de alimentos. Quanto ao SE Matéria prima, a Floresta Plantada fornece madeira para indústria moveleira, celulose, papel, carvão vegetal e biomassa, e o mercado tem investido em novas tecnologias para aproveitamento total da floresta.

Figura 6 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Floresta Plantada.

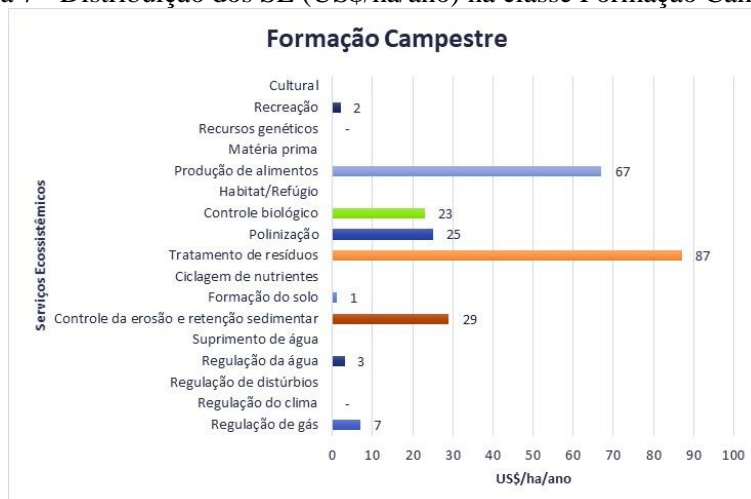


Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).

A classe Formação Campestre apresentou as maiores perdas no período, passando de 2.451 ha em 1985 para 1.754 ha em 2019, com queda ainda maior para o cenário tendencial de 2050, correspondente a 288 ha. A diminuição em área desta classe se reflete consequentemente na redução dos SE oferecidos. A Formação Campestre é composta por vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminoide, fortemente associada à paisagem do Bioma Pampa. Essa diminuição representa uma variação de -0,28% entre 1985 a 2019 no fornecimento de serviços ecossistêmicos, o qual representa -US\$ 431.973, e no cenário tendencial essa retração é ainda maior, com queda de -0,84% entre 2019 a 2050, que equivale a -US\$ 908.568.

A classe Formação Campestre tem a maior parte dos seus serviços concentrados no Tratamento de resíduos (Figura 7), cuja função ecossistêmica principal consiste em recuperar nutrientes móveis e remover ou decompor excesso de nutrientes.

Figura 7 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Formação Campestre.



Fonte: Hinata; Basso; Santos (2021).



Também se destaca a classe Produção de alimentos, que tem como função a produção primária bruta extraída como alimento e corresponde na sub-bacia à produção de cultivos e agricultura de subsistência. A Formação Campestre é a principal classe fornecedora do SE Polinização, provendo polinizadores para produção de populações de plantas. Também estão presentes os serviços de Controle da erosão e retenção sedimentar e Controle biológico.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Atribuir valores aos SE com base nas classes de uso e cobertura do solo apresentou-se como uma forma satisfatória de avaliação, permitindo comparar a evolução dos serviços no tempo e no espaço. Este tipo de avaliação não tem qualquer pretensão de precificar a natureza e torná-la um bem a ser negociado em mercados para este fim. Esta avaliação teve como objetivo primordial auxiliar na elaboração de políticas públicas e conscientização, visto que valorar os serviços evidencia o quanto se perde e o qual o custo para a sociedade e a economia sem a devida valorização dos SE.

Os SE não estão à disposição do ser humano de forma ilimitada, como parece ser o senso comum, visto a incontestável degradação da natureza, que ocorre de forma cada vez mais acelerada e intensa. A quantificação de cada serviço associada ao uso e cobertura do solo traz uma perspectiva no âmbito de preservação dos serviços, e mostra-se mais transparente e menos subjetiva do que em vários exemplos apresentados na avaliação de esquemas de PSA, por exemplo.

Essa forma de avaliação não pretende ser incontestável e a metodologia para aplicação dos valores deve ser melhor quantificada com base em estudos elaborados em âmbito nacional. Além disso, uma avaliação de maior detalhamento demanda uma base cartográfica de uso e cobertura do solo de maior escala. Ainda que os desafios sejam muitos, pensar abordagens que tragam benefícios e promovam preservação e recuperação da natureza com base científica é mais profícuo do que a inação.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsa de doutorado.

### **REFERÊNCIAS**

AMA. Amigos do Meio Ambiente. **Programa de Monitoramento da Qualidade da Água do Arroio Passo Fundo, Guaíba - RS**. Relatório. Guaíba, 2013.





BACHI, L. et al. Cultural Ecosystem Services (CES) in landscapes with a tourist vocation: Mapping and modeling the physical landscape components that bring benefits to people in a mountain tourist destination in southeastern Brazil. **Tourism Management**, [s. l.], v. 77, p. 104017, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.TOURMAN.2019.104017>. Acesso em: 22 mar. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.119**, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Diário Oficial da República Federativa do Brasil: Edição: 9, Seção: 1, Página: 7.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 387, n. May, p. 253–260, 1997.

COSTANZA, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services** [s. l.], v. 28, p. 1–16, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041617304060>. Acesso em: 2 mar. 2020.

COSTANZA, R. Nature: ecosystems without commodifying them. **Nature**, [s. l.], v. 443, n. 7113, p. 749, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/443749b>. Acesso em: 15 mar. 2021.

DAILY, G. C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. **Island Preed**. Washington D.C.: [s. n.], 1997. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/37717461\\_Nature's\\_Services\\_Societal\\_Dependence\\_On\\_Natural\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/37717461_Nature's_Services_Societal_Dependence_On_Natural_Ecosystems). Acesso em: 2 mar. 2020.

DE GROOT, R. S. S. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 260–272, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>. Acesso em: 22 mar. 2020.

DE LIMA, A. D. S. et al. Ecosystem-based information as a support tool to the integrated coastal management of the Santa Catarina Island, Brazil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 44, p. 20–35, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54947>. Acesso em: 15 mar. 2020.

DRH/SEMA. Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. 2015. Disponível em: [http://comitedolagogaiba.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Relat%C3%B3rio\\_Final\\_Sintese\\_Rev01\\_completo-comp.pdf](http://comitedolagogaiba.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Relat%C3%B3rio_Final_Sintese_Rev01_completo-comp.pdf). Acesso em: 01 fev 2019.

GUAÍBA. **Lei Municipal Nº 3.962**, de 04 de maio de 2021. Institui as Políticas de Proteção Ambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Passo Fundo e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/g/guaiba/lei-ordinaria>. Acesso em: 18 mai. 2021.

GUERRA, T. et al. **Diagnóstico Ambiental da bacia hidrográfica do arroio Passo Fundo, município de Guaíba, RS**. Porto Alegre, p. 111, 2002.

HINATA, S. S.; BASSO, L. A.; SANTOS, J. G. dos S. Mapeamento e avaliação dos serviços ecossistêmicos entre 1985 e 2019 na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo (Guaíba/RS). **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 33, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/sn-v33-2021-59170>. Acesso em: 18 set. 2021.

HINATA, S.; BASSO, L. A. Mapeamento do uso e cobertura do solo como subsídio à avaliação de serviços ecossistêmicos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo, Guaíba-RS. **Estudos Geográficos** (UNESP). v. 20, n. 1, 2021. No prelo.

KUBISZEWSKI, I. et al. The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 26, p. 289–301, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.004>. Acesso em: 20 set. 2021.



- MAES, J. et al. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 17, p. 14–23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2015.10.023>. Acesso em: 9 abr. 2019.
- MAES, J. et al. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 31–39, 2012. Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>. Acesso em: 9 jun. 2020.
- MARVIER, M.; GRANT, J.; KAREIVA, P. Nature: poorest may see it as their economic rival. **Nature**, [s. l.], v. 443, n. 7113, p. 749–750, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/443749c>. Acesso em: 2 out. 2021.
- MCCAULEY, D. J. Selling out on nature. **Nature**, [s. l.], v. 443, n. 7107, p. 27–28, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/443027a>. Acesso em: 2 out. 2021.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC: [s. n.], 2005.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente; **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: [s. n.], 2011.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo: São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais., 2013.
- PEREIRA, C.; ALVES SOBRINHO, T. World stage of Payments for Environmental Services (PES) for water conservation. **Ambiência**, [s. l.], v. 13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.02.17rb>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5 (1985-2019)** da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2020. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 01 set 2020.
- PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **América Latina e o Caribe: Uma Superpotência de Biodiversidade**, Nova York/Brasília, 2010, p. 4. Disponível em: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/175-por-res1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- REID, W. V et al. Nature: the many benefits of ecosystem services. **Nature**, [s. l.], v. 443, n. 7113, p. 749, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/443749a>. Acesso em: 2 out. 2021.
- ROSA, J. C. S.; SOUZA, B. A.; SÁNCHEZ, L. E. Identificação de serviços ecossistêmicos em áreas de floresta mediante sensoriamento remoto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 53, p. 276–295, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v53i0.62669>. Acesso em: 5 set. 2021.
- SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO**. Instituto de Geociências - Centro de Sensoriamento Remoto, [s. l.], n. October, p. 114, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Tao\\_Guo28/publication/282782423\\_Dinamica\\_EGO\\_guidebookpdf/links/561c711108aea80367243fdc.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tao_Guo28/publication/282782423_Dinamica_EGO_guidebookpdf/links/561c711108aea80367243fdc.pdf). Acesso em: 20 set 2020.
- TEEB. **Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB Earthscan**. London and Washington: [s. n.], 2010.