

# BJAS

v. 5 n. 2 (2023)  
e-ISSN: 2675-1712

**EDITOR-CHEFE**

Dr. Luciano Pires de Andrade  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR ASSISTENTE**

Dr. Wallace Rodrigues Telino Junior  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil*

**EDITORES SETORIAIS**

**AGROECOLOGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

PhD. Xavier Simón Fernandez  
*Universidade de Vigo – Espanha*

Dra. Werônica Meira de Souza  
*Universidade Federal do Agreste de  
Pernambuco – Brasil*

**CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS**

Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira  
*Universidade Federal de Pernambuco –  
Brasil*

**TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

Dra. Suzana Pedroza da Silva  
*Universidade Federal do Agreste de  
Pernambuco  
– Brasil*

**AMBIENTE E SOCIEDADE**

PhD. Manuela Abelho  
*Instituto Politécnico de Coimbra –  
Portugal*

PhD. Marta Alexandra dos Reis  
Lopes  
*Universidade de Coimbra - Portugal*

**EDITORES DE VERNÁCULO**

Dr. Oséas Bezerra Viana Junior  
*Universidade Federal Rural de  
Pernambuco – Brasil*

Dra. Izabel Souza do Nascimento  
*Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte – Brasil*

**EDITOR DE ESTATÍSTICA**

Dr. Romero Luiz Mendonça Sales Filho  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil*

**EDITORA DE NORMALIZAÇÃO**

MSc. Jaciara Maria Felix  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR DE LAYOUT**

Mário Melquiades Silva dos Anjos  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR ASSISTENTE JR**

Esp. Lucas Talvane Ferreira Carvalho  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

## SUMÁRIO

A exigibilidade do plano de emergência como instrumento de monitoramento e controle da poluição ambiental .....	4
<b>DOI:</b> <a href="https://10.52719/bjas.v5i2.6498">https://10.52719/bjas.v5i2.6498</a> .....	4
A importância de incentivos para diversificação das culturas energéticas no Brasil .....	33
<b>DOI:</b> <a href="https://10.52719/bjas.v5i2.6489">https://10.52719/bjas.v5i2.6489</a> .....	33
Análise Institucional Da Governança Das Águas Do Sistema Socioecológico Do Reservatório Epitácio Pessoa Para Adaptação À Variabilidade Climática Entre Os Anos De 2014 E 2018.....	63
<b>DOI:</b> <a href="https://10.52719/bjas.v5i2.6566">https://10.52719/bjas.v5i2.6566</a> .....	63
Padrões Espaço Temporais de Episódios de Secas na Microrregião de Barreiras-BA .....	94
<b>DOI:</b> <a href="https://10.52719/bjas.v5i2.6535">https://10.52719/bjas.v5i2.6535</a> .....	94
Vulnerabilidade Socioambiental a partir de uma Análise Espacial no Município do Recife (PE).....	118
<b>DOI:</b> <a href="https://10.52719/bjas.v5i2.6537">https://10.52719/bjas.v5i2.6537</a> .....	118

---

**ARTIGO**

---

**A exigibilidade do plano de emergência como instrumento de monitoramento e controle da poluição ambiental**

**The enforceability of the emergency plan as an instrument for monitoring and controlling environmental pollution**

Roberto Muhájir Rahnemay Rabbani<sup>1</sup>.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6498>

**Resumo**

Concentrando-se nas normativas relacionadas aos Planos de Emergência, o objetivo desta pesquisa é compreender e apresentar formas de fortalecer a capacidade de resposta do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), contribuindo com mecanismos eficazes de controle da poluição e degradação decorrentes de emergências ambientais. A metodologia baseou-se em uma revisão teórico-normativa e na análise documental a partir da práxis institucional. A pesquisa bibliográfica foi realizada em diferentes bases científicas, sendo os resultados em sua maioria datados a partir de 2014. A pesquisa documental utilizou como principais fontes os termos de referência emitidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), além de leis, decretos, instruções normativas e outros regulamentos relacionados com Planos de Emergência. Os resultados demonstraram que os acidentes com potencial de impactos ambientais ocorrem em variadas tipologias sujeitas ao Licenciamento Ambiental Federal (LAF); apontam para a existência de exigências legais específicas relacionadas aos Planos de Emergência apenas em algumas tipologias sujeitas ao LAF; e demonstram a existência de lacuna legislativa a ser suprida, no Brasil, por regulamento que o torne mecanismo obrigatório no LAF, visando otimizar a gestão de riscos ambientais. Conclui-se que, do sopesamento da lacuna legislativa com a boa prática do Ibama no que tange à gestão de riscos ambientais, impõe-se a regulamentação da exigibilidade do Plano de Emergência, por meio de instrumento normativo que regule as relações sociais envolvidas e que seja aplicável a todas as tipologias que envolvem risco ambiental.

