

PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS COMO FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO HIDRELÉTRICA

PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES AS A TOOL FOR OPTIMIZING HYDROELECTRIC PRODUCTION

Natália Ferrazza¹ Camila Angélica Baum² Júnior Ruiz Garcia¹¹ Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo

Os níveis crescentes de degradação ambiental, ainda que com o avanço de tecnologias para o desenvolvimento sustentável, demanda o desenvolvimento de instrumentos para auxiliar na gestão ambiental, como o instrumento econômico de Pagamento por Serviços Ambientais (PSAs). Observando o setor elétrico brasileiro, que se destaca pela matriz majoritariamente renovável, tem-se, por outro lado, grande dependência dos bens e serviços ecossistêmicos. Com o objetivo de discutir como a adoção de sistemas de PSAs podem contribuir para melhorar a capacidade de geração hidrelétrica, este trabalho realiza uma revisão bibliográfica sobre os aspectos teóricos do PSAs e da relação entre os aproveitamentos hidrelétricos (AHE) e Serviços Ecossistêmicos, para discutir a relevância de PSAs hídricos sob a perspectiva da eficiência energética. O levantamento das condições prévias, assim como o monitoramento pós-implantação de aproveitamentos hidrelétricos e uma metodologia aplicada à avaliação dos impactos dos PSAs, bem como a divulgação dos dados, potencialmente trariam segurança e fundamentação para novos projetos, uma vez que estes aspectos ainda são gargalos para a implantação de PSAs. Estudos de levantamento dos PSAs existentes correlacionados com AHE que existam na bacia, também podem trazer resultados importantes para alavancarem esses sistemas.

Palavras-chave: PSA; aproveitamentos hidrelétricos; eficiência energética; serviços ecossistêmicos; serviços ambientais.

Abstract

The increasing levels of environmental degradation, although the advancement of technologies for sustainable development, demand the development of instruments to environmental management assistance, as the economic instrument of Payment for Environmental Services. Observing the Brazilian electric sector, which stands out by the mostly renewable matrix, on the other hand, have a considerable dependence on ecosystem goods and services. In order to discuss how the adoption of PES programs can contribute to improve hydropower generation capacity, this work carries out a bibliographic review on the theoretical aspects of PES and the relationship between hydroelectric generation and Ecosystem Services, to discuss the relevance of water PES from the perspective of energy efficiency. The survey of preconditions, as well as post-implementation monitoring of hydroelectric Developments and a methodology applied to the assessment of the impacts of PES, as well as the dissemination of data, would potentially bring security and justification for new projects, since these aspects are still bottlenecks for the implementation of PES. Survey studies of existing PES correlated with hydroelectric that exist in the basin can also bring important results for leveraging these systems.

Keywords: PES; hydropower generation; energy efficiency; ecosystem services; environmental services.

Recebido em: 29/04/2024 | 06/10/2025

Correspondência para: Camila Angélica Baum (eng.camilabaum@gmail.com)

INTRODUÇÃO

As alterações decorrentes do uso e manejo de áreas naturais para fins econômicos têm levado a níveis cada vez mais elevados de degradação ambiental. Isso ocorre mesmo diante dos avanços da ciência e da tecnologia, que vêm desenvolvendo novos formatos produtivos





voltados à redução dos impactos conhecidos. Tal cenário pode ser explicado por diferentes fatores, que vão desde a falta de conhecimento dos atores envolvidos até a falta de incentivos econômicos capazes de estimular a adoção de alternativas com menor passivo ambiental. Um exemplo clássico desse dilema é vivenciado por proprietários rurais ao se depararem com a escolha entre conservar e utilizar de forma sustentável a floresta natural ou suprimi-la para converter a área em pastagem. Nesses casos, os benefícios econômicos associados à conservação tendem a ser percebidos como inferiores quando comparados àqueles provenientes da conversão da terra para outros usos (Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

O avanço contínuo da degradação ambiental, seja pela extração de insumos ou pela absorção de resíduos, impulsionou a criação de instrumentos de apoio à gestão (Garcia; Romeiro, 2019). A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) prevê a utilização de três grandes grupos de instrumentos: comando e controle, comunicação e econômicos (Brasil, 1981). Estes últimos, segundo Kawaichi e Miranda (2008), consistem em mecanismos de mercado que utilizam ferramentas mais flexíveis, baseadas na criação de incentivos para reduzir a poluição e transformar a diminuição dos impactos em uma vantagem competitiva. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um exemplo desse tipo de instrumento, com experiências implementadas no Brasil desde 2006 (Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

