



Empresa de Pesquisa Energética

NOTA TÉCNICA

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E O SETOR ELÉTRICO: OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA POLÍTICA NACIONAL DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

DEZEMBRO DE 2021

■ Colaboradores

NOTA TÉCNICA EPE/DEA/SMA/022/2021

Coordenação Geral

Elisângela Medeiros de Almeida

Giovani Vitória Machado

Coordenação Executiva

Federica Natasha Ganança Abreu dos Santos Sodré

Equipe Técnica

Carina Rennó Siniscalchi

Clayton Borges da Silva

Leyla Adriana Ferreira da Silva

Maria Fernanda Bacile Pinheiro

Mariana Rodrigues de Carvalhaes Pinheiro

Pedro Ninô de Carvalho

Vinicius Mesquita Rosenthal

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ministro de Estado

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária-Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Paulo Cesar Magalhães Domingues



Presidente

Thiago Vasconcelos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretora de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

<http://www.epe.gov.br>

■ Sumário

Introdução	5
Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais	5
Modalidades de Pagamentos por Serviços Ambientais	7
A Dependência do Setor Elétrico pelos Serviços Ecosistêmicos	9
Hidrelétricas	11
<i>Provisão de água e manutenção do regime hídrico</i>	<i>11</i>
<i>Controle da erosão</i>	<i>12</i>
<i>Regulação da qualidade da água</i>	<i>13</i>
<i>Proteção contra enchentes</i>	<i>13</i>
<i>Regulação do clima</i>	<i>14</i>
<i>Experiências de UHEs com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos</i>	<i>14</i>
Linhas de transmissão	15
<i>Regulação do clima</i>	<i>15</i>
<i>Proteção contra tempestades e enchentes</i>	<i>16</i>
<i>Experiências de LTs com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos</i>	<i>16</i>
Eólicas	16
<i>Regulação do clima</i>	<i>16</i>
<i>Experiências de eólicas com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos</i>	<i>17</i>
Solar fotovoltaica	17
<i>Provisão de água</i>	<i>18</i>
<i>Regulação do clima</i>	<i>18</i>
<i>Proteção contra tempestades e enchentes</i>	<i>19</i>
<i>Estabilização do solo e controle da erosão</i>	<i>19</i>
Termelétrica a biomassa	20
<i>Provisão de água</i>	<i>20</i>
<i>Regulação do clima</i>	<i>21</i>
<i>Outros serviços ecossistêmicos</i>	<i>21</i>
Termelétricas de fontes não renováveis	21
<i>Provisão de água</i>	<i>21</i>
<i>Regulação do clima</i>	<i>21</i>
<i>Proteção contra tempestades e enchentes</i>	<i>22</i>
MERCADO VOLUNTÁRIO DE PSA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O SETOR ELÉTRICO	22
Indicação de áreas relevantes para o setor elétrico visando o fomento de mercados voluntários para PSA	22
Oportunidades para o setor de energia elétrica	30
Referências Bibliográficas	31
Apêndice I	35

■ Siglário

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APCB	Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade
APP	Área de Preservação Permanente
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBD	Convenção sobre Diversidade Biológica
CNPSA	Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
CO ₂	Dióxido de carbono
CRA	Cota de Reserva Ambiental
ENCORE	Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de efeito estufa
ha	Hectare
IFC	Corporação Financeira Internacional
LT	Linha de Transmissão
MEA	Avaliação Ecosistêmica do Milênio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NbS	Soluções baseadas na Natureza
NDC	Declaração do Capital Natural
NCFA	Natural Capital Finance Alliance
ONG	Organização não governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
Oscip	Organização da sociedade civil de interesse público
PACUERA	Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PFPSA	Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PNPSA	Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação
SE	Serviço Ecosistêmico
SIN	Sistema Interligado Nacional
TEEB	Economia dos Ecossistemas e Biodiversidade
TI	Terra Indígena

UC	Unidade de Conservação
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UNEP-WCMC	Centro de Monitoramento da Conservação Mundial do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UTE	Usina Termelétrica

Introdução

Em 13 de janeiro de 2021, entrou em vigor a Lei n. 14.119/2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), com o objetivo de estimular a elaboração e a execução de projetos privados voluntários de provimento e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Para tanto, o alinhamento entre políticas setoriais, incluindo aquelas relacionadas ao setor de energia, e a complementariedade e coordenação com iniciativas de PSA existentes é uma de suas diretrizes.

A presente Nota Técnica avaliou as oportunidades e desafios trazidos pela PNPSA para contribuir com a recuperação e conservação da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos prioritários, de modo a reduzir os riscos e aumentar a sustentabilidade da geração de energia elétrica. Como resultado, foram identificadas e mapeadas áreas relevantes, segundo a perspectiva do setor elétrico, para induzir a formação de mercados voluntários de PSA.

Serviços ecossistêmicos (SEs) serão tratados nessa NT como os benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas. São classificados pela MEA (2005) em quatro categorias: i) serviços de provisão (alimentos, água, madeira, fibras etc.); ii) serviços de regulação (atuam na regulação do clima, controle de inundações, doenças, resíduos e qualidade da água etc.); iii) serviços culturais (fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais etc.); e iv) serviços de suporte (formação do solo, fotossíntese, ciclo de nutrientes etc.).

Segundo TEEB (2012), todas as atividades econômicas dependem dos SEs para o seu desenvolvimento. A geração de energia elétrica apresenta dependência dos SEs de provisão, suporte e regulação. Usinas hidrelétricas (UHEs) e termelétricas (UTES) a biomassa associadas à produção de biocombustível, por exemplo, possuem uma alta relação de dependência com os serviços de provisão e de suporte, enquanto os serviços de regulação são importantes para a manutenção da produção de energia no médio e longo prazo, considerando os cenários de mudanças e incertezas climáticas.

O capítulo 1 faz uma apresentação geral da Lei 14.119/21 e expõe as relações entre um mercado de pagamentos por serviços ambientais e o setor de energia. São apresentadas, também, de forma não exaustiva, as modalidades de PSA contempladas pela Lei.

Avaliar a relação de dependência direta e indireta dos projetos de energia pelos SEs é fundamental para a identificação dos riscos decorrentes da degradação ou perda de serviços essenciais ao desenvolvimento da atividade e para adoção de medidas que promovam a conservação ou a recuperação dos serviços prioritários, minimizando-se, assim, os riscos e os impactos sobre a viabilidade do ativo no médio e longo prazo.

Assim, além da análise de impacto e dependência feita para cada fonte pelos SEs, no capítulo 2 são abordadas experiências positivas de PSA no país. Não por acaso, o setor já usufrui de efeitos positivos das ações de conservação e recuperação da cobertura vegetal na geração de energia elétrica, que vêm contribuindo para a segurança e resiliência das operações no longo prazo.

Por fim, no capítulo 3 foram utilizadas técnicas de georrefenciamento para indicar as áreas relevantes para a recuperação e conservação florestal onde os SEs são prioritários para a geração de eletricidade. A partir do cruzamento das variáveis (i) vulnerabilidade do solo, (ii) balanço hídrico, (iii) Áreas Prioritárias para a Conservação e (iv) empreendimentos de geração elétrica existentes e contratados, foram identificadas áreas potenciais para criação de mercados de PSA em sinergia com o setor elétrico.

Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais

A Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) foi concebida como estratégia de incentivo aos proprietários rurais à preservação ambiental. De forma complementar à legislação pautada pela concepção de comando e controle, a PNPSA representa uma via alternativa ao combate da

degradação ambiental, reconhecendo boas práticas individuais e coletivas de conservação de áreas de vegetação nativa e de recuperação de áreas degradadas e incentivando a sua remuneração.

A Lei n. 14.119/2021 também instituiu o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), e definiu os conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios de implantação desses instrumentos, além de dispor sobre os contratos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Dentre os conceitos destacam-se os seguintes (incisos II, IV, V e VI, art. 2º):



SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, nas seguintes modalidades – serviços de provisão; serviços de suporte; serviços de regulação; e serviços culturais



SERVIÇOS AMBIENTAIS

atividades individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos (SEs)



PAGADOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

poder público, organização da sociedade civil ou agente privado, pessoa física ou jurídica, de âmbito nacional ou internacional, que provê o pagamento dos serviços ambientais



PROVEDOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, ou grupo familiar ou comunitário que, preenchidos os critérios de elegibilidade, mantém, recupera ou melhora as condições ambientais dos ecossistemas

O objetivo “incentivar o setor privado a incorporar a medição das perdas ou ganhos dos serviços ecossistêmicos nas cadeias produtivas vinculadas aos seus negócios”, apresentado no inciso XII, art. 4º aplica-se ao setor de energia, assim como três das diretrizes do art. 5º:

- **integração e a coordenação das políticas** de meio ambiente, de recursos hídricos, de agricultura, de **energia**, de transporte, de pesca, de aquicultura e de desenvolvimento urbano, entre outras, com vistas à manutenção, à recuperação ou à melhoria dos serviços ecossistêmicos (inciso V);
- **complementaridade e coordenação entre programas e projetos de pagamentos por serviços ambientais implantados** pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal, pelos Municípios, pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, pela **iniciativa privada**, por Organização da sociedade civil de interesse público (Oscip) e por outras organizações não governamentais, consideradas as especificidades ambientais e socioeconômicas dos diferentes biomas, regiões e bacias hidrográficas, e observados os princípios estabelecidos na Lei (inciso VI); e
- **reconhecimento do setor privado**, das Oscip e de outras organizações não governamentais como **organizadores, financiadores e gestores de projetos de pagamento por serviços ambientais**, paralelamente ao setor público, e como indutores de **mercados voluntários** (inciso VII).

A PNPSA busca fomentar um mercado voluntário de PSA, onde o beneficiário dos SEs remunera o provedor desses serviços, conforme condições acordadas entre as partes, considerando as modalidades de pagamentos apresentadas a seguir.

Modalidades de Pagamentos por Serviços Ambientais

Segundo a PNPSA, o “pagamento por serviços ambientais” é uma transação de natureza voluntária, mediante a qual um beneficiário de serviços ambientais transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração, nas condições acertadas, respeitando as disposições legais e regulamentares pertinentes.

Por ser um instrumento econômico que tem como objetivo conservar e proteger os ecossistemas e suas funções ecológicas, o tratamento dos aspectos econômicos e financeiros em políticas de PSA torna-se uma questão chave na medida em que suas iniciativas buscam recompensar, remunerar e/ou incentivar provedores de serviços ambientais por suas atividades realizadas em prol da conservação dos ecossistemas (MMA, 2017).

Uma vez que os provedores de serviços ambientais podem ser recompensados, é importante que sejam definidas as modalidades de transação dos recursos entre pagadores e provedores.

A PNPSA prevê seis modalidades de pagamento por serviços ambientais (Figura 1), conforme Art. 3º da Lei n. 14.119/2021.



Figura 1: As seis modalidades de pagamento por serviços ambientais previstas na PNPSA



PAGAMENTO DIRETO – MONETÁRIO OU NÃO

Quando o pagamento é realizado diretamente aos provedores, ele é chamado de pagamento direto.

O pagamento direto pode ser realizado de duas formas: pagamento monetário, representado por dinheiro ou por direitos a serem recebidos e obrigações a serem liquidadas em dinheiro, e pagamento não monetário, realizado por meio de repassasse de ativos e passivos que não serão recebidos ou liquidados em dinheiro.

Entre os exemplos de pagamentos não monetários podemos citar ações de assistência técnica e benfeitorias na propriedade como produção de mudas, construção de cercas, regularização fundiária e restauração de áreas, assim como provisão de créditos e subsídios.

De acordo com MMA (2017), a crescente proposição da modalidade de pagamento não monetário possibilita aos responsáveis por iniciativas públicas de PSA uma maior diversidade de formas de retribuir os serviços prestados pelos provedores.



PRESTAÇÃO DE MELHORIAS SOCIAIS

A modalidade de prestação de melhorias sociais é uma forma de pagamento não monetário.



TÍTULOS VERDES

Os títulos verdes fazem parte de um novo modelo do mercado financeiro, conhecido por finanças sustentáveis. São instrumentos que buscam atrair investidores para o financiamento de projetos social e ambientalmente responsáveis, aliando o capital à preservação ambiental.

Os títulos verdes são instrumentos de dívida emitidos por empresas, governos e entidades multilaterais negociados nos mercados de capitais com a finalidade de atrair capital para projetos que tenham como propósito um impacto socioambiental positivo. São exemplos: adaptação às mudanças climáticas, conservação da biodiversidade terrestre e aquática, edifícios verdes, eficiência energética, energia renovável, gestão sustentável das águas e águas residuais, produtos, tecnologias e processos de produção ecoeficientes e/ou adaptados à economia circular, prevenção e controle de poluição, transporte limpo, etc.

Dessa forma, entende-se que os títulos verdes podem ser emitidos para financiar o reflorestamento de uma área degradada ou a preservação de áreas de florestas nativas, por exemplo, estimando-se um retorno sobre a venda de emissões de CO₂ evitadas, ou de outros serviços comercializados num mercado de PSA. O retorno do investimento advém dos créditos de carbono, porém os benefícios incidem sobre todos os SEs preservados. É importante, entretanto, que o retorno esperado seja superior ao investimento mais os custos de preservação e/ou reflorestamento.