**Palavras-chave:** Gestão de riscos. Licenciamento ambiental. Monitoramento. Sisnama.

---

<sup>1</sup>Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB. E-mail: [rabbani@csc.ufsb.edu.br](mailto:rabbani@csc.ufsb.edu.br).

## Abstract

Focusing on regulations related to Emergency Plans, the objective of this research is to understand and present ways to strengthen the response capacity of the National Environmental System (Sisnama), contributing to effective mechanisms for controlling pollution and degradation resulting from environmental emergencies. The methodology was based on a theoretical-normative review and documentary analysis based on institutional praxis. The bibliographical research was carried out on different scientific bases, with the results mostly dating from 2014. The documentary research used as its main sources the terms of reference issued by the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (Ibama), in addition to laws, decrees, normative instructions and other regulations related to Emergency Plans. The results demonstrated that accidents with potential environmental impacts occur in different types subject to Federal Environmental Licensing (LAF); point to the existence of specific legal requirements related to Emergency Plans only in some types subject to the LAF; and demonstrate the existence of a legislative gap to be filled, in Brazil, by regulation that makes it a mandatory mechanism in the LAF, aiming to optimize the management of environmental risks. It is concluded that, by weighing the legislative gap with Ibama's good practice regarding environmental risk management, it is necessary to regulate the enforceability of the Emergency Plan, through a normative instrument that regulates the social relations involved and that is applicable to all types that involve environmental risk.

**Keywords:** Risk management. Environmental licensing. Monitoring. Sisnama.

## Introdução

Os riscos ambientais estão presentes nas diversas atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e são gerenciados pelos órgãos ambientais, visando assegurar o direito constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. Os desastres ambientais são cada vez mais frequentes e fortes, sendo imprescindível criar e aperfeiçoar instrumentos jurídicos e políticos aptos a combater as ocorrências e os seus efeitos (Farias, 2022). O aumento no número de acidentes envolvendo produtos perigosos, nas diversas tipologias licenciadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), associado aos danos ambientais decorrentes dos desastres, exigem investimento em ações preventivas e corretivas, como por exemplo os Planos de Emergência (PE).

As ações preventivas são aquelas que devem ser realizadas para evitar que o desastre ocorra e objetivam neutralizar as ameaças, além de reduzir os riscos; as ações corretivas, por seu turno, visam minimizar os possíveis impactos que podem ser provocados pelo acidente (Pereira et al., 2020).

A Constituição Federal de 1988 (CF) e a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) estabelecem princípios, conceitos e mecanismos com o objetivo de preservar, melhorar e

recuperar a qualidade ambiental propícia à vida, para as presentes e futuras gerações. Neste sentido, por meio do licenciamento ambiental e lastreado em princípios, normas e regulamentos do campo do Direito Ambiental e, mais recentemente, do Direito dos Desastres, o Ibama realiza a gestão de riscos ambientais abrangendo as ações de preparação, prevenção, resposta e recuperação das áreas impactadas por acidentes ambientais.

No âmbito do Licenciamento Ambiental Federal (LAF) a gestão de riscos ambientais é baseada em três documentos, complementares e interdependentes: a Análise de Risco Ambiental (ARA), o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e o Plano de Ação de Emergência (PAE).

A ARA visa identificar as fontes de risco decorrentes da instalação e operação do projeto licenciado, bem como elencar as principais hipóteses acidentais e pontos vulneráveis, que possam potencializar os efeitos de um evento adverso com impacto ambiental. Hipótese, ou cenário acidental, é a descrição objetiva de cada um dos acidentes possíveis de ocorrer para o projeto que pleiteia uma licença ambiental. As hipóteses acidentais devem contemplar os riscos inerentes à instalação e à operação do empreendimento e/ou atividade.

A ARA possibilita a identificação de um número maior de cenários, além da identificação dos perigos existentes nas operações, nos produtos e nos processos químicos, facilitando a adoção de medidas de prevenção e mitigação de eventos que possam resultar em acidentes ou desastres ambientais (Melo, 2008). A Ara também tem por finalidade subsidiar o PGR e o PAE, devendo preferencialmente ser submetida a análise e, após aprovação da autoridade licenciadora do Sisnama, servir de base de informações para elaboração dos demais documentos (Ibama, 2018).