Os aproveitamentos hidrelétricos (AHE) são empreendimentos que promovem alterações ambientais em diferentes escalas, pois dependem do potencial hidráulico de corpos d'água, determinado pelo desnível do relevo e pela área de drenagem, para gerar energia elétrica (ANEEL, 2008). A operação dessas usinas requer a formação de reservatórios, sendo que, no Brasil, predominam dois modelos: os de acumulação e os a fio d'água¹. Embora concebidos sob o princípio de menor impacto ambiental, os AHE a fio d'água sofrem diretamente os efeitos das variações de vazão, pois seus reservatórios se limitam a ajustes diários, sem capacidade de regular a longo prazo (Soares, 2017). Diferentemente das usinas de acumulação, sua eficiência depende fortemente das condições ambientais da bacia de captação, já que o comportamento hidrológico influencia diretamente a quantidade de energia gerada.

Embora os sistemas de PSA não sejam novidade no Brasil, sua expansão e uso mais difundido ainda se concentram em atividades agropecuárias. As discussões que consideram a aplicação desse instrumento em outros setores com elevado potencial de impacto ambiental permanecem mais restritas. No entanto, mesmo que a quantificação da relação entre serviços ecossistêmicos e aproveitamentos hidrelétricos seja complexa e, em certa medida, subjetiva, sua relação é concreta e a prestação de serviços ambientais é de interesse. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo discutir de que forma a adoção de sistemas de PSA pode contribuir para a melhoria da capacidade de geração hidrelétrica, considerando a relação entre a qualidade ambiental das bacias hidrográficas e a produção de energia, bem como a relevância de PSAs hídricos sob a perspectiva da eficiência energética.



ASPECTOS TEÓRICOS DO SISTEMA DE PSAS

O crescimento econômico acelerado a partir do século XX, em contraste com o ritmo lento predominante ao longo da história, trouxe melhorias significativas nos indicadores de saúde, educação e bem-estar de bilhões de pessoas. Entretanto, a manutenção desse desenvolvimento mostra-se incerto, visto que se baseia no uso insustentável de recursos naturais e na degradação dos ecossistemas (Martine; Alves, 2015). Mais do que isso, a manutenção deste sistema socioeconômico tende a ser desastroso num futuro próximo. Estudos recentes reforçam esse alerta: das nove fronteiras planetárias definidas pelo Stockholm Resilience Center em 2009, quatro já haviam sido ultrapassadas em 2015: mudanças climáticas, perda da integridade da biosfera, mudança no uso da terra e fluxos biogeoquímicos (fósforo e nitrogênio) (Steffen *et al.*, 2015).

O ser humano e seus sistemas sociais e econômicos são totalmente dependentes dos ecossistemas. Garantir sua manutenção é, portanto, condição essencial para a preservação do bem-estar coletivo (MEA, 2005). Neste sentido, os benefícios que a sociedade obtém desses sistemas são denominados Serviços Ecossistêmicos (SE), organizados em quatro grupos: provisão (água e alimentos), regulação (clima e doenças), culturais (recreação e paisagem) e suporte (ciclagem de nutrientes e purificação do ar) (MEA, 2005). Já as ações humanas voltadas à conservação e ao manejo sustentável desses serviços são chamadas de Serviços Ambientais (SA) (Parron; Garcia, 2015).

A produção e o consumo de bens econômicos dependem intensamente dos serviços ecossistêmicos. Esse processo, ao explorar recursos e gerar resíduos, impõe custos de degradação a toda a sociedade, inclusive aos próprios produtores. Por outro lado, sendo os serviços ecossistêmicos bens públicos e, portanto, sem direitos de propriedades bem definidos, a decisão de manutenção dos serviços ecossistêmicos se apresenta como um custo privado aos produtores, enquanto o benefício é público (Parron; Garcia, 2015; Engel; Pagiola; Wunder, 2008).

Esse cenário de crescente degradação levou à criação de instrumentos de gestão ambiental, entre os quais se insere o Pagamento por Serviços Ambientais (PSAs) (Garcia; Romeiro, 2019). Esse mecanismo surge como uma nova abordagem para a conservação ambiental, ao reconhecer o valor dos serviços ecossistêmicos e criar incentivos econômicos para sua conservação.

O PSA é definido como uma compensação financeira, realizada de forma voluntária, a quem mantém serviços ecossistêmicos em sua propriedade por meio de práticas conservacionistas, por aqueles que se beneficiam dos serviços ecossistêmicos (Engel; Pagiola; Wunder, 2008; Wunder, 2005). Os sistemas de PSAs se destacam em relação aos outros mecanismos de conservação ambiental, pois reconhecem que a manutenção dos serviços ambientais é onerosa para aqueles que deixam de lucrar com a produção que aquela área poderia oferecer (Wunder, 2005) e reconhecem a ação humana como modificadora dos serviços ecossistêmicos (Parron; Garcia, 2015).

Sendo uma modalidade de instrumento econômico para a gestão ambiental, um PSAs pode ser classificados, conforme apresentado a seguir, se satisfeitos cinco critérios básicos, propostos por Wunder (2005), que são:



- Participação voluntária dos atores envolvidos;
- Um serviço ambiental bem definido;
- Existência de pelo menos um comprador (beneficiário-pagador);
- Existência de pelo menos um provedor do serviço ambiental (provedor-recebedor);
- Garantia de provisão dos serviços ambientais (condicionalidade).

A lógica do instrumento é simples: a conservação só se torna atrativa ao provedor se a compensação recebida superar os ganhos de usos não conservacionistas. Para o beneficiário, os custos do pagamento devem ser menores que os impactos de perder o serviço ambiental (Engel; Pagiola; Wunder, 2008; Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013; Pagiola; Platais, 2002).

O PSA representa, portanto, uma estratégia interessante do ponto de vista da conservação, uma vez que possibilita novos incentivos à conservação, podendo tornar-se sustentável na medida que forem satisfeitas todas suas características, principalmente da participação voluntária e interesse mútuo dos participantes (Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013). Tais benefícios apenas serão observados, no entanto, se o critério da condicionalidade for observado em sua totalidade, não apenas com o monitoramento do cumprimento das condições contratuais, mas o reconhecimento da situação ambiental prévia ao PSAs e a obtenção de dados ao longo da prestação do serviço, de forma a mensurar os benefícios ambientais obtidos e a efetividade do PSAs implantado (Lima *et al.*, 2013; Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

Embora o primeiro sistema de PSAs implantado no Brasil tenha iniciado no ano de 2006, em Extrema, Minas Gerais (Pagiola; Von Gleshn; Taffarello, 2013), a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) somente foi instituída recentemente, pela Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021, que conferiu maior clareza conceitual ao tema. Em seu Art. 2º, os serviços ecossistêmicos são definidos como “benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais”, os quais são agrupados em serviços de suporte, provisão, regulação e culturais (Brasil, 2021). A PNPSA também define os serviços ambientais como atividades humanas que favorecem tais benefícios (Brasil, 2021).

O Quadro 1 organiza de forma cronológica os marcos institucionais e operacionais dos PSAs no Brasil.

Essa Política apresenta o sistema de PSAs de forma consonante com o conceito já descrito na literatura, ao tratar o PSA como instrumento de mercado destinado a financiar a conservação, em que os usuários-pagadores transferem recursos aos provedores-recebedores (Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

Espera-se que sua implantação fortaleça a estruturação desses sistemas no país. Apesar do crescimento expressivo, sobretudo em âmbito municipal desde 2006, persistem desafios como a falta de metodologias padronizadas, a escassez de dados de base, as dificuldades de monitoramento e os entraves financeiros, que ainda limitam a expansão e consolidação dos projetos (Lima *et al.*, 2013; Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

**Quadro 1** – Evolução histórica dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil

Período	Marco/Experiência	Características principais
2006	Projeto Extrema (MG)	Primeira experiência de PSA hídrico no Brasil, com foco na proteção de mananciais.
2008–2015	Expansão de experiências locais	Projetos municipais e estaduais em diferentes biomas; maior diversidade de arranjos.
2015	Consolidação de debates nacionais	Crescimento de iniciativas acadêmicas e políticas estaduais; fortalecimento de redes de pesquisa.
2021	Lei nº 14.119/2021 – PNPSA	Criação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
Atualidade	Implementação e ampliação	Projetos em diferentes escalas (municipal, estadual e nacional) em consolidação.

Fonte: Adaptado de Pagiola, Von Glehn e Taffarello (2013); Lima et al. (2013); Brasil (2021).

RELAÇÃO ENTRE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Os aproveitamentos hidrelétricos (AHE) utilizam a capacidade de um corpo d'água para gerar energia elétrica (ANEEL, 2008). No Brasil, predominam dois tipos de reservatórios: os de acumulação, que armazenam água no período chuvoso e regulam a vazão ao longo do tempo, e os de fio d'água, que operam apenas com o fluxo natural ou semanal do rio (ANEEL, 2008; Gomes, 2012).

Embora projetados sob o princípio do menor impacto socioambiental, os reservatórios a fio d'água apresentam limitações significativas. A perda de potência hidráulica e a capacidade reduzida de regulação das vazões, abrindo espaço para a contratação de complementação de termelétricas (Gomes, 2012; Soares, 2017), fonte de energia mais cara e poluente.

Cabe ressaltar que cada aproveitamento tem uma melhor solução a ser aplicada, a partir de uma série de levantamentos e estudos realizados até a efetiva aprovação dos órgãos competentes e implantação (Carvalho, 2015) e que tais estudos consideram aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

No cenário internacional, o Brasil se destaca pelo protagonismo das fontes renováveis, devido à sua posição privilegiada em recursos hídricos (Gomes, 2012). Em 2022, a participação das fontes renováveis na matriz elétrica mundial foi de 28,1%, enquanto no Brasil alcançou 84,8% (EPE, 2023). A Tabela 1 apresenta a distribuição de empreendimentos hidrelétricos registrados no Sistema de Informação de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Ao passo que uma matriz elétrica baseada em fontes renováveis projeta um horizonte de sustentabilidade, também implica que a garantia da produção desta energia dependa



diretamente da provisão de bens e serviços ecossistêmicos (Carvalho, 2015; Gomes, 2012; Soares, 2017). Somado a isso, tem-se a assimetria dos aspectos considerados na condução da expansão do setor elétrico brasileiro, cujos aspectos socioambientais têm se mostrado superiores, mesmos aos riscos de insuficiência de oferta de energia e não atendimento a modicidade tarifária (Carvalho, 2015; Gomes, 2012; Soares, 2017).

Tabela 1 – Número de aproveitamentos hidrelétricos brasileiros e potência instalada

Aproveitamento Hidrelétrico	À construir		Em construção		Em operação	
	Quant.	Pot (MW)	Quant.	Pot (MW)	Quant.	Pot (MW)
CGH	1	2,00	4	7,70	730	833,17
PCH	91	1.251,72	24	355,09	425	5.538,62
UHE	3	262,00	1	141,90	219	102.990,43
Total	95	1.515,72	29	504,69	1.374	109.362,23

Fonte: Adaptado de ANEEL (2021).

Esse contexto pode ser observado nas outorgas conferidas nas duas últimas décadas e nos projetos de expansão de oferta de energia, onde a grande maioria considera a implantação de reservatórios tipo fio d'água (Gomes, 2012; Soares, 2017), contribuindo para a dependência do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) às variáveis climáticas. Paralelamente às decisões do SEB para a expansão de geração da energia elétrica, observa-se a necessidade da otimização dos aproveitamentos hidrelétricos existentes, que já se encontram expostos as variações climáticas atuais. Sabendo que os AHE utilizam as vazões da bacia de captação e os desníveis geográficos, é razoável considerar que a melhoria do regime hídrico e a qualidade da água na bacia podem contribuir de forma considerável na otimização da geração hidrelétrica.

Além de contribuir para a adoção de práticas sustentáveis, o reconhecimento da relação de serviços ecossistêmicos de interesse a um AHE, permite uma gestão ambiental voltada para a manutenção dos processos ecológicos que garantam estes serviços (Silveira, 2016). O Quadro 2 apresenta os benefícios observáveis em AHE relativos a diversos serviços ecossistêmicos, elencados a partir da literatura, sendo esta uma análise geral para o padrão de AHE encontrados no Brasil.

Tem-se, portanto, que o funcionamento de um AHE está intrinsecamente ligado à saúde dos ecossistemas das bacias de captação. Serviços como ciclagem de nutrientes, regulação do fluxo hídrico e controle da erosão são decisivos para sua eficiência. O carreamento de sedimentos acelera o assoreamento dos reservatórios e o desgaste das turbinas, reduzindo a vida útil dos empreendimentos e aumentando custos de manutenção (Periotto; Tundisi, 2013; Silveira, 2016). Além disso, a entrada de matéria orgânica e substâncias químicas contribui para a eutrofização, elevando gastos com o controle de macrófitas aquáticas e com o tratamento da água (Frascareli et al., 2015).

Deste modo, a promoção ou a manutenção dos serviços ecossistêmicos são de interesse tanto do empreendimento como do setor elétrico, já que contribuem em diversas áreas, seja na vida útil do arranjo e dos equipamentos, como também melhoram a condição de



geração e têm capacidade de diminuir os passivos ambientais decorrentes da implantação e operação destes empreendimentos.

Quadro 2 – Relação dos Serviços Ecossistêmicos e Aproveitamentos Hidrelétricos

Tipo	Serviço Ecossistêmico	Função Ecossistêmica	Benefícios no AHE
Suporte	Biodiversidade	Manutenção dos serviços ecossistêmicos	Garantia da provisão de serviços ecossistêmicos
	Ciclagem de nutrientes	Deposição de serrapilheira	Manutenção/retenção da umidade do solo
Regulação	Sequestro carbono	Controle climático	Chuvas bem distribuídas
	Fluxo hídrico	Redução do pico de vazões	Melhor aproveitamento das vazões para geração
	Purificação da Água	Manutenção da qualidade da água	Evita gastos e paradas com limpeza do reservatório
	Controle de erosão	Redução do carregamento de finos	Redução do assoreamento; Estabilidade de encostas e taludes; Redução do desgaste das turbinas.
	Controle biológico	Controle de insetos vetores	Menor impacto da criação de ambientes propícios no reservatório
Provisão	Água potável	Qualidade da água	Evita gastos e paradas com limpeza do reservatório (eutrofização)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Engel, Pagiola e Wunder (2008); Frascareli *et al.* (2015); Parron e Garcia (2015); Periotto e Tundisi (2013); Silveira (2016); Wunder (2005) e Pagiola e Platais (2002)

A IMPORTÂNCIA DO PSAS PARA A MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os serviços ambientais, por promoverem ou protegerem os serviços ecossistêmicos, assumem papel central não apenas para o setor elétrico, mas para toda a sociedade. A identificação clara dos atores envolvidos nessa dinâmica é essencial para estruturar sistemas de PSA. A partir do Quadro 2, destacam-se os prestadores de serviços ambientais que contribuem para funções de interesse dos AHE, como a purificação da água e o controle da erosão. O Quadro 3, por sua vez, apresenta possíveis provedores de serviços ambientais em cenários nos quais os AHE atuam como beneficiários-pagadores e os proprietários da bacia de captação como provedores-receptores.

O Quadro 3 evidencia a relação entre os Serviços Ecossistêmicos e os Serviços Ambientais relacionados aos AHE, sendo assim a prestação de Serviços Ambientais de



interesse. Neste sentido, observa-se a aplicabilidade de sistemas de PSAs Hídricos tendo os Aproveitamentos Hidrelétricos (AHE) como beneficiários e como recebedores os prestadores de Serviços Ambientais da bacia de captação. Além do benefício direto ao empreendedor do AHE, observa-se que o aumento na oferta de energia traria benefícios indiretos para toda a sociedade, como maior geração de energia renovável e limpa a um menor custo (Carvalho, 2015; Gomes, 2012; Soares, 2017), se comparado com termelétricas, ativadas na falta de energia de fonte hidráulica disponível no sistema.

Os benefícios não se limitam à esfera econômica. A redução de custos de manutenção, a maior vida útil dos equipamentos e a ampliação da capacidade de geração contribuem também para reduzir o passivo ambiental, fortalecendo a viabilidade socioambiental dos empreendimentos.

Quadro 3 – Serviços Ambientais relacionados aos Serviços Ecossistêmicos

Tipo	Serviço Ecossistêmico	Serviço Ambiental
Suporte	Biodiversidade	Vegetação nativa preservada; Corredores ecológicos; Proibição à caça e pesca predatória;
	Ciclagem de nutrientes	Vegetação nativa preservada; Áreas verdes e vegetadas;
Regulação	Sequestro carbono	Vegetação nativa preservada; Reflorestamentos;
	Fluxo hídrico	Vegetação Nativa Preservada; Reflorestamento; Manejo conservacionista do solo; Manutenção de áreas permeáveis; Integração de sistemas produtivos;
	Purificação da Água	Vegetação nativa preservada; Tratamento de efluentes; Agricultura orgânica ou com defensivos naturais;
	Controle de erosão	Proprietários de terra com áreas de vegetação cercadas e preservadas; Empreendimentos agrícolas com manejo conservacionista;
	Controle biológico	Proprietários de terra com áreas de vegetação cercadas e preservadas; Agricultura orgânica ou com defensivos naturais;
Provisão	Água potável	Proteção de nascentes; Vegetação nativa preservada; Tratamento de efluentes;

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outro benefício, diferentemente do que se tem nos sistemas de PSAs implantados atualmente no Brasil, onde há falta monitoramento e divulgação dos resultados (Lima *et al.*, 2013), sua aplicação em AHE não exigiria custos adicionais de monitoramento, já que os dados necessários são coletados regularmente como parte das exigências da Licença de Operação da usina.

Os PSAs como uma solução econômica aos AHE, haja visto o número de empreendimentos existentes, conforme indicado na Tabela 1 e o crescimento previsto para o



setor. Contudo, para que a solução se popularize são necessárias melhorias nos processos de aplicação dos PSAs no Brasil, como a padronização de metodologia para a análise da situação da região previamente à implantação do PSAs, o que limita a verificação da eficiência dos programas existentes (Lima *et al.*, 2013). Outro grande desafio é a implementação de monitoramentos dos serviços ecossistêmicos e divulgação destes dados (Lima *et al.*, 2013; Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013), visto que o monitoramento que se tem, assim como nos PSAs na América Latina, se limita apenas ao cumprimento dos contratos de PSAs (Lima *et al.*, 2013).

Um fator positivo é que as experiências brasileiras vêm adotando metodologias de valoração adaptadas às realidades regionais, o que aproxima os valores do mercado local e favorece a efetividade dos programas (Pagiola, Von Glehn, Taffarello, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações nos sistemas naturais decorrentes de práticas não conservacionistas têm intensificado a degradação ambiental e, conseqüentemente, comprometido o bem-estar social, a disponibilidade hídrica e a qualidade dos serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSAs) se apresenta como um instrumento econômico capaz de alinhar incentivos de mercado à conservação ambiental, ampliando a eficiência da gestão de recursos hídricos e fortalecendo a resiliência do setor elétrico.

Este artigo buscou evidenciar que a integração entre os aproveitamentos hidrelétricos (AHE) e os PSAs representa não apenas uma estratégia de conservação, mas também uma alternativa de otimização da geração de energia renovável. A contribuição principal reside em destacar a viabilidade dos PSAs como ferramenta de apoio à operação hidrelétrica, aproximando a discussão teórica da prática de gestão energética e ambiental. Assim, a análise aqui proposta amplia o campo de aplicação dos PSAs no Brasil, tradicionalmente vinculados ao setor agropecuário, para um segmento estratégico da infraestrutura nacional.

Ainda que promissor, esse arranjo enfrenta limitações concretas, como a carência de dados sistematizados sobre experiências existentes, a falta de metodologias de monitoramento de impactos e a dificuldade em atribuir valores consistentes aos serviços ecossistêmicos prestados. Esses fatores limitam a consolidação de um mercado robusto de PSAs voltado ao setor elétrico. Superar tais desafios demanda esforços de padronização metodológica, maior transparência na divulgação de resultados e articulação entre empreendedores, comunidades locais e órgãos reguladores.