COMPENSAÇÃO VINCULADA A REDD

O REDD+ é um incentivo desenvolvido no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e diz respeito à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento; incluindo o papel da conservação florestal, do manejo sustentável de florestas e do aumento dos estoques de carbono florestal.

Atualmente, o REDD+ está inserido em uma abordagem de não-mercado, funcionando como mecanismo voluntário, em que doações são realizadas em função da redução de emissões já medidas, reportadas e verificadas (MRV).

O Brasil conta com o Fundo Amazônia como instrumento financeiro para compensação pelos resultados de projetos REDD+, administrado pelo BNDES (EPE, 2020).

Segundo MMA (2017), o mercado de ativos ambientais com a comercialização de SEs definidos e lastreados em ativos de projetos e programas certificados tem sido uma das fontes de recursos mais utilizadas nas iniciativas de PSA, sendo o REDD um exemplo desse mercado.



COMODATO

Comodato é o empréstimo de um bem que ocorre de forma gratuita (artigos 579 a 585, do Código Civil brasileiro). Nesse modelo de empréstimo, os bens devem ser infungíveis, ou seja, são bens únicos que não podem ser substituídos por outros da mesma espécie, qualidade ou quantidade. Essa modalidade de empréstimo não envolve pagamento ou recebimento de valor financeiro.

Um exemplo de comodato é o empréstimo do uso de um imóvel rural. O comodante, proprietário do imóvel, cede para o comodatário o imóvel para que este o utilize para fins de recuperação de área degradada ou fins produtivos, evitando que a terra fique ociosa. Ao final dessa relação de comodato, a posse do imóvel volta ao proprietário.

O empreendedor de um projeto de geração elétrica, ao adquirir uma área que passa a ficar sem uso após a construção do projeto, poderá ceder essa área a um comodatário para que o mesmo desenvolva um projeto de recuperação de área degradada, por exemplo. O comodante, neste caso, beneficiário com a recuperação dessa área, pode vir a ser um pagador e o comodatário ser o provedor.



COTA DE RESERVA LEGAL

A Cota de Reserva Ambiental (CRA) foi instituída pela Lei nº 12.651/2012 e corresponde a um título que representa uma área de cobertura de vegetação nativa, existente ou em processo de recuperação em uma propriedade. A CRA pode ser usada para compensar a falta de Reserva Legal² em uma outra propriedade. Cada cota corresponde a 1 hectare (ha) e ela pode ser criada por proprietários rurais que tenham excesso de Reserva Legal para que negociem com produtores com menos área de Reserva Legal que o mínimo exigido por lei.

A lei prevê ainda que outras modalidades de PSA poderão ser estabelecidas por atos normativos do órgão gestor da PNPSA. Exemplos de outras modalidades são doações sem ônus para o tesouro nacional e receitas obtidas pelo uso de recursos hídricos. Além disso, as modalidades de pagamento deverão ser previamente pactuadas entre pagadores e provedores de serviços ambientais.

Considerando as experiências de PSA verificadas no Brasil, identificou-se que as modalidades de pagamento que possuem alto potencial de serem utilizadas são o pagamento direto, monetário ou não monetário, a prestação de melhorias sociais a comunidades rurais e urbanas e o certificado de redução de emissões por desmatamento e degradação. Destaca-se que modalidades com custos de transação mais elevados podem ser menos atrativas.

A Dependência do Setor Elétrico pelos Serviços Ecossistêmicos

Conforme mencionado anteriormente, todas as atividades econômicas dependem direta ou indiretamente dos serviços ecossistêmicos (TEEB,2012). Assim, a perda da biodiversidade pode se constituir em um risco direto para o negócio, tendo em vista a dependência dos SEs como insumos para a produção. Os riscos também podem ser indiretos, por meio da cadeia de suprimentos ou de decisões de mercado sobre investimento, produção, distribuição e marketing (idem).

Visando subsidiar respostas efetivas aos riscos do negócio relacionados à dependência pelos SEs, torna-se necessária uma avaliação confiável de como a relação de dependência poderá ser afetada, negativa ou positivamente, ao longo de toda a cadeia de valor, considerando os aspectos de competitividade e performance da atividade econômica.

Apesar das empresas perceberem cada vez mais essas relações de dependência do negócio com os SEs, em geral as relações não são mapeadas ou mensuradas e, inclusive, são pouco discutidas nas produções científicas, conforme observado por Watson & Newton (2018) e NFCA & UNEP-WCMC (2018). Assim, nota-se a necessidade de que mais esforços sejam empregados para a obtenção de informações sobre os SEs essenciais à atividade econômica, sejam eles tangíveis ou intangíveis, e o mapeamento das relações de dependência. Uma mudança de paradigma fundamental para a melhoria dos sistemas de gestão ambiental é a definição de prioridades estratégicas.

Tendo em vista a importância da biodiversidade para o fornecimento de SEs essenciais ao desenvolvimento de atividades econômicas, o Centro Mundial de Monitoramento da Conservação, associado ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP-WCMC), lançou, em 2017, o documento “Mainstreaming of biodiversity into the energy and mining sectors”, em atendimento à demanda apresentada na 13ª reunião da Conferência das partes signatárias da Convenção sobre Diversidade Biológica. As relações de dependência do setor energético foram mapeadas a partir das fontes solar, hidrelétrica, biocombustível e óleo e gás e, como resultado do estudo, verificou-se uma dependência das fontes em relação aos serviços de provisão de água, regulação climática e controle da erosão e fertilidade do solo. Além dos SEs já citados, de acordo com o documento, o setor de biocombustíveis apresenta um grau de dependência dos SEs de polinização e controle biológico de pragas e controle de doenças.

Com o objetivo de permitir a compreensão e a incorporação da dependência da carteira de projetos pelos SEs, nas análises de exposição aos riscos associados ao capital natural realizadas pelas instituições financeiras, a Natural Capital Finance Alliance (NCFA), em parceria com a UNEP-WCMC, desenvolveu a ferramenta “Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure” - ENCORE. Essa ferramenta, disponível em <https://encore.naturalcapital.finance/en/explore>, permite que os ativos de diferentes atividades econômicas sejam avaliados em função das relações e do grau de impacto ou de dependência dos SEs.

Nas relações de dependência são considerados os serviços necessários ao longo de todo processo de produção, incluindo o fornecimento de insumos, os meios para a realização do processo, a proteção à sua interrupção e a mitigação dos impactos causados. O grau de dependência é medido tanto em termos

de perda produtiva quanto perda financeira. No Quadro 1 são apresentadas as relações e os graus de dependência dos ativos do setor de energia, conforme dados disponibilizados pela ferramenta.

Segundo MEA (2005), ignorar a necessidade de realização de investimentos no curto prazo para reduzir riscos ou custos no longo prazo e, ainda, considerar uma aplicação rigorosa de avaliações de fluxo de caixa, pode comprometer a viabilidade do negócio no futuro.

A importância da biodiversidade e, consequentemente, dos SEs associados, como provisão de insumos e regulação do clima, para a manutenção da competitividade dos negócios, vem se tornando cada vez mais relevante e tangível. Não por acaso os fundos de investimento e demais instituições financeiras consideram, em suas avaliações de risco, os aspectos ambientais (BBOP, 2010), incluindo as relações de dependência do negócio com os SEs (UNEP FI & Global Canopy, 2020), como, por exemplo, os investimentos tecnológicos e as alternativas propostas para redução do consumo hídrico ou o impacto que um cenário de escassez hídrica, provocado por mudanças climáticas globais, pode ter sobre o negócio (NFCA & UNEP-WCMC, 2018).

Quadro 1 – Relação e grau de dependência do setor elétrico pelos serviços ecossistêmicos

Serviço	Relação de dependência	Biomassa	Hidrelétrica	Termelétrica e nuclear	LT	Solar	Eólica
Água subterrânea	Fornece insumos para a produção	M	M	M	--	MB	--
Água superficial		M	MA	MA	--	MB	--
Lenha e fibras		MA	--	--	--	--	--
Manutenção do fluxo hídrico	Possibilita o processo de produção	M	MA	M	--	--	--
Qualidade da água		B	B	B	--	--	--
Regulação do clima	Evita a interrupção do processo de produção	MB	MA	MB	M	MA	MA
Proteção contra tempestades e enchentes		M	A	M	MA	M	M
Estabilização do solo e controle da erosão		B	A	B	A	M	M
Biorremediação	Mitiga impactos do processo de produção	MB	MB	MB	--	--	--
Filtragem		MB	MB	B	--	--	--

Legenda: MA: Muito Alto; A: Alto; M: Médio; B: Baixo; MB: Muito Baixo.

Fonte: <https://encore.naturalcapital.finance/en/explore> (acesso em 11/03/2021)

A elevada materialidade da dependência do setor de energia pelos SEs fez com que UNEF PI & Canopy Global (2020) o considerassem um dos setores prioritários para a definição de metas relacionadas à biodiversidade, para reduzir a exposição das instituições financeiras que investem ou financiam projetos na área de energia ao risco associado aos SEs (NFCA & UNEP-WCMC, 2018).

Além disso, conforme a Declaração do Capital Natural (NCD) assinada em 2012, na Rio+20, por mais de 40 instituições financeiras, a valorização e internalização dos custos socioambientais deve contar com o apoio dos governos, sendo uma das formas o incentivo às empresas para divulgar a natureza da sua dependência pelos SEs por meio de relatórios qualitativos e quantitativos.

Dessa forma, a NCD visa complementar iniciativas existentes como os Princípios do Equador (lançados em 2003), os Princípios para Investimento Responsável (lançados em 2006), a Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (lançada em 2007) e os Princípios para Sustentabilidade em Seguros (lançados em 2012). Um dos compromissos assumidos pelas instituições signatárias da NCD é a

construção de uma compreensão sobre a dependência dos SEs relevantes para as suas operações, perfis de risco, carteira de clientes, cadeia de abastecimento e oportunidades de negócio.

Todas essas iniciativas são fundamentais para reduzir o risco apontado pelo Relatório 2021 do Fórum Econômico Mundial decorrente da perda da biodiversidade e do colapso dos ecossistemas, considerado o quarto risco global com impactos irreversíveis sobre as atividades econômicas nos próximos 5-10 anos (WEF, 2021).

Diante desse cenário, serão apresentados a seguir alguns exemplos sobre a importância da realização de investimentos visando a manutenção dos SEs relevantes para a transmissão e geração de energia de determinadas fontes.

Hidrelétricas

A geração hidrelétrica está entre os processos produtivos com elevado grau de dependência dos SEs. A provisão de água, a manutenção do regime hídrico e a regulação do clima se destacam como os SEs dos quais as hidrelétricas (UHEs) possuem grau de dependência muito alto, ou seja, além da sua operação ser altamente vulnerável à interrupção desses serviços, não há recurso substituto para continuidade da geração. Outros SEs dos quais as UHEs possuem dependência são controle da erosão e proteção contra enchentes, água subterrânea e qualidade da água, entre outros com menor grau de dependência. A interrupção ou perturbações na capacidade dos ecossistemas proverem esses serviços, dos quais a geração hidrelétrica é dependente, representam um impacto significativo nas operações e rentabilidade das UHEs (NCFA & UNEP-WCMC, 2018).

Os benefícios da conservação dos ecossistemas de uma bacia hidrográfica para a produção hidrelétrica são evidenciados na literatura científica, com especial destaque para a demonstração, por meio de ferramentas de modelagem e valoração econômica, da dependência do setor pelos serviços de provisão de água e retenção de sedimentos oriundos das áreas de floresta à montante do reservatório (Espécie, et al., 2019).

Provisão de água e manutenção do regime hídrico

A oferta de água em quantidade necessária para atender à demanda total da produção hidrelétrica caracteriza a alta dependência dessas usinas pelo SE de provisão de água. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), a geração hidrelétrica e termelétrica a gás foram responsáveis por 96,6% do uso da água no Brasil entre 2013 e 2015, dada a expressiva participação da fonte hídrica na matriz elétrica. Os volumes de captação de água são elevados porque contemplam as vazões turbinadas pelas usinas hidrelétricas, considerada um uso não-consuntivo, ou seja, as UHEs retornam 100% da água para o rio.

As bacias hidrográficas Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco são as mais importantes para o Sistema Interligado Nacional (SIN), contribuindo com aproximadamente 87% da capacidade instalada. No entanto, essas mesmas bacias apresentaram, entre 2017 e 2019, vazões médias com valores percentuais de 26,5% a 66% menores do que a média histórica, incluindo o ano imediatamente anterior, conforme dados apresentados pela ANA nos relatórios Conjuntura Recursos Hídricos Brasil: 2018, 2019 e 2020, sendo as maiores reduções observadas na bacia do rio São Francisco (Quadro 2).