O PGR estabelece as orientações gerais e procedimentos de gestão com o escopo de prevenir acidentes, considerando todos os riscos identificados na Ara. O empreendedor compromete-se com a adoção de todas as medidas elencadas no Programa, tais como procedimentos operacionais e medidas preventivas, para cada risco identificado. O PGR acompanhará toda a vida útil do empreendimento, considerando o surgimento de novas tecnologias e considerando também a percepção social do risco – aquele risco tolerável hoje pode não o ser daqui há 10 anos.

O conteúdo mínimo do PGR, estabelecido pelo Ibama em Termos de Referência, engloba elementos como equipamentos, dispositivos e sistemas de segurança disponíveis; procedimentos de manutenção e conservação do projeto, com suas especificidades técnicas; medidas para redução da frequência de ocorrência de acidentes; campanhas educativas direcionadas à população do entorno do projeto licenciado; cursos e treinamentos envolvendo

equipe operacional de resposta, em relação ao PGR e ao PAE; registro e investigação de incidentes, visando prevenir reincidências da mesma natureza; auditorias ambientais periódicas e relatórios sistemáticos de acompanhamento do PGR (Ibama, 2018).

Ainda com todo esse rigor, há probabilidade que o gerenciamento de riscos falhe e ocorra um incidente com impactos ambientais. Na fase de resposta ao acidente, visando garantir a adoção de medidas eficazes para conter ou reduzir os danos ambientais, sobre os mais variados meios, aciona-se o PAE. Importa frisar que o Plano de Emergência é acionado na fase de resposta ao incidente, entretanto a sua concepção ocorre em fase anterior ao desastre, quando se trabalha a prevenção e gestão de risco, sendo fundamental que o PE já exista na fase de preparo do ciclo de desastres, que está relacionada com as ações de treinamento de todos os envolvidos na resposta ao evento (Pereira et al., 2020).

Para cada uma das hipóteses acidentais identificadas na Análise de Risco Ambiental (ARA), o PAE deverá descrever as ações de resposta que serão realizadas no âmbito da responsabilidade legal do empreendedor, obrigando-o a adotar todas as medidas necessárias para minimizar os impactos decorrentes de acidentes envolvendo a instalação e operação do projeto licenciado (Ibama, 2018).

Esta boa prática do Ibama pauta-se em regramentos estabelecidos, nacional e internacionalmente, em virtude das experiências suportadas pela humanidade, em decorrência de acidentes e desastres com consequências negativas sobre o meio ambiente. A origem dos eventos, natural ou antropogênica, diferencia os conjuntos normativos aplicáveis a cada caso, mas não interfere na necessária atuação do órgão ambiental, quando da ocorrência de incidente que venha a causar um dano, real ou potencial, ao meio ambiente.

Os desastres ambientais - enquanto eventos de causa natural, humana ou mista, capazes de comprometer as funções ambientais ou lesar interesses humanos mediados por qualquer alteração ambiental - constituem o ponto de intersecção entre o direito ambiental e o direito dos desastres (Carvalho, 2022).

Ocorre que a Resolução Conama nº 398/2008 disciplina o conteúdo mínimo para uma espécie de Plano de Emergência, que é o Plano de Emergência Individual (PEI), cuja definição encontra-se no seu art. 2º, XXII. O Pei é direcionado apenas para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em instalações de tipologias restritas, como por exemplo portos organizados, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas e clubes náuticos.

Desta forma, o Conama regulamentou a exigibilidade do PE, no âmbito do licenciamento ambiental, apenas para empreendimentos e atividades vinculadas ao setor

petroquímico. Em que pese a legislação sobre barragens estabelecer a obrigatoriedade de PE, é omissa em relação à sua exigibilidade no âmbito do licenciamento ambiental – assim como outras normas específicas e correlatas, como aquelas da restrita área nuclear.

Em sua boa prática, para todos os projetos sujeitos ao LAF, o Ibama requer a apresentação do PAE no bojo da gestão de riscos ambientais, por meio de Termos de Referência apresentados ao empreendedor, dando margem a uma situação de insegurança jurídica em função da atuação caso a caso estar sujeita a interferências de ordem subjetivas e mudanças repentinas, que podem gerar prejuízo ao planejamento institucional e empresarial.

A pesquisa acadêmica desenvolvida destaca a importância de suprir a lacuna normativa mediante uma regulamentação institucional que padronize a apresentação do PE pelo empreendedor e a sua aprovação pela autoridade licenciadora do Sisnama, consolidando a prática institucional e aprimorando a gestão de riscos ambientais no âmbito do licenciamento ambiental.