Como desdobramentos futuros, vislumbram-se oportunidades para pesquisas que desenvolvam modelos quantitativos de avaliação do impacto dos PSAs sobre a eficiência energética, testem metodologias comparativas em diferentes tipologias de bacias hidrográficas e de aproveitamentos hidrelétricos, explorem sua integração com outros instrumentos de política ambiental e energética e investiguem a percepção dos atores envolvidos, de modo a fortalecer a legitimidade social e política desses arranjos. Essas perspectivas reforçam o caráter propositivo deste estudo e indicam caminhos para o amadurecimento da agenda de PSAs no setor hidrelétrico brasileiro.



Enfatiza-se, portanto, que os PSAs, quando adequadamente estruturados e monitorados, podem desempenhar papel estratégico na consolidação de uma matriz elétrica mais limpa, resiliente e eficiente, contribuindo para o avanço das discussões acadêmicas e oferecendo subsídios práticos para políticas públicas de energia e meio ambiente.

NOTAS

- Reservatórios de acumulação armazenam água nos períodos de maior precipitação, permitindo a regulação da vazão do rio e os Reservatórios a fio d'água operam de acordo com o fluxo natural, com reservatórios de pequena variação volumétrica (ANEEL, 2008).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: 2008. 236 p.

BRASIL. Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 9, 14 jan. 2021. Seção 1, p. 7. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm>. Acesso em: 24 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.938 de agosto de 1981. Diário Oficial da União, Brasília DF, 02 set. 1981. Seção 1, p. 16509. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 24 fev. 2024.

CARVALHO, A. R. L. de. Reservatórios de regularização de usinas hidrelétricas: contribuição para uma matriz energética mais limpa. 2015. 189 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COOPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional 2022. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 10 fev. 2024.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S.. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*, v. 65, n. 4, 2008, p. 663–674.

FRASCARELI, D.; BEGHELLI, F. G. de S.; SILVA, S.; MOSCHINI, V. C.. Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itaparanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. *Revista Ambiente e Água*, v. 10, n. 4, 2015, p. 770–781.

GARCIA, J.; ROMEIRO, A. R. Pagamento por serviços ambientais em Extrema, Minas Gerais: avanços e limitações. *REVIBEC – Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, v. 29, n. 1, 2019, p. 11-32.

GOMES, R. de O.. Estudo do impacto da incorporação de usinas hidrelétricas a fio d'água no Sistema Interligado Nacional. 2012. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

KAWAICHI, V. M.; MIRANDA, S. H. G.. Políticas públicas ambientais: a experiência dos países no uso de instrumentos econômicos como incentivo à melhoria ambiental. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46º, 2008. Rio Branco. Anais... Rio Branco: SOBER, 2008.

LIMA, A. P. M. de.; ALBUQUERQUE, R. H.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; FIDALGO, E. C. C.; SCHULER, A.. Pagamentos por Serviços Ambientais Hídricos no Brasil: experiências iniciais e os desafios do monitoramento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XX, 2013, Bento Gonçalves. Anais...Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D.. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 32, n. 3, 2015, p. 433–460.



MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em 25 set. 2023.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, C.; TAFFARELLO, D. (Orgs.). Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil. São Paulo: SMA/CBRN, v. 86494, p. 1-338, 2013.

PAGIOLA, S.; PLATAIS, G.. Payments for Environmental Services. *Environment Strategy Notes*, v. 3, n. 4, 2002, p. 1–23.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. 1ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 29-35.

PERIOTTO, N., A.; TUNDISI, J. G.. Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. *Brazilian Journal of Biology*, v. 73, n. 3, 2013, p. 471–482.

SILVEIRA, C. R. S.. Serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica de um reservatório hidrelétrico em cenário de escassez de água. 2016. 39 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais.

SOARES, I. M.. Usina hidrelétrica a fio d'água ou reservatório? Subsídios à tomada de decisão por meio de análise custo-efetividade. 2017. 101 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Departamento de Economia, Universidade de Brasília.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S.; FETZER, I.; BENNETT, E.; BIGGS, R.; CARPENTER, S.; VRIES, W.; WIT, C. A. de; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SÖRLIN, S.. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, v. 347, n. 6223, 2015.

WUNDER, S.. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), n. 9 2005. Disponível em: <<https://www.cifor.org/knowledge/publication/1765/>>. Acesso em: 24 mar. 2024.