Quadro 2 – Diferença das vazões médias ocorridas entre 2017 e 2019 nas bacias dos rios Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco

Bacia hidrográfica	2019	2018	2017
São Francisco	-60,4%	-56,8%	-66%
Tocantins-Araguaia	-46,8%	-41,8%	-52,1%
Paraná	-26,5%	-53,3%	-42,8%

Fonte: ANA (2020, 2019 e 2018)

Os ecossistemas naturais têm papel fundamental no ciclo hidrológico e, consequentemente, na produção de água doce em quantidades e na regularidade necessária que, associada a possibilidade de ser armazenada em reservatórios, garante previsibilidade para o sistema de geração de energia. A perda da cobertura vegetal aumenta a velocidade de escoamento da água aumentando os picos de vazões e o carreamento de sedimentos durante a estação chuvosa, reduzindo a vazão dos rios durante a estação seca. O assoreamento e variações nas vazões, associado a padrões de chuva distintos causados pelas mudanças climáticas, reduz a provisão de água e a qualidade de água disponível para a produção hidrelétrica (Rycerz, et al., 2020).

Diferentes usos do solo da bacia hidrográfica podem interferir de forma positiva ou negativa na manutenção dos processos do ecossistema afetando, assim, sua capacidade de prover serviços. A cobertura vegetal densa com raízes abundantes (como a que ocorre, por exemplo, em Áreas de Preservação Permanente - APPs com vegetação natural), as práticas agrícolas com conservação do solo ou vegetação, e a pecuária e pastagem bem manejadas são usos que favorecem os SEs de suporte, pois reduzem a velocidade do escoamento das águas, favorecem a infiltração da água no solo, melhoram a estrutura do solo, entre outros (IPÊ, 2017). Nesse sentido, a manutenção e recuperação da vegetação nas APPs ao longo dos rios de uma bacia hidrográfica e no entorno de lagoas e reservatórios desempenham um papel importante na provisão de água e na regulação do regime das vazões.

No contexto das Soluções baseadas na Natureza (NbS), a recuperação de bacias hidrográficas degradadas para manutenção do SE de provisão de água para UHEs se caracteriza como uma das soluções com potencial para garantir a resiliência da infraestrutura, numa abordagem que integra a infraestrutura natural e a construída (IDB, 2020). A recuperação ou manutenção da cobertura vegetal incluem, além dos custos evitados na geração hidrelétrica, benefícios como sequestro e estoque de carbono, conservação da biodiversidade, turismo e recreação, melhoria da qualidade de vida das comunidades locais e mitigação climática (IDB, 2020).

A valoração da dependência da atividade econômica pela água, em geral, passa pela análise do balanço hídrico do processo de produção (GVCes, 2019). No entanto, considerando o uso não-consuntivo da água pelas UHEs, algumas adaptações são necessárias. Na aplicação do Método de Produtividade Marginal, a redução de disponibilidade de água implicaria em menos energia gerada, e a valoração econômica se daria pela perda de faturamento equivalente. No entanto, a correlação entre a vazão disponível (m^3/s) e a geração de energia (MWh) são influenciadas por aspectos regulamentares como preço de liquidação de diferenças (PLD) e orientações do Operador Nacional do Sistema (ONS). Outra adaptação necessária, no caso da aplicação do Método de Custo de Reposição, é utilizar os custos de reposição para entrega de energia no sistema quando previsto em contrato e/ou regulamentação, uma vez que a reposição de água não se aplica (GVCes, 2018).

Controle da erosão

A sedimentação no reservatório é um ponto crítico para a operação e para o tempo de vida útil de uma UHE, e o controle da erosão é um SE que pode prevenir de forma significativa a sedimentação excessiva. Significa dizer que as áreas com cobertura vegetal numa bacia hidrográfica oferecem importante valor para a geração hidrelétrica a jusante, evitando a erosão dos solos e o assoreamento dos reservatórios (Arias, et al., 2011; WRI, 2012). O impacto do assoreamento na operação e tempo de vida útil da UHE é determinado pelas características da bacia hidrográfica quanto à susceptibilidade à erosão e ao uso do solo e, por isso, deve ser avaliado caso a caso. Há exemplos de perda de 50% da capacidade de armazenamento do reservatório (WCD, 2000), relato de redução do tempo de vida útil do reservatório em 50% (Arias, et al., 2011), além de outras consequências para segurança da barragem, danos à equipamentos e redução da capacidade de atenuação de cheias (Schellenberg, et al., 2017).

A produção de sedimentos ocorre naturalmente e é usualmente considerada nos estudos de dimensionamento da usina. Porém, alterações na cobertura do uso na bacia hidrográfica – resultantes de desmatamento, mineração e agropecuária intensiva, por exemplo – podem aumentar significativamente a produção de sedimentos, impactando de forma negativa a rentabilidade financeira da UHE e a segurança do sistema de geração (Arias, et al., 2011).

No sentido de reduzir o acúmulo de sedimentos no reservatório, o empreendedor tem à disposição diversas estratégias como manobras, descargas, dragagens e técnicas de manejo do solo para controle de erosão (Schellenberg, et al., 2017), cuja escolha costuma se concentrar naquelas sob seu gerenciamento. No entanto, a busca pela maximização da produção de energia e redução dos custos de operação tem apontado para ferramentas de controle da erosão capazes de selecionar onde e quais atividades de manejo do uso do solo e da cobertura vegetal devem receber investimentos para maximizar a melhoria dos SEs, especialmente em termos de vazão anual e retenção dos sedimentos (Volg, et al., 2016).

Valorar a relação de dependência é fundamental para tomada de decisão sobre o investimento, e também para estruturação de programas de PSA, por exemplo. Em um estudo de caso de uma usina de 1.676 MW no rio Iguaçu que implantou um projeto da recuperação de APP, a valoração dos impactos positivos do controle de erosão indicou um custo evitado de cerca de R\$ 5.885.413 por ano (GVCes, 2016). A partir das Diretrizes Empresariais para Valoração Econômica de Serviços Ecossistêmicos (GVCes, 2019), utilizadas para valoração da dependência das UHEs pelo SE de controle da erosão, recomenda-se a aplicação do (i) método de produtividade marginal para determinar a relação da perda do solo (resultado da Equação Universal de Perda do Solo em ton/ha/ano) e redução na vida útil do reservatório e/ou do fator de geração do empreendimento para, então, determinar as perdas financeiras provenientes do assoreamento, ou ainda o (ii) método do custo de reposição, calculados a partir do resultado de perda do solo, considerando os custos de dragagem do reservatório (GVCes, 2018).

Regulação da qualidade da água

A degradação dos parâmetros da qualidade da água pode impactar aspectos operacionais do empreendimento como o funcionamento, a vida útil das turbinas e a incidência de macrófitas no reservatório (GVCes, 2018), caracterizando a relação de dependência das UHEs pelo SE de regulação da qualidade da água. A manutenção e recuperação dos ecossistemas naturais nas nascentes, rios e tributários a montante do reservatório da UHE contribuem evitando que fertilizantes e resíduos da agropecuária, por exemplo, alcancem os corpos hídricos e cause eutrofização dos reservatórios. A deterioração da qualidade da água no reservatório favorece a presença de macrófitas que, por sua vez, contribuem para a sedimentação e podem prejudicar a operação da UHE.

A valoração econômica por meio do método do custo de reposição contabiliza os custos de investimentos necessários de infraestrutura e logística para o tratamento, além do custo de tratamento da água, ou ainda os custos de manutenção ou reposição de equipamentos, como turbinas, incluindo a pausa na geração para executar a manutenção. O valor da dependência para esse SE também pode ser considerada igual ao custo de controlar e eliminar as fontes difusas de poluição, e programas de conservação e restauração de áreas florestadas, nos casos que essa relação com a qualidade da água é reconhecida (GVCes, 2018).

Proteção contra enchentes

O projeto ENCORE (<https://encore.naturalcapital.finance/en/explore>) identificou um alto grau de dependência das operações das UHEs pelo SE de controle de enchentes/tempestades, justificado pela alta vulnerabilidade das operações das usinas aos eventos de enchente, além de ser considerado um SE crítico e insubstituível.

No contexto brasileiro, a concepção do projeto hidrelétrico considera alternativas para amortecer os efeitos da enchente reduzindo essa vulnerabilidade, e busca o aproveitamento ótimo da água em termos de volume e disponibilidade ao longo dos meses e anos. Em algumas UHEs, o reservatório tem a função de amortecer os eventos de enchente e durante um período do ano a cota do reservatório é mantida em determinado nível para permitir esse amortecimento, com efeitos na geração de energia. Em outros casos, como usinas a fio d'água, o período de cheia eleva o nível da água de jusante diminuindo a queda. Cada UHE possui uma altura mínima de queda para garantir o funcionamento das unidades geradoras, e quando essa altura não é alcançada a UHE fica indisponível para o ONS. O dimensionamento das hidrelétricas considera essas variações, cabendo pensar em vulnerabilidade em casos de perda

significativa dos ecossistemas na bacia hidrográfica que tem potencial para agravar os eventos de enchentes atípicos.

Regulação do clima

A regulação do clima em escala global ocorre pela capacidade da natureza de estocar carbono no solo, plantas e oceanos. Em escala regional, o clima é regulado pelas correntes oceânicas e atmosféricas, enquanto na escala local a vegetação pode modificar as temperaturas, a umidade do ar e a velocidade do vento, por exemplo (ENCORE, 2021).

As mudanças climáticas têm potencial para afetar diversos setores da economia em diferentes regiões do mundo e, por isso, setores produtivos e instituições financeiras estão preocupadas em compreender o risco dessas mudanças para o negócio e gerenciá-lo (NCFA, 2018; IHA, 2019). No caso de UHEs, o processo produtivo é altamente vulnerável à interrupção desse SE (Schaeffer, 2019), pois alterações nas condições climáticas como volumes de precipitação, padrões hidrológicos e cheias extremas, afetam a produção de energia. Estima-se, por exemplo, uma redução entre 5 e 43% na provisão de água para geração hidrelétrica numa bacia mediterrânea, uma das regiões mais vulneráveis do mundo às mudanças climáticas (Bangash, et al., 2013). Devido ao longo tempo de vida dos projetos hidrelétricos e da sua vulnerabilidade às mudanças climáticas, o setor hidrelétrico vem discutindo estratégias para aumentar a resiliência às mudanças climáticas de projetos novos e existentes e publicou, em 2019, um guia para identificação, avaliação e gerenciamento do risco climático para hidrelétricas (IHA, 2019).

No Brasil, a tendência na construção de UHEs com reservatórios com menor capacidade de armazenamento deixará, de forma geral, a geração hidrelétrica mais vulnerável nos anos de déficit de água (Schaeffer, 2018). Previsões sobre os efeitos das mudanças climáticas na produção hidrelétrica são regionais, e conhecer seus impactos sob o sistema elétrico requerem avanços nas modelagens hidrológicas e energéticas diante da complexidade geográfica e de geração das UHEs (números, tipos, cascatas, tamanho etc.).

Experiências de UHEs com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos

As iniciativas das empresas gestoras de hidrelétricas convergentes com as atividades incentivadas pela PNPSA foram identificadas e resumidas a seguir com o objetivo de mostrar as sinergias entre a nova lei e as práticas correntes.

Em consulta aos relatórios de sustentabilidade das principais empresas do setor, foi identificado que, em função das obrigações de licenciamento ambiental, salvaguardas de instituições financeiras e iniciativas empresariais, as empresas realizam diversas ações para recuperação e conservação florestal; monitoramento de nascentes, fauna e flora; recuperação e conservação da biodiversidade; e conscientização ambiental junto às comunidades próximas dos empreendimentos. Ao longo dos anos, o conhecimento necessário para realização destas atividades tem sido incrementado. Nota-se que os arranjos para recuperação da cobertura vegetal e manejo sustentável do solo requerem, na maioria dos casos, um engajamento efetivo das comunidades locais, dos municípios, das instituições e ONGs para apoio técnico e gerencial. Algumas empresas, inclusive, mantêm Unidades de Conservação (UCs) nas proximidades do reservatório, contribuindo para garantia dos SEs de provisão de água e controle da erosão, ou ainda para a regulação do clima global.

Conjuntamente, algumas empresas compõem o conselho gestor destas UCs e contribuem para pesquisas científicas nestes ambientes e ações de restauração, o que requer a manutenção de bancos de muda que abastecem diversas outras áreas nas regiões de atuação. Há casos recorrentes de empresas atuando nos conselhos consultivos e conselhos gestores de UCs, comitês de bacias hidrográficas e conselhos estaduais de recursos hídricos. Desta forma, exercem influência na gestão destas áreas fundamentais para a provisão dos SEs. Assim, estendem suas ações para além do disciplinamento instaurado nos Planos Ambientais de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificiais

(PACUERA), exigidos por lei em todos os empreendimentos hidrelétricos, e que já minimizam impactos negativos das atividades dos empreendimentos.

No sentido de ampliar o financiamento de experiências semelhantes, o Blue Energy Mechanism se apresenta como solução potencial para UHEs, combinando metodologias de PSA e pagamento por sucesso, com o objetivo de diminuir o risco financeiro e aumentar a sustentabilidade operacional das hidrelétricas. Entre os co-benefícios gerados a partir do investimento em reflorestamento, por exemplo, estão o incremento da biodiversidade, adaptação às mudanças climáticas, melhoria da qualidade de água e geração de renda (BEM, 2021).

EXPERIÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO COM PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

O Programa **Produtor de Água** é desenvolvido pela Agência Nacional de Águas desde 2001 e tem como objetivo proteger e revitalizar as bacias hidrográficas e seus recursos hídricos utilizando o PSA. O programa atua junto a um grupo de instituições públicas e privadas locais, coordenando os interesses complementares: de um lado, um grupo de usuários interessados em garantir o suprimento de água, como as usinas hidrelétricas, por exemplo, e de outro lado os produtores rurais com potencial para implantar o manejo e água nas suas propriedades, que poderão prestar o serviço ambiental (ANA, 2021a).

Para assegurar o funcionamento e a geração de energia, a usina hidrelétrica de Itaipu experimentou uma sucessão de projetos para proteger e criar um corredor natural de vegetação nas margens do reservatório e tributários para reduzir o carreamento de sedimentos e garantir a vazão hídrica. Entre os projetos, destaca-se o **Cultivando Água Boa**, executado entre 2003 e 2017 e que abrangeu diversas iniciativas, entre elas a conservação e recuperação da floresta ao longo dos tributários do rio Paraná com envolvimento das comunidades locais.

Outro programa, chamado **Preserves**, voltado para a recuperação das margens do reservatório na porção do Paraguai, foi iniciado em 2014 com conclusão prevista para 2022. Reconhecido internacionalmente como boa prática na gestão dos recursos hídricos, representa uma solução baseada na conservação e regeneração dos ecossistemas naturais, gerenciando efeitos das mudanças climáticas, e ao mesmo tempo demonstrando viabilidade financeira e co-benefícios para as comunidades locais e biodiversidade (Rycerz, et al., 2020; IDB, 2020).

Linhas de transmissão

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, o sistema de transmissão desempenha o papel de interligar regiões, permitindo a utilização de diversos tipos de fontes de energia e o despacho otimizado do parque gerador. Segundo o ONS, há cerca de 145 mil km de linhas de transmissão (LTs) em operação no país e, conforme o Plano Decenal de Energia 2030, estão planejados 37.454 km de LTs no decênio (MME/EPE, 2021).

Sobre a dependência que as LTs possuem em relação aos SEs, ou seja, o quanto a ausência ou alteração de alguns dos SEs pode impactar na transmissão de energia, foram mapeados os seguintes SEs de acordo com o ENCORE (2021): regulação do clima, proteção contra tempestades e enchentes, e estabilização do solo e controle da erosão.

Regulação do clima

As mudanças climáticas podem afetar significativamente a confiabilidade dos sistemas de LTs existentes, sobretudo os eventos extremos de vento (Rezaei et al., 2016). Este autor recomenda que as especificações de cargas de projeto para a avaliação de linhas existentes ou o projeto de novas linhas deve considerar modelos climáticos futuros e dados climáticos históricos.

Um estudo conduzido para o estado da Califórnia estimou que o aumento de temperatura projetado pelos modelos climáticos futuros diminuiria a capacidade de LTs totalmente carregadas, além de perdas na capacidade da subestação como resultado de cenários mais quentes resultantes das alterações climáticas (Sathaye et al., 2011).

Segundo Gerlak et al (2018), o aumento da temperatura diminui a umidade do solo e da vegetação, além de afetar as reservas hídricas, aumentando o risco de secas extremas e, consequentemente, de incêndios que, além de ocasionarem a interrupção no fornecimento de energia e impacto na flora e fauna, também podem gerar grandes prejuízos em estruturas e até mortes, como foi o caso do incêndio ocorrido em 2018 em Butte, Califórnia. Em novembro de 2018, as altas temperaturas, associadas à baixa umidade do solo e da vegetação, somada ao vento forte, contribuíram para a expansão rápida do fogo que destruiu mais de 18.000 estruturas e ocasionou mais de 80 mortes. Segundo o Departamento de Florestas e Proteção contra Incêndios da Califórnia, o incêndio foi causado pelas LTs pertencentes e operadas pela Pacific Gas and Electricity (CAL FIRE, 2019).

Proteção contra tempestades e enchentes

Outros fenômenos climáticos que podem causar falhas nas LTs de energia citados por Musilek et al., 2009 apud Schaeffer et al., 2012 incluem, além dos ventos extremos, tempestades de gelo, quedas de raios, deslizamentos de terra e inundações.

O Relatório de Avaliação de Base sobre os Serviços Climáticos no Brasil e o Setor de Linhas de Transmissão (GIZ, 2019) ressalta que as maiores ameaças ao setor de transmissão são vendavais, descargas elétricas e deslizamentos de terras causados por chuvas persistentes. De acordo com esse estudo, os ativos de transmissão da Eletrosul têm sofrido danos e prejuízos provenientes de eventos climáticos extremos. Os principais impactos e consequências são as de ordem estrutural, ou seja, as ocorrências com quedas de torres e cabos que são causados, em sua maioria, por vendavais de grande magnitude e, em alguns casos, por deslizamentos de terra devido às chuvas persistentes.

Experiências de LTs com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos

A principal dependência das LTs em relação aos SEs se refere às mudanças climáticas extremas. Neste sentido, uma das novas ações identificadas que contribuem para atenuar a questão se referem “a um conjunto de práticas que visa ao estabelecimento, em longo prazo, de uma comunidade de plantas cujas características de crescimento não interfiram no desempenho operacional das instalações elétricas ou que demandem o mínimo de intervenções, além de prover proteção para o solo, abrigo e alimentação para a fauna, entre outros benefícios” (Monzoni et al. 2018: 22-25), conforme projeto elaborado pela Copel.

A prática de recomposição da floresta suprimida em função da instalação das LTs é recorrente. E, em função dos impactos em UCs e Terras Indígenas, também foram identificadas ações de monitoramento e apoio à integridade territorial nestas áreas protegidas.

Eólicas

Desde a realização do segundo Leilão de Energia de Reserva de 2009, foram contratados 750 empreendimentos eólicos, totalizando uma capacidade instalada de 19.127 MW. Destaca-se que estas contratações ocorreram nas regiões Nordeste (88%) e Sul (11%) do Brasil, que são as regiões com maior potencial desse tipo de fonte (MME/EPE, 2021).

Considerando a dependência que os empreendimentos eólicos possuem em relação aos SEs, o ENCORE classifica como muito alto o grau de dependência com o SE de regulação do clima. Em relação aos SEs de proteção contra tempestades e enchentes, e estabilização do solo e controle da erosão, a classificação é de médio grau de dependência por considerar que a geração eólica ocorre, na maior parte das vezes, mesmo se houver uma interrupção ou ausência do SE.

Regulação do clima

Embora a energia eólica apresente menor nível de dependência dos SEs se comparado a outras fontes renováveis, sua operação é suscetível ao impacto das mudanças climáticas globais.

A disponibilidade e confiabilidade da energia eólica dependem das condições meteorológicas e climáticas. A densidade de energia no vento é determinada pelo balanço global de energia e o movimento atmosférico que dele resulta (Schaeffer, 2012).

A alteração dos fluxos atmosféricos, provocados pela mudança climática, podem resultar mudanças na distribuição geográfica, variação temporal relacionadas a velocidade do vento, mudanças na direção, turbulência, ocorrência de eventos extremos, alterações de densidade e temperatura do ar (Hdidouan&Stafeel, 2017). Projeções de modelos climáticos demonstram que essas alterações são espacialmente variáveis, devendo causar mudança nos potenciais de recursos eólicos de modo heterogêneo, aumentando em algumas áreas enquanto será reduzido em outras.

Conforme Schaeffer (2012), as principais consequências decorrentes das alterações climáticas e que podem afetar diretamente o setor de geração de energia eólica são possíveis alterações na duração e intensidade dos ventos e o aumento do risco de acidentes devido a maior possibilidade de ocorrência de eventos extremos.

No Brasil, alguns estudos levantaram os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a geração de energia eólica. Lucena et al. (2010, apud Costa et al.2020a) encontraram evidência de um aumento no potencial de geração eólica devido às mudanças climáticas globais de até 20%, principalmente para a região Nordeste, e uma redução significativa em uma área localizada no oeste da Amazônia. Porém, ressaltam que os resultados do trabalho carregam grande incerteza.

Pereira et al. (2013), ao avaliar os impactos através da aplicação de previsões de um modelo climático e análise de tendências ao longo de séries de tempo climatológicas mostraram uma tendência de crescimento médio de 15% a 30% na densidade de energia eólica na maior parte da região Nordeste para o período 2010-2100. Para a região Sul, o modelo mostrou uma leve tendência de aumento, com picos de 20% em algumas áreas. O estudo concluiu que é possível esperar um impacto geral favorável das mudanças climáticas globais sobre a energia eólica nas regiões Nordeste e Sul do país, mas ponderam que se trata de um estudo preliminar e grandes incertezas estão associadas aos modelos e cenários.

Costa et al. (2020a) observaram mudanças relevantes nos padrões sazonais do recurso eólico, como antecipações dos valores máximos e na intensidade do vento ao longo do país. Os resultados considerados mais relevantes para a região Nordeste foram a alteração no ciclo sazonal, com antecipação em dois meses dos máximos mensais, e um ganho de até 20% no potencial eólico ao longo do ano, com exceção para o verão.

No geral, os estudos apontam para uma tendência favorável para a geração de energia eólica nas regiões Nordeste e Sul do país, onde encontra-se a maior parte das contratações desse tipo de fonte.

O ENCORE classifica como muito alto o grau de dependência da fonte eólica em relação ao SE de regulação do clima, pois o processo de geração de energia é extremamente vulnerável a interrupções decorrentes de mudanças na regulação climática e o grau de proteção oferecido pelo SE é crítico e insubstituível.

Experiências de eólicas com atividades relacionadas à conservação ou recuperação de serviços ecossistêmicos

A principal dependência das eólicas em relação aos SEs se refere às mudanças climáticas extremas. Observa-se que, em muitos casos, é alto o índice de área preservada ou recuperada (principalmente em função do canteiro de obras) em relação à área total arrendada pelo empreendimento. Assim, além de ser uma fonte não emissora de GEE, contribui para a preservação na área do empreendimento.

Solar fotovoltaica

A geração solar fotovoltaica possui um grande potencial no Brasil devido aos elevados níveis de irradiação na maior parte do território nacional (INPE, 2017 e Costa et. al., 2020b).

O Sistema de Informações de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) informa que o País dispõe atualmente em operação 4.129 empreendimentos de geração por fonte solar fotovoltaica centralizada e distribuída, totalizando 3.295 MW de potência outorgada. Se incluirmos os projetos em construção e construção não iniciada¹, o número de empreendimentos aumenta para 4.521 com montante de 18.717 MW² (ANEEL, 2021).

No caso da geração solar fotovoltaica centralizada, foram contratados 160 empreendimentos nos leilões de energia realizados entre 2014 e 2019, com capacidade instalada de 4.767 MW. Esses empreendimentos concentram-se nas regiões Nordeste e Sudeste do País, com destaque para os estados de Minas Gerais, São Paulo, Ceará, Piauí, Pernambuco e Bahia, responsáveis por cerca de 90% das contratações realizadas para esse tipo de fonte (MME/EPE, 2021).

Com relação à dependência que os empreendimentos fotovoltaicos possuem em relação aos SEs, apesar de existirem em menor escala estudos que relacionem os temas de forma direta, indiretamente é possível levantar informações sobre essas relações. Dessa forma, a fim de compreender a relação de dependência entre a fonte solar fotovoltaica e os SEs, ou seja, o quanto a ausência ou alteração de alguns dos SEs pode impactar na geração de energia através dessa fonte, foram mapeados os SEs descritos abaixo.

Provisão de água

Os painéis fotovoltaicos, dependendo do tipo de solo e do índice de pluviosidade no local onde estão instalados, podem necessitar de limpeza a fim de reduzir o acúmulo de sujeira e sua interferência no desempenho dos painéis solares (T. Sarver, 2013 apud Chiteka, 2020). A água pode ser um recurso importante para essa limpeza, porém não é a única possibilidade. Equipamentos e processos que dispensam água, tais como autolimpeza mecânica, autolimpeza eletrostática, e utilização de ar pressurizado vem sendo estudados e implementados (Chiteka, 2020 e Saravanan, 2018 apud MME/EPE, 2020).

De acordo com ENCORE (2021), o grau de dependência da fonte solar em relação ao SE de provisão de água é muito baixo pois, na maioria das vezes, o processo de geração de energia pode ocorrer mesmo com a interrupção total da provisão do recurso. Além disso, há alternativas tecnológicas ao uso da água para limpeza dos painéis.

Regulação do clima

As mudanças climáticas podem afetar a geração de energia solar fotovoltaica ao alterar o conteúdo de vapor d'água na atmosfera, a nebulosidade e as características das nuvens, afetando, assim, a transmissividade atmosférica da irradiação solar (Schaeffer, 2012).

Como os impactos sobre essas variáveis podem ter diferentes tendências ao redor do mundo, em alguns locais haveria impacto positivo para a geração de energia com aumento da radiação solar enquanto em outras regiões há uma tendência de diminuição da radiação solar, afetando negativamente a geração fotovoltaica.

Crook et al. (2011) analisaram, a nível global, como as mudanças na temperatura e insolação, projetadas para o período de 2000 a 2100, irão impactar a geração de energia solar num cenário de rápido crescimento econômico e utilização combinada de combustíveis fósseis e de origem em fontes renováveis. Os resultados globais mostraram, para até 2080, uma redução entre 6 e 10% na geração de energia fotovoltaica para a maior parte do Brasil, com exceção da região Amazônica, onde foi previsto um aumento entre 2 a 4%.

Num estudo específico para o Brasil, Jong et al. (2019) investigaram os impactos das mudanças climáticas sobre o recurso energético solar em cenários de altas emissões para nas décadas de 2030 e 2080. Os resultados mostraram aumento no potencial de energia solar para a maioria das regiões

¹Usinas que recebem Ato de Outorga (Concessão ou Autorização) e ainda não iniciaram as obras.

²Consulta efetuada no dia 18/03/2021. Disponível em: <https://bit.ly/2IGf4Q0>.

brasileiras, chegando a 3,6% sobre o Nordeste e aumento da radiação solar em todos os parques solares da região Nordeste e parte do Sudeste. A exceção é o extremo sul do país, onde a radiação solar deve diminuir.

Já Costa et al. (2020b) avaliaram o impacto das mudanças climáticas sobre o recurso solar brasileiro, estimando alterações na disponibilidade média e no perfil sazonal do recurso em três horizontes temporais (2006-2040, 2040-2070 e 2070-2099). Os resultados permitiram identificar três padrões espaciais de variação do recurso solar: (i) redução de 5% a 10% na costa norte/nordeste; (ii) redução de 5% a 10% na região Sul e (iii) banda transversal do Sudeste até a Amazônia, com aumento de 5% a 10% no recurso solar em todos os períodos.

Dada a dificuldade de prever a mudança das temperaturas projetadas e os efeitos das mudanças climáticas, bem como em decorrência das diferenças entre as metodologias adotadas, os resultados obtidos apresentam diversidade, mas os estudos apontam uma tendência de aumento da radiação solar na região Amazônica e redução na região Sul. Porém, Jong et al. (2019) ressalta que, apesar do maior aumento percentual da radiação solar projetado para algumas áreas da região Norte, os recursos solares dessa região ainda permanecerão baixos em comparação com os recursos da região Nordeste.

O processo de desertificação que as mudanças climáticas podem causar em certas regiões poderá impactar na expansão da fonte solar fotovoltaica uma vez que áreas desertificadas tornam o terreno indisponível para instalação das plantas. Conforme Vieira (2015), cabe destacar que a expansão da fonte solar fotovoltaica no Brasil está concentrada no clima semiárido e existem indicativos de que 94% do semiárido brasileiro está sob moderada a alta susceptibilidade à desertificação sendo que as áreas identificadas com alta susceptibilidade à degradação/desertificação do solo aumentaram aproximadamente 4,6% entre 2000 e 2010.

O ENCORE classifica como muito alto grau de dependência da fonte solar em relação ao SE de regulação do clima, pois o processo de geração de energia é extremamente vulnerável a interrupções decorrentes dos eventos climáticos e o grau de proteção oferecido pela regulação climática é crítico e insubstituível.

Proteção contra tempestades e enchentes

Tempestades e enchentes podem tanto danificar os parques solares gerando danos, seja por ventos extremos ou por granizo, quanto interromper, em alguma medida, o processo de geração de energia.

Por considerar que a geração solar fotovoltaica, na maioria das vezes, ocorre mesmo que haja uma interrupção da proteção contra tempestades e enchentes devido à resiliência do processo de geração, o ENCORE classifica como de médio grau a dependência da geração fotovoltaica em relação ao SE de proteção contra tempestades e enchentes.

Estabilização do solo e controle da erosão

O SE de estabilização do solo e controle da erosão torna-se importante para o planejamento dos parques solares pois nas áreas com erosão haverá dificuldade ou impedimento na instalação e/ou manutenção das placas. Dessa forma, ou o empreendedor deverá investir em recursos para que seja feita uma estabilização da área para controle do processo erosivo ou, dependendo do grau de erodibilidade, a implantação do parque solar fotovoltaico torna-se inviável.

A classificação de materialidade do ENCORE da geração solar fotovoltaica em relação ao SE é média por considerar que a geração de energia pode ocorrer mesmo sem o SE devido à disponibilidade de substitutos de proteção.

Pelo fato de existirem apenas projetos pilotos no Brasil e não constar no planejamento energético brasileiro dos próximos 10 anos, a energia heliotérmica não faz parte do escopo desta NT.

Com relação aos empreendimentos híbridos de geração de energia elétrica, a NT não se propõe a aprofundar o tema por entender que a dependência das fontes em relação aos SEs pode, em certa medida, ser considerada de forma individual, já que a análise da relação de dependência das fontes em

relação aos SEs se mantém. Porém, reconhece a existência de cumulatividade da dependência das fontes em relação aos SEs.

Termelétrica a biomassa

A capacidade instalada para geração elétrica a partir da biomassa totaliza 15,8 GW (ANEEL, 2021). Cerca de 76% dessa capacidade utiliza o bagaço de cana-de-açúcar como combustível. Termelétricas a lixívia respondem por 16%. O restante é composto por usinas a resíduos florestais (4%), outros combustíveis (3%) e usinas a biogás (1%). Ou seja, o bagaço derivado do processo produtivo da cana é a biomassa com fins energéticos mais importante no país. Parte da energia gerada na queima do bagaço alimenta as usinas de etanol e açúcar e o restante é exportada como eletricidade para o SIN.

Dessa forma, apesar dessa NT focar nas fontes de eletricidade, a análise da biomassa deve ser, ainda que parcialmente, associada a análise dos biocombustíveis, uma vez que o bagaço é um coproduto do etanol.

Ao se avaliar os impactos da biomassa sobre os SEs, é preciso levar em conta que o seu uso como combustível para gerar energia elétrica representa uma destinação mais nobre para resíduos que, na maioria dos casos, seriam descartados de maneira inadequada. Assim, enquanto a grande parte dos impactos ambientais da biomassa é motivada pela produção de biocombustíveis, o uso do bagaço queimado nas térmicas representa uma solução energética ambiental para as usinas de cana-de-açúcar.

Os biocombustíveis são combustíveis renováveis derivados de biomassa, como plantas, algas e resíduo animal. No Brasil, o etanol é produzido da cana-de-açúcar e do milho e é utilizado como aditivo e substituto direto da gasolina automotiva. O biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e utilizado em mistura com óleo diesel derivado do petróleo.

Os biocombustíveis de primeira geração fornecem benefícios, como a provisão de combustível e regulação do clima, mas comprometem SEs, como a provisão de alimentos e de água doce (Gasparatos et al. 2011). Existe ainda uma relação de dependência dos biocombustíveis por SEs. Apesar da literatura científica focar nos impactos da produção dos biocombustíveis sobre os SEs, a análise da dependência dessas fontes renováveis por SEs ajuda a melhor compreender os riscos e oportunidades para o setor elétrico.

Provisão de água

A provisão de água é um tema geralmente importante para as usinas termelétricas (UTES). Porém, no caso das usinas a bagaço de cana, que estão inseridas nas plantas de produção de açúcar e etanol, o consumo de água específico na unidade de cogeração é pequeno comparado ao consumo total da usina. Como a maioria das usinas têm buscado minimizar o consumo de água no processo industrial, o quantitativo de recursos hídricos utilizado para geração elétrica a partir da biomassa não tem sido considerado expressivo (PDE 2031). Assim, observa-se uma menor dependência das UTES a bagaço do SE de provisão de água.

Basicamente não existe irrigação para produção de cana-de-açúcar e o ciclo de plantação dessa cultura respeita o período das chuvas em cada região, o que mostra uma forte relação de dependência dos biocombustíveis pelo SE de provisão de água. A exceção, conforme o Atlas da Irrigação (ANA, 2021b), está no litoral do Nordeste, região onde predomina a irrigação para cultivo de cana-de-açúcar (ANA, 2016) e que apresenta extensas áreas de balanço hídrico muito crítico, conforme ilustra a [Figura 2](#) dessa NT. Ressalta-se que a produção de cana no país se divide entre as regiões Centro-Sul, que concentra 90% da produção, e Nordeste com 10% (IBGE, 2021).

Assim, ao se comparar o consumo de água das UTES a bagaço com o consumo do processo de produção do etanol, fica evidente que essa produção de energia termelétrica é menos dependente do SE de provisão de água.

Regulação do clima

No Centro-Sul, a dependência está relacionada às chuvas sazonais e os riscos são associados às mudanças climáticas que podem alterar o regime hídrico. Mudanças no volume e no período das chuvas afeta a produção e a produtividade da lavoura e, conseqüentemente, o volume da biomassa.

O biodiesel e a energia do bagaço da cana, apesar de serem insumos energéticos muito importantes, são produzidos por meio de resíduos e coprodutos. Assim, a relação de dependência destas fontes por SEs é indireta e os riscos associados ao serviço de provisão de água devem ser analisados para o produto principal na cadeia de produção, como o etanol, no caso do bagaço, e a soja e pecuária, no caso do biodiesel.

Outros serviços ecossistêmicos

Outros SEs como controle da erosão e fertilidade do solo, controle biológico de pragas e controle de doenças, polinização e ciclagem de nutrientes, apesar de menos importantes, também oferecem um risco à qualidade e produtividade das culturas de soja e cana-de-açúcar. Assim, para além da questão hídrica, a produção de matérias-primas para biocombustíveis apresenta diferentes níveis de dependência da biodiversidade para SEs. Em cenários futuros de mudanças climáticas, o aumento da frequência de eventos climáticos extremos provavelmente amplificará essas dependências (NEP-WCMC, 2017) e trará maiores riscos à produção dos biocombustíveis.

Termelétricas de fontes não renováveis

As UTEs de fontes não renováveis possuem uma capacidade instalada significativa no país. De acordo com o SIGA da ANEEL (ANEEL, 2020), a potência dessas usinas em operação no país é de cerca de 15 GW para gás natural (66 usinas), 3 GW para carvão mineral (11 usinas), 3 GW para óleo diesel (223 usinas), 6 GW para demais fósseis (56 usinas) e 2 GW para nuclear (2 usinas). Considerando a expansão contratada, é prevista a entrada de 6.396 MW de potência, distribuídos em 11 UTEs, das quais oito a gás natural (4.703 MW), duas a diesel (288 MW) e uma nuclear (1.405 MW). Além disso, está prevista a entrada de 40 MW de uma usina a gás de refinaria (MME/EPE, 2021).

Com relação à dependência que a geração termelétrica de fontes não renováveis possuem em relação aos SEs, destacam-se o serviço de provisão de água e manutenção do fluxo hídrico, além da proteção contra inundações e enchentes.

Provisão de água

As UTEs requerem quantidades significativas de água tornando-as vulneráveis a flutuações no abastecimento de água. Mudanças projetadas na disponibilidade de água em todo o mundo apontam para uma menor disponibilidade de água em algumas regiões. Pode-se esperar, portanto, que essas usinas venham a competir cada vez mais com outros usuários de água, como agricultura e abastecimento público em áreas com escassez de água (Bull SR, 2007 apud Schaeffer et al. 2012).

Regulação do clima

A mudança climática global pode afetar a produção de eletricidade afetando a eficiência do ciclo de geração e os requisitos de água de resfriamento de UTEs (WillBanks Thomas et al. 2007 apud Schaeffer 2012). Os impactos derivam do aquecimento e necessidades de resfriamento de ambos os ciclos Rankine e Brayton, que variam de acordo com as condições ambientais médias, como temperatura, pressão, umidade e disponibilidade de água. Isso pode afetar a eficiência de geração e confiabilidade do fornecimento devido a interrupções não planejadas causadas pela escassez de água. Segundo Schaeffer et al. (2012), os efeitos das mudanças na temperatura do ambiente sobre a eficiência de geração em UTEs a carvão e nucleares são semelhantes, pois ambas operam sob um ciclo Rankine. Embora esses efeitos possam ser relativamente pequenos, uma variação modesta na temperatura do ambiente pode representar uma queda significativa no fornecimento de energia em regiões com grande participação na geração de energia térmica.

UTES a gás e aquelas que operam sob o ciclo Brayton de ciclo aberto, ciclo combinado (turbinas a gás e a vapor) podem ter a eficiência afetadas por variações de temperatura e umidade no ambiente. Um aumento na temperatura devido às mudanças climáticas influencia o desempenho das turbinas a gás, levando a uma diminuição na geração ou a um maior consumo de combustível.

Proteção contra tempestades e enchentes

A proteção contra inundações e tempestades é fornecida pelos efeitos de proteção e atenuação da vegetação natural e plantada, que possui relação direta com a permeabilidade do solo e, consequentemente, com a recarga hídrica. Nesse sentido, o aumento do desmatamento e da ocorrência de eventos climáticos extremos pode afetar o SE de proteção contra inundações e tempestades que as UTEs não renováveis são dependentes, segundo a metodologia ENCORE.

MERCADO VOLUNTÁRIO DE PSA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O SETOR ELÉTRICO

Com intuito de analisar os desafios e oportunidades para os agentes econômicos a partir da criação de possíveis mercados de PSA, que remunere ações de recuperação ambiental e reduza os riscos sobre investimentos realizados, é fundamental fazer algumas considerações, dentre as quais:

- A Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais visa fomentar mercados voluntários para Pagamento por Serviços Ambientais.
- O setor de energia é um dos *players* para o fomento desses mercados.
- A produção de energia elétrica depende de serviços ecossistêmicos.
- Investimentos para a conservação e recuperação dos serviços ecossistêmicos devem ser realizados o quanto antes para evitar riscos ou prejuízos futuros ao negócio e ao sistema elétrico brasileiro.
- Deve-se buscar sinergia com políticas, planos e programas em curso (apêndice 1).

Essas considerações norteiam o cruzamento de dados para a identificação das áreas estratégicas, segundo os critérios definidos para o estudo. A seguir, é apresentado o mapeamento de áreas relevantes para o setor elétrico visando o fomento de mercados voluntários para PSA que propiciem:

1. A recuperação e a conservação dos serviços ecossistêmicos prioritários para o setor;
2. O aumento da segurança energética para o parque existente; e
3. Os efeitos sinérgicos da alocação dos recursos.

Indicação de áreas relevantes para o setor elétrico visando o fomento de mercados voluntários para PSA

A indicação de áreas relevantes para a recuperação dos SEs prioritários considerou a dependência do setor elétrico pelos SEs (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e as seguintes bases cartográficas:

- Vulnerabilidade à erosão (Embrapa, 2019);
- Balanço Hídrico Quantitativo (ANA, 2016);

- Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira (MMA, 2018) e;
- Empreendimentos de geração existentes e contratados (UHEs, PCHs, Usinas Fotovoltaicas, Usinas Eólicas, UTEs Renováveis e Não Renováveis), conforme dados do Plano Decenal de Energia 2030 (MME/EPE, 2021).

O Mapa da Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil constitui um modelo espacial que expressa o grau de vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos, considerando o nível de exposição em função da cobertura vegetal natural e/ou do uso agropecuário. Os níveis de vulnerabilidade são representados em cinco classes nominais de intensidade: Muito Baixa; Baixa; Média; Alta; Muito Alta. Para o levantamento das áreas relevantes para a recuperação dos SEs prioritários para a geração de eletricidade foram consideradas as classes de Média, Alta e Muito Alta (Figura 2.a). Esta figura expressa as regiões com maior dificuldade dos ecossistemas proverem, ao setor elétrico, os serviços de: “Estabilização do solo e controle da erosão”.

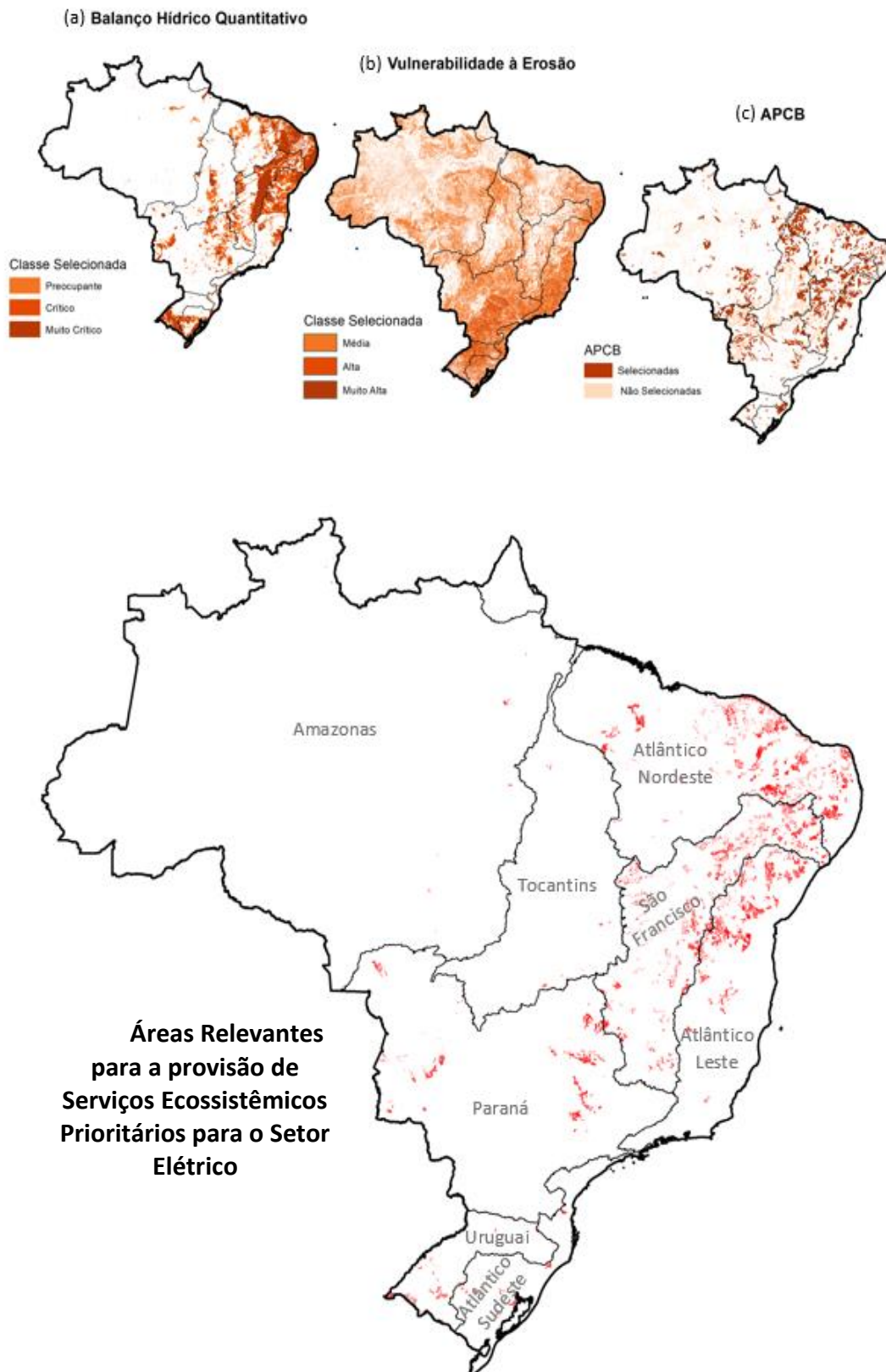
O Mapa de Balanço Hídrico Quantitativo expressa a razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a disponibilidade hídrica. Esse balanço é representado em cinco classes: Excelente; Confortável; Preocupante; Crítica; e Muito Crítica. Para o levantamento das áreas relevantes para a recuperação dos SEs prioritários para o setor foram consideradas as classes Preocupante, Crítica e Muito Crítica (Figura 2.b). Esta figura expressa onde há dificuldade para os ecossistemas proverem, ao setor elétrico, os serviços de: “Água superficial” e “Água subterrânea”.

As Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade (APCBs) são um instrumento de política pública que visa à tomada de decisão, de forma objetiva e participativa, sobre planejamento e implementação de medidas adequadas à conservação, à recuperação e ao uso sustentável de ecossistemas. Para o levantamento das áreas relevantes para a provisão dos SEs prioritários para o setor elétrico foram consideradas as APCBs com ações prioritárias para criação de UCs, ampliação de UCs, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Figura 2.c).

A partir destas bases foi feito um cruzamento de dados para a classificação de áreas consideradas de maior relevância para a recuperação de SEs para a geração elétrica. O estudo considerou exclusivamente áreas nas quais se identificou simultaneamente os seguintes requisitos:

1. Vulnerabilidade à erosão (classes Média; Alta; Muito Alta);
2. Balanço hídrico desfavorável (classes Preocupante; Crítica; e Muito crítica); e
3. APCBs relacionadas às ações de criação ou ampliação de UCs; recuperação de áreas degradadas e reflorestamento.

A combinação destas três variáveis resultou nas áreas apontadas na Figura 2, onde é possível observar sua ocorrência em meio às principais bacias hidrográficas brasileiras. Como pode ser visto, as áreas que concentram maior criticidade de balanço hídrico, somada à vulnerabilidade à erosão e ao mesmo tempo maior potencial de recuperação, se localizam nas bacias do São Francisco, do Paraná, do Atlântico Leste e do Atlântico Nordeste.



(a) Adaptado de ANA (2016); (b) Adaptado de Embrapa (2019); (c) Adaptado de MMA (2018)

Figura 2 – Áreas relevantes para a provisão de serviços ecossistêmicos prioritários para o setor elétrico

Quando visualizada a distribuição dos empreendimentos de geração de energia elétrica instalados (Figura 3) e a futura localização dos empreendimentos contratados (Figura 4) por bacia hidrográfica, percebe-se a importância da adoção de ações de conservação ambiental e recuperação de áreas degradadas para prover

serviços ecossistêmicos fundamentais para a geração de energia elétrica, tendo em vista o alto grau de dependência o setor elétrico por estes serviços.

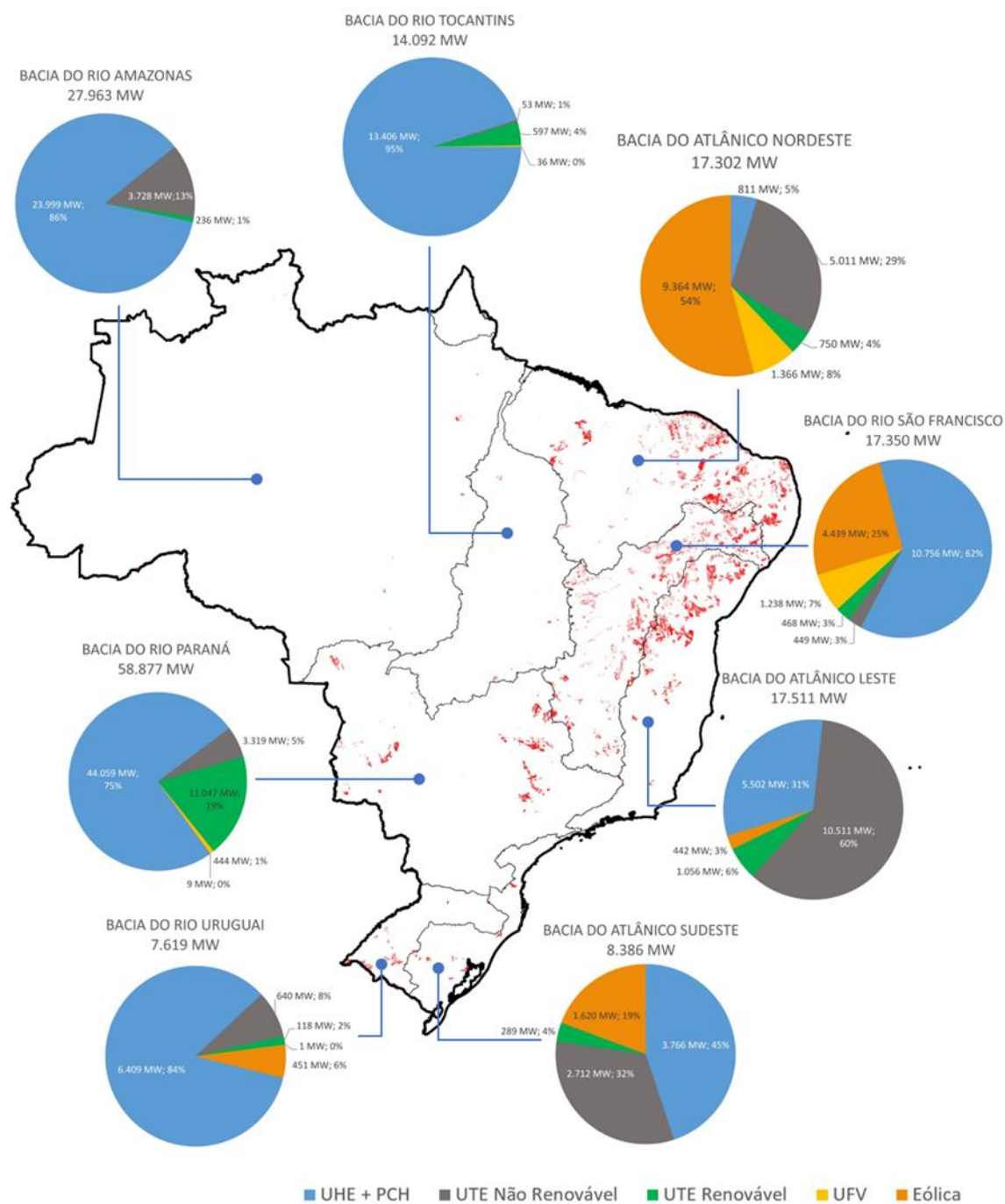


Figura 3 – Potência instalada por bacia hidrográfica (Fonte: MME/EPE, 2021)

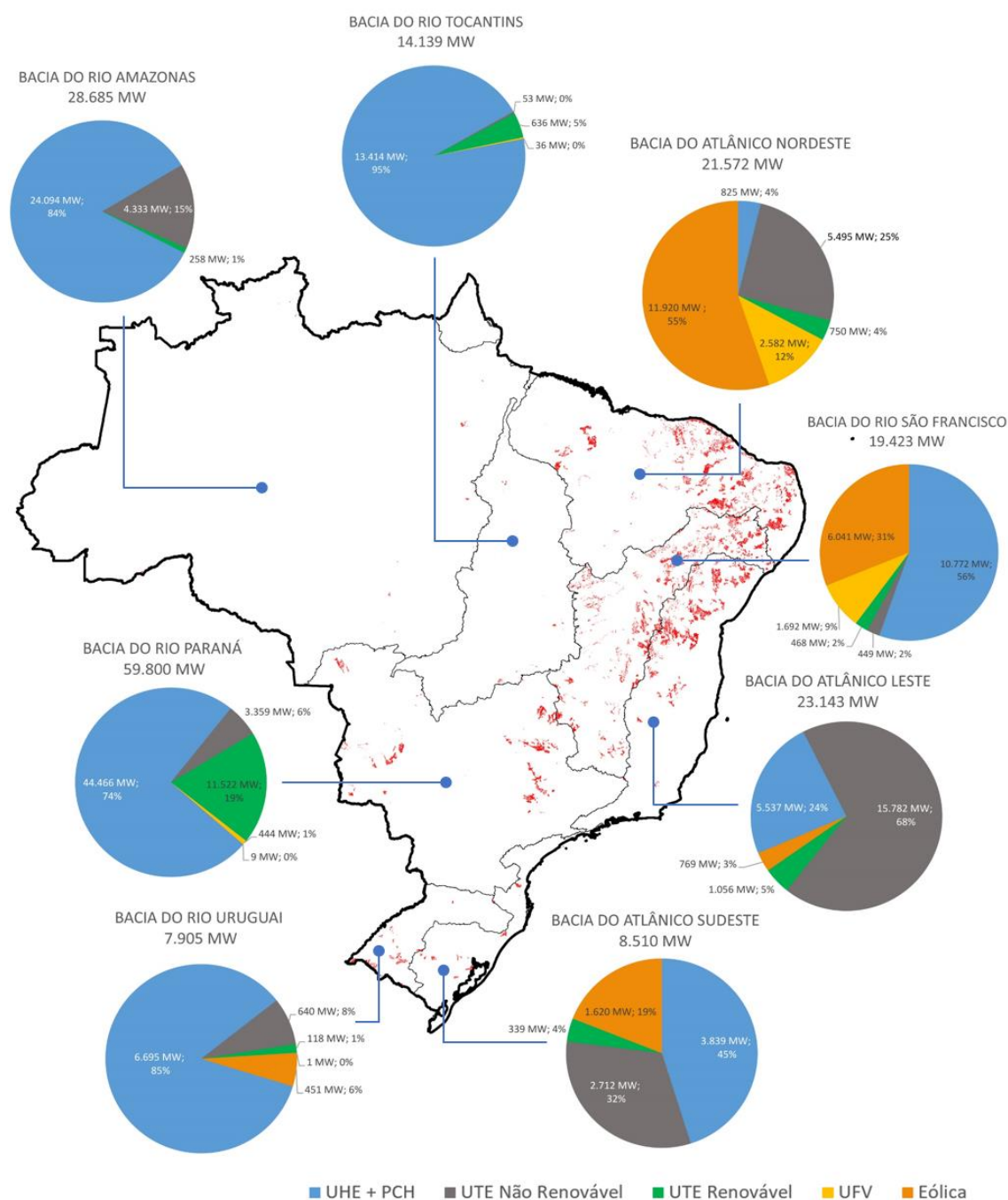


Figura 4 – Potência instalada e contratada por bacia hidrográfica (Fonte: MME/EPE, 2021)

A seguir são apresentadas as análises de potencial de recuperação florestal e vulnerabilidade por bacia hidrográfica.

A Bacia do Rio Paraná, composta por UHEs, PCHs e UTEs renováveis que somam 58.877 MW de potência instalada, é fundamental para o sistema elétrico brasileiro. Os mapas indicam regiões, principalmente na parte oeste da bacia, com balanço hídrico preocupante, crítico e muito crítico. Indicam também vulnerabilidade à erosão muito alta no centro sul, com repercussões negativas sobre os SEs prestados ao parque elétrico. As áreas selecionadas no mapa final indicam regiões cuja recuperação dos SEs trariam benefícios para o parque elétrico, e ainda contribuiria para os projetos já contratados, tanto de UTEs renováveis quanto de PCHs, que se instalarão próximos às regiões mais vulneráveis.

A Bacia do Rio Amazonas com 27.963 MW de potência instalada se encontra com níveis positivos de balanço hídrico e com média vulnerabilidade à erosão. De acordo com o conceito de “rios voadores”³, esta região se mostra vital para o regime de chuvas do Sul e Sudeste, regiões cruciais para o parque elétrico brasileiro. Trata-se, portanto, de uma bacia em que ações de conservação são mais importantes que ações de recuperação.

A Bacia do Atlântico Leste possui 17.511 MW de capacidade instalada, dividida basicamente entre as UTEs não renovável (60%) e hídrica (31%). A maioria das APCBs selecionadas se encontra ao norte e nesta bacia predomina indicadores de balanço hídrico preocupante, crítico e muito crítico e de erosão com maior concentração das classes muito alta e alta. Além da importância das áreas selecionadas para restauração e conservação dos SEs prestados ao parque existente, esta bacia tem grande importância na transição energética brasileira, na qual as UTEs agás natural terão um papel central, devido às suas características complementares às fontes eólica e solar. Quase toda a expansão contratada de UTEs no horizonte do PDE 2030 se concentra nesta bacia, com cerca de 5.000 MW (MME/EPE, 2021), inclusive com projetos na região norte da bacia, mostrando a dependência de um balanço hídrico sustentável já no curto prazo.

A bacia do Atlântico Nordeste tem 17.302 MW de potência instalada, sendo 55% de eólicas e 25% de UTEs não renovável. É a segunda bacia com maior expansão contratada de fontes eólica, solar e térmica para os próximos 5 anos. A região leste da bacia apresenta os piores indicadores em relação ao balanço hídrico e vulnerabilidade à erosão. E justamente nesta região se encontram as áreas mais relevantes para recuperação e conservação dos SEs.

A bacia do Rio Tocantins, com 14.092 MW instalados, sendo 95% destes de fonte hídrica, apresenta balanço hídrico preocupante, crítico e muito crítico. A vulnerabilidade à erosão se encontra sobretudo no extremo sul e extremo norte da bacia, sendo esta última onde também se encontra a maioria das APCBs selecionadas, representando áreas estratégicas para conservação dos ecossistemas. Em função da distribuição destes três atributos em regiões distintas, tomados como premissas nesta análise, poucas áreas foram selecionadas para recuperação dos SEs. O Quadro 2 (Diferença percentual das vazões médias ocorridas entre 2017 e 2019 nas bacias dos rios Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco) permite dimensionar os ganhos energéticos a partir de ações que recuperem o balanço hídrico da bacia, com destaque para a região centro-sul.

A Bacia do Atlântico Sudeste possui de 8.386MW de capacidade instalada, divididos principalmente entre as fontes hídrica, térmica e eólica. A região centro-sul desta bacia apresenta os piores indicadores de balanço hídrico (com partes na classe muito crítico e crítico) e de vulnerabilidade à erosão. Em função da dependência das fontes, a região centro-sul da bacia comporta as principais oportunidades de restauração e conservação dos SEs.

A Bacia do Rio Uruguai tem 6.409MW de capacidade instalada, dos quais 84% correspondem à fonte hídrica. Segundo MME/EPE (2021), a expansão prevista está localizada na região sul da bacia, o que ressalta a importância das ações de restauração de áreas degradadas e conservação da mata nativa. Além disto, a parte sul da bacia apresenta indicadores de balanço hídrico muito crítico, crítico e preocupante, sinalizando também maior potencial para ações de restauração. A região norte é mais vulnerável à erosão, com indicadores nas classes mais preocupantes (muito alta e alta), denotando a necessidade de ações de recuperação dos ecossistemas.

³ “O fluxo de umidade transportado pelos ventos alísios a partir do oceano Atlântico tropical se junta com a umidade reciclada e bombeada pela floresta amazônica por meio de correntes de umidade atmosférica que funcionam como artérias, circulando pela própria Amazônia, canalizada pelos Andes e levando esse fluxo de umidade para o sudeste da América do Sul, onde descarrega seu líquido vivificante”. (Marengo; Souza Jr, 2018 :8)

O Quadro 3 apresenta a síntese dos dados apresentados acima sobre a situação atual do parque elétrico, o estado de conservação das bacias hidrográficas e as recomendações para recuperação ou conservação dos SEs, indicando as áreas relevantes para o setor elétrico.

Quadro 4 – Síntese do estado de conservação, potência instalada e contratada e recomendações para recuperação ou conservação dos SEs

		Amazônica	Tocantins	São Francisco	Atlântico Nordeste	Atlântico Leste	Paraná	Uruguai	Atlântico Sudeste
Situação atual	Potência instalada (MW)	28.015	14.124	12.954	7.951	17.179	59.113	7.327	6.868
	Principais fontes	UHE	UHE	UHE; UFV	UTE-NR; UFV	UTE-NR; UHE; PCH	UHE; PCH; UTE-R;	UHE; PCH; UTE-NR	UHE; PCH; UTE-NR
	Estado de conservação + degradado (Figura 2 a e b)	BH: não há VE: não há	BH: centro sul VE: extremos Norte e Sul	BH: Oeste, Norte e Leste VE: cabeceira	BH: centro e leste VE: centro e leste; oeste	BH: centro e norte VE: centro e sul	BH: Nordeste e Oeste VE: Centro sul e Leste	BH:Sul VE: inteira	BH: Sul VE: Inteira
PDE 2030	Potência contratada (MW)	722	46	2.076	4.270	5.632	922	286	123
	Principais fontes	UTE-NR	UTE-R	EOL; UFV;	EOL; UFV; UTE-NR	UTE-NR	UTE-R; PCH	PCH; UHE	PCH; UTE-R
	Recomendação (Figura 2a, b e c)	Conservação: geral	Conservação: geral	Recuperação: Centro e Leste	Conservação: Oeste e Sul Recuperação: Centro e Leste	Conservação: Sul Recuperação: Norte	Recuperação: Oeste; Leste e Sul Conservação: Norte	Recuperação: Centro e sul	Recuperação: sul e centro
	Ponto de atenção	Provê água para outras bacias “rios voadores” ⁴	Produção de energia já sofre redução em função da vazão	Produção de energia já sofre redução em função da vazão	EOL, SOL e UTE-NR contratadas nas regiões mais degradadas ⁽¹⁾	Bacia importante na transição energética brasileira (UTE a gás para complementar EOL e SOL).	Bacia com maior potência instalada UTES e PCHs contratadas nas áreas mais degradadas ⁽¹⁾	Expansão contratada na parte já degradada da bacia	

Legenda:

BH: Balanço hídrico

VE: Vulnerabilidade à erosão

(1) Considerando as informações disponíveis no PDE 2030 (MME/EPE, 2021)

⁴(MARENGO; SOUZA 2018)

Oportunidades para o setor de energia elétrica

Considerando as interfaces entre os setores de energia com alta dependência dos SEs mais ameaçados (Quadro 4), é possível definir uma estratégia de investimento das empresas na preservação e/ou recuperação de áreas fundamentais para provisão desses serviços.

A combinação entre alta dependência e SEs ameaçados se configura numa alta vulnerabilidade para as empresas e sugere áreas prioritárias para o estabelecimento de mercados via PSA. Quanto maior a dependência de SEs ameaçados, maiores deverão ser os investimentos para mitigar os riscos de redução na oferta de energia.

De toda forma, como os mercados estabelecidos são voluntários, a decisão sobre o investimento, para que os grupos delimitados pela Lei (PNPSA) possam garantir o fornecimento dos SEs de uma determinada área, tem caráter estratégico. Se a empresa considera que esses investimentos terão retorno positivo no futuro, o PSA se mostrará viável e relevante para a continuidade do negócio. O retorno positivo ocorre tanto pelo melhor desempenho da empresa, quanto por evitar um pior desempenho.

Considerando essa premissa para a tomada de decisão, assim como o caráter voluntário para as modalidades de PSA, o PNPSA pode ser visto como uma oportunidade para empresas do setor de energia situadas nas áreas de dependência direta. Ao celebrar voluntariamente um contrato de PSA, a parte beneficiária reduz riscos econômicos, se torna menos vulnerável do ponto de vista ambiental e ainda contribui para a conservação do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2010. Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos: Manual do Usuário. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/coreg/manualdedrdh2013diretrizesparaestudoprognosticodequalidadedaagua.pdf>
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Mapa do Balanço Hídrico Quantitativo por microbacia, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/35f247ac-b5c4-419e-9bdb-dcb20defb1f4>. Acesso em: mar. 2021.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil. Brasília, 2017.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013–2015 / Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Brasília: ANA, 2018.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil / Agência Nacional de Águas. - 2A. ed. - Brasília: ANA, 2019.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Programa Produtor de Água. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua> Acesso em: jun. 2021a.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada - 2ª edição, 2021b.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações da Geração – SIGA. 2020. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br> Acesso em: set. 2020.
- ANEEL, 2021. Sistema de Informações de Geração - SIGA. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: mar. 2021.
- Arias, M.E.; Cochrane, T.A.; Lawrence, K.S.; Killen, T. J.; Farrell, T.A. 2011. Paying the forest for electricity: a modelling framework to market forest conservation as payment for ecosystem services benefiting hydropower generation. *Environmental Conservation* 38 (4): 473-484.
- Bangash, R. F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M. López, A., Elorza, F.J., Ziv, G., Açuña, V. Schuhmacher, M. 2013. Ecosystem services in Mediterranean river basin: Climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment* 458-460 (2013) 246-255.
- BBOP – Business and Biodiversity Offsets Programme. 2010. *Biodiversity offsets and the mitigation hierarchy: a review of current application in the banking sector*. 47p. Disponível em: https://www.unepfi.org/fileadmin/documents/biodiversity_offsets.pdf. Acesso em: 11 mar. 2021.
- Blue Energy Mechanism – BEM. Desenvolvido por The Global InnovationLab for ClimateFinance. Disponível em <https://www.climatefinancelab.org/project/blue-energy-mechanism/>. Acesso em: 02jul.2021.
- CAL FIRE - California Department of Forestry and Fire Protection. 2019. CAL FIRE NEWS RELEASE - CAL FIRE Investigators Determine Cause of the Camp Fire. Disponível em: https://www.fire.ca.gov/media/5121/campfire_cause.pdf. Acesso em: nov. 2021.
- Chiteka, K.; Arora, R.; Sridhara, S. N.; Enweremadu, C. C. A novel approach to Solar PV cleaning frequency optimization for soiling mitigation. *ScientificAfrican*, n. 8, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301976?via%3Dihub>. Acesso em: mar. 2021.

Costa, S. R.; Lima, L. L.; Luzia, G.; Gonçalves, A.R. Impactos das Mudanças Climáticas na disponibilidade futura do recurso eólico. XXII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE 2020a.

Costa, S. R.; Lima, L. L.; Luzia, G.; Gonçalves, A.R. Impactos das mudanças climáticas na disponibilidade do recurso energético solar. XXII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE 2020b.

Crook, J. A.; AL., E. Climatechangeimpactson future photovoltaicandconcentrated solar powerenergy output. Energy Environ. Sci., v. 4, p. 3101–3109, 2011.

EmbrapaSolos. Portal de Dados da Plataforma Tecnológica do PronaSolos. Mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil – 2019. Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/> Acesso em: mar.2021.

ENCORE. ExploringNatural Capital Opportunities, Risks and Exposure. <<https://encore.naturalcapital.finance/en/explore>>. Acesso em: mar. 2021.

EPE, 2020. Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2030. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>> Acesso em: mar. 2021.

Espécie, M.A.; Carvalho, P.N.; Pinheiro, M.F.B.; Rosenthal, V.M.; Silva, L.A.F.; Pinheiro, M.R.C.; Espig, S.A.; Mariani, C.F.; Almeida, E.M.; Sodré, F.N.G.A.S. (2019). Ecosystem services and renewable power generation: A preliminary literature review. Renewable Energy, 140: 39-51, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.076>.

FGVces. 2019. Diretrizes Empresariais de Valoração Econômica de Serviços Ecosistêmicos. Versão 3. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2019. 102p.

FGVces. 2018. Nota Técnica Aplicação das Diretrizes Empresariais para Valoração Econômica de Serviços Ecosistêmicos (DEVESE) e das Diretrizes Empresariais para valoração não econômica de Serviços Ecosistêmicos Culturais (DESEC) para hidrelétricas. Versão 1.0 – Fevereiro de 2018.

[Gasparatos, A. Stromberg, P. Takeuchi](#), K. Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: Putting biofuels in the ecosystem services narrative. [Agriculture, Ecosystems & Environment](#) Volume 142, Issues 3–4, August 2011, Pages 111-128.

GERLAK, A.K.; WESTON, J.; MCMAHAN, B.; MURRAY R.L.; MILLS-NOVOA, M. Climate risk management and the electricity sector. Climaterisk management, 9, pp. 12-22, 2018.

GIZ - Cooperação Trilateral Brasil-Alemanha, 2019. Serviços Climáticos no Brasil e o Setor de Linhas de Transmissão – Relatório de Avaliação de Base. Brasília, 2019.

GVces. Valoração Econômica de Serviços Ecosistêmicos Relacionados aos Negócios – Estudos de caso do ciclo 2015. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo: 2016. 41 p.

Hdidouan, D., Staffel, I., 2017. The impact of climate change on the levelised cost of wind energy. Renew. Energy 101, 575–592.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: abr. 2021.

IDB – 2020. Quadro de políticas ambientais e sociais. BID. 132p. Disponível em: <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-2131049523-11> Acesso em: 10mar. 2021.

INPE. Atlas brasileiro de energia solar. 2ª edição. São José dos Campos. INPE, 2017.

- International Hydropower Association, 2019. Hydropower Sector Climate Resilience Guide. London, United Kingdom.
- IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas. 2017. Atlas dos serviços ambientais do sistema Cantareira. 1 ed. São Paulo: Memnon Edições Científicas.
- Jong, P.; AL., E. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. *RenewableEnergy*, v. 141, p. 390-401, 2019.
- Lucena, A. F. P. et al. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. *Renewable Energy*, v. 35, n. 5, p. 904–912, 2010.
- MARENGO, J. A.; SOUZA Jr, C. “Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia”. Relatório técnico. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329466396_Mudancas_Climaticas_impactos_e_cenarios_para_a_Amazonia. Acesso em: 05/04/2021.
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and Challenges for Business and Industry*. World Resources Institute, Washington, DC. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.353.aspx.pdf> Acesso em: 09 mar. 2021.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Mapa das Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira – 2ª Atualização, 2018. Disponível em: <http://areasprioritarias.mma.gov.br/2-atualizacao-das-areas-prioritarias>. Acesso em: dez. 2019.
- MME/EPE - Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2021). Plano Decenal de Energia 2030. Disponível em: <www.epe.gov.br>.
- Monzoni, Mario; Hummel, Natalia Lutti; Camolesi, Thais; Lisbona, Phillippe; Alves, Luciana. 2018. *Serviçosecossistêmicos relacionados aos negócios: casos das empresas membro da iniciativa.Tendências em ServiçosEcosystemicos – Ciclo 2017*. São Paulo: GVces/EAESP-FGV. Disponível em: http://mediadrawer.gvces.com.br/publicacoes-2/original/cases_ciclo2017_tese_port_2.pdf . Acesso em: 22mar. 2021.
- NCFA - Natural Capital Finance Alliance; UNEP-WCMC - United Nations Environment World Conservation Monitoring Centre. 2018. *Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure: A practical guide for financial institutions*, UK. 27p. Disponível em: <https://www.unep-wcmc.org/system/comfy/cms/files/files/000/001/443/original/Exploring-Natural-Capital-Opportunities-Risks-and-Exposure.pdf> Acesso em: 11 mar. 2021.
- NCFA - Natural Capital Finance Alliance; PricewaterhouseCoopers. 2018. Integrating Natural Capital in Risk Assessments: A step-by-step guide for banks. (Geneva, Oxford and London).
- Pereira, E. B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. *Renewable Energy*, v. 49, p. 107–110, 2013.
- Rezaei, S. N., Chouinard, L., Langlois, S., e L'égeron, F. Analysis of the effect of climate change on the reliability of overhead transmission lines, *Sustainable Cities and Society*(2016). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.01.007>.
- Rycerz, R., Bugler W., Messling, L., and Wade, G. (2020) Itaipú Dam: How natural ecosystems support one of the world's largest hydroelectric dams. Resilience Shift Case Study.
- Sathaye JA, Dale LL, Larsen PH, Fitts GA, Koy K, Lewis SM, et al., 2011. Estimating impacts of warming temperatures on California's electricity system. *Energy* Submitted.
- Schaeffer, R., Szklo, A. S., de Lucena, A. F. P., Borba, B. S. M. C., Nogueira, L. P. P., Fleming, F. P., Troccoli, A., Harrison, M. & Boulahya, M. S., "Energy sector vulnerability to climate change: a review." *Energy* 38, no. 1 (2012): 1-12.

- Schaeffer, R., Lucena, A. F. P., Costa, I. V. L., Vásquez, E., Viviescas, C., Huback, V. 2019. Chapter 6: Climate Change and the Energy Sector in Brazil. Part of Springer Nature 2019 C. A. Nobre et al (eds), Climate Change Risks in Brazil.
- Schellemborg, G., Donnelly, C. R., Holder, C., Ahsan, R. 2017. Dealing with Sediment: Effects on Dams and Hydropower Generation. Hydro Review.
- T. Sarver, A. Al-Qaraghuli, L.L. Kazmerski, A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches, Renew. Sustain. Energy Rev. 22 (Jun. 2013) 698–733, doi: 10.1016/j.rser.2012.12.065.
- TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. 2012. The Economics of Ecosystems and Biodiversity in Business and Enterprise. Earthscan: London and New York. 213p. Disponível em: <http://www.teebweb.org/media/2012/01/TEEB-For-Business.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2021.
- UNEP FI - United Nations Environment Programme Finance Initiative; Global Canopy. 2020. *Beyond 'Business as Usual': Biodiversity targets and finance. Managing biodiversity risks across business sectors*. UNEP-WCMC, UK, 42 pp. Disponível em: <https://naturalcapital.finance/wp-content/uploads/2020/06/Beyond-Business-As-Usual-Full-Report.pdf> Acesso em: 11 mar. 2021.
- UNEP-WCMC - United Nations Environment World Conservation Monitoring Centre. 2017. *Mainstreaming of Biodiversity into the Energy and Mining Sectors: An Information Document for the 21st Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice (SBSTTA-21)*. UNEP-WCMC, Cambridge, United Kingdom. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/c/d9d0/7a53/95df6ca3ac3515b5ad812b04/sbstta-21-inf-09-en.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2021.
- Vieira, Rita M. da S. P. Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra – São José dos Campos: INPE, 2015.
- Watson, S. C. L; Newton, A.C. Dependency of Businesses on Flows of Ecosystem Services: A Case Study from the County of Dorset, UK. *Sustainability* 2018, v. 10, 1368. doi:10.3390/su10051368. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1368>. Acesso em: 09 mar. 2021.
- WCD – World Commission on Dams. 2000. Dams and development: a new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. London, Sterling: Earthscan Publishing. 404 p.
- WEF - World Economic Forum. 2021. *The Global Risks Report 2021*, 16th Edition, 97p. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf Acesso em: 12 mar. 2021.
- WRI – World Resources Institute; WBCSD – World Business Council for Sustainable Development; Meridian Institute. 2012. Diretrizes para Identificação de Riscos e Oportunidades Empresariais Decorrentes da Alteração dos Ecossistemas. Versão 1.0.

Apêndice I

Seleção de Políticas, Planos e Programas com interface com a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei 14.119/2021) e o setor de energia elétrica

Programa Floresta+	Portaria MMA n. 288 de 2/7/2021	Institui o Programa Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais - Floresta+
Programa Floresta + Bioeconomia	Portaria MMA n. 414 de 31/08/2021	Institui a modalidade Floresta+ Bioeconomia
Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas	Em elaboração pelo MDR (2021)	Define diretrizes e estratégias para viabilizar ações integradas de preservação, conservação e recuperação das bacias hidrográficas para promover o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais e o aumento da disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade, para os mais diversos usos.
Programa Águas Brasileiras	Lançado em 18/11/2021 pelo MDR, Mapa, MMA, MCTI e CGU em parceria com estados e municípios	O Programa tem o objeto de ampliar a quantidade e a qualidade da água disponível para consumo e para o setor produtivo, fomentando o desenvolvimento regional e qualidade de vida para a população. Uma das metas é atrair investimentos privados para projetos de recuperação e preservação de áreas degradadas nas principais bacias hidrográficas.
Plataforma Águas Brasileira	Lançamento em janeiro/2022	Ferramenta digital que fará a conexão entre projetos para revitalização de bacias hidrográficas e organizações e empresas que desejem apoiar essas iniciativas.
Plano Nacional de Segurança Hídrica	MDR e ANA lançaram em 11/4/2019	Define as principais intervenções em infraestrutura hídrica de natureza estratégica e relevância regional, necessárias para o abastecimento humano, para o uso em atividades produtivas e para melhorar a gestão dos riscos associados a eventos hidrológicos críticos.
Condicional da desestatização da Eletrobras	Lei 14.182 de 12/07/2021	Revitalização dos recursos hídricos das bacias do Rio São Francisco e do Rio Parnaíba, e área de influência dos reservatórios de Furnas.
Programa de Conversão de Multas Ambientais	Decreto n. 9760/2019	Prevê a conciliação ambiental sobre as autuações expedidas pelo Ibama e pelo ICMBio e define regras sobre a conversão do dever de pagar uma multa ambiental na obrigação de prestar um serviço ambiental.
Processo Administrativo de Seleção de Projetos	(PASP/Ibama)	
Política Nacional de Recuperação de	Decreto n. 8.972/2017	Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa - Proveg, dispõe sobre seus

Vegetação Nativa – Proveg		objetivos e diretrizes, estabelece seus instrumentos e define sua governança.
Plano Nacional de Recuperação Vegetação Nativa – Planaveg	Portaria Interministerial n. 230/2017	Visa ampliar e fortalecer políticas públicas, incentivos financeiros, mercados, tecnologias de recuperação, boas práticas agropecuárias e outras medidas necessárias para a recuperação da vegetação nativa, principalmente em áreas de preservação permanente - APP e reserva legal – RL.
Código Florestal	Lei n. 12.651/2012	Permite instituir programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, como pagamento ou incentivo a serviços ambientais (art. 41).