O licenciamento ambiental no Brasil é instituído de maneira simultânea ao Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), que tem como objetivo integrar as políticas públicas de proteção ambiental em um esforço de direção nacional, considerando a complementaridade da gestão ambiental em nível federal, estadual e municipal, com garantia de certa autonomia aos entes para atuar em suas respectivas regiões (Câmara, 2013).

Desde a sua instituição, com a edição da Lei nº 6.938/1981, as resoluções emanadas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) exercem papel preponderante na regulamentação do licenciamento ambiental e contribuem com a consolidação do Sisnama. Desta maneira, entende-se que a regulamentação legal da exigibilidade de PE deve ser feita por meio de Resolução emanada do Conama.

Por seu turno, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) é legalmente competente para propor ao Conama o estabelecimento de normas e padrões para implantação, acompanhamento e fiscalização do licenciamento ambiental, conforme disciplinado no artigo 11 da Lei 6.938/2008. O Ibama - órgão executor da PNMA e responsável pelo licenciamento ambiental federal - é autarquia de regime especial, dotada de autonomia administrativa e financeira, com personalidade jurídica de direito público, que foi criado no contexto de consolidação das bases institucionais para a gestão ambiental no Brasil (Câmara, 2013), por meio da Lei Federal nº 7.735/1989.

O potencial de dano ambiental decorrente do evento adverso justifica o interesse do Ibama na regulamentação, e as boas práticas do Instituto o legitimam a propor regramento ao Conama, onde foi identificada lacuna legislativa que dificulta concretamente a gestão

ambiental, a partir de uma autorreflexão e sistematização institucional que busca trazer vantagens na compreensão e sistematização da juridicidade atinente à gestão ambiental em um Estado Democrático que possui a obrigação de proteger o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Há de se destacar, entretanto, que o Conama não é obrigado a acatar a proposta do órgão ambiental federal, podendo ser rejeitada, modificada ou até mesmo substituída por normas e critérios diferentes, proposta por qualquer membro do colegiado (Farias, 2022).

O objeto de estudo que pauta a pesquisa aqui apresentada correlaciona a legislação ambiental e de desastres na gestão de riscos ambientais, sendo questão central da pesquisa responder à pergunta: “Existe lacuna na legislação brasileira sobre os Planos de Emergência (PE), e como contribuir para o aprimoramento da gestão de riscos ambientais?”. Para responder ao questionamento, foram elencadas as seguintes hipóteses a) a lacuna legislativa sobre PE é um dos fatores que limitam a efetividade na resposta aos desastres, ampliando o seu potencial de dano ambiental; b) proposta de regulamentação específica pode sanar as deficiências relacionadas à exigibilidade do PE no âmbito do LAF, com efetiva aplicação na gestão e prevenção de riscos ambientais, integrando as fases de prevenção e resposta ao acidente; c) a partir da análise do banco de dados de desastres ambientais de âmbito federal registrados no Sistema do Ibama, nos anos de 2006 a 2023, confirma-se que os acidentes com potencial de danos ambientais ocorrem de forma crescente, em todas as regiões do país, com origens variadas e em tipos de projeto em que não há exigibilidade legal para apresentação de PE ao Ibama, comprovando assim a necessidade de regulamentação do gestão de riscos ambientais.

O objetivo geral da pesquisa é, a partir de uma revisão teórico-normativa, contribuir para o fortalecimento da capacidade de resposta do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) no âmbito do LAF, em emergências ambientais, por meio da garantia legal da exigibilidade de Planos de Emergência aptos a reduzir, limitar ou mitigar os danos ambientais decorrentes de tais eventos, contribuindo assim para o aprimoramento da gestão e prevenção de riscos ambientais.

Para alcançar tal mister, estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar lacunas na legislação brasileira sobre os Planos de Emergência (PE), a partir de análise teórica-normativa;
- b) Avaliar a prática de gestão de riscos ambientais, a partir do licenciamento ambiental, no âmbito federal.
- c) Propor, a partir da trajetória de regulação e atuação do órgão ambiental federal, uma minuta de instrumento normativo para o aprimoramento da gestão de riscos ambientais.

O recorte metodológico comporta uma delimitação temporal que considera o registro no Ibama/Siema dos acidentes cadastrados a partir de 2006 e os resultados parciais estão apresentados neste artigo científico.

### **Material e métodos**

A pesquisa insere-se no campo das Ciências Ambientais e Sociais Aplicadas, com abordagem multidisciplinar, articulando um conjunto de saberes atinentes às ciências sociais e naturais. Devido às intercessões técnico-científicas de um estudo relacionado às questões ambientais, o texto tem um foco nas juridicidades, mas sem rechaçar a importância da análise das questões ambientais em suas diferentes compreensões pelas diversas áreas do conhecimento.

No intuito de atender a cada um dos objetivos específicos, o caminho metodológico demandou uma seleção e revisão de literatura, além da análise de documentos, cujo resultado parcial culminou neste artigo científico, que apresenta os resultados da revisão bibliográfica e pesquisa documental acerca do panorama normativo relacionado ao Plano de Emergência, analisando a narrativa dos principais acidentes e desastres ambientais, no mundo e no Brasil.

Apresenta-se a síntese da seleção e análise de documentos como decretos, leis, normas, termos de referência e regulamentações que estabelecem diretrizes, conteúdo e/ou obrigatoriedade do PE, bem como a síntese da gestão de riscos ambientais implementada pelo Ibama, concluindo pela necessidade de regulamentação acerca da exigibilidade do PE, no âmbito do Sisnama.

Em algumas áreas do conhecimento, como Direito, é corriqueiro que as pesquisas acadêmicas se lastreiem em fontes bibliográficas (Gil, 2017). Conforme Martins e Theóphilo (2016), a pesquisa bibliográfica é uma estratégia necessária à condução de toda pesquisa científica e objetiva conhecer, analisar e explicar um tema ou problema a partir de referências publicadas em livros, periódicos, revistas, enciclopédias, dicionários, jornais, sites, CDs, anais de congressos etc.

Gil (2017) complementa que a pesquisa bibliográfica é etapa preliminar de qualquer pesquisa acadêmica e objetiva consolidar a fundamentação teórica do trabalho, além de delimitar o estágio atual do conhecimento produzido sobre determinado tema.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em quatro etapas, conforme direcionado por Andrade (2010): na primeira etapa realizou-se em um levantamento de referências sobre o assunto-objeto de pesquisa, em plataformas abrangentes como Web of Science, Scopus, Scielo

e Google Acadêmico. Foram utilizados os seguintes termos de pesquisa, de forma combinada: “acidente ambiental”, “desastre ambiental”, “emergência ambiental”, “emergency action plan”, “environmental emergency response plan”, “environmental emergency”, “environmental licensing”, “gestão de riscos”, “licenciamento ambiental”, “plano de emergência”, “riscos ambientais”.

As referências selecionadas contemplaram trabalhos recentes e antigos, nacionais e internacionais. Categorizou-se os textos em termos de relevância, considerando que artigos de periódicos prevaleceram sobre artigos de anais de eventos; teses prevaleceram sobre dissertações e monografias; prevalência de livros técnicos (Andrade, 2010).

A segunda fase considerou este conjunto inicial de referências encontradas e contemplou uma pré-leitura, visando eliminar as publicações que não atendiam ao objetivo do estudo. Neste sentido, eliminou-se boa parte da literatura que versa sobre gerenciamento de riscos ocupacionais e normas de Segurança do Trabalho, por exemplo.

Na terceira fase, com leitura seletiva das obras restantes, eliminou-se referências que se mostraram irrelevantes para a pesquisa e, na quarta etapa, procedeu-se a uma leitura crítica, com maior profundidade, separando o que era indispensável daquilo que se mostrou complementar ou desnecessário. Na literatura relacionada ao Direito dos Desastres foi preciso adaptar conceitos, na medida do possível, para acidentes e emergências ambientais de menor amplitude, conforme atuação do Ibama.

A atuação do Ibama no que tange à gestão de riscos ambientais constitui o foco da pesquisa documental, uma vez que foram analisados os Termos de Referência emitidos pela autoridade licenciadora, com a exigência de apresentação do PE, no âmbito do LAF, para tipologias não abarcadas pela legislação *strictu sensu*, tais como Usina Termelétrica, Usinas Fotovoltaicas, Rodovias e Hidrovias (atividades de dragagem e derrocamento).

A pesquisa documental tem como fonte documentos em sentido amplo, cujo conteúdo caracteriza-se como matéria-prima, que ainda não passaram por tratamento analítico e a partir do qual a pesquisadora desenvolverá sua investigação e análise (Severino, 2014). No caso em tela os documentos analisados são os Termos de Referência emitidos pelo Ibama.

A partir de fichamentos e anotações, procedeu-se a redação da pesquisa. As anotações ocorreram de diversas formas, a depender da relevância da informação encontrada pois, segundo Andrade (2010), as anotações acadêmicas na fase de leitura que precede a escrita podem compreender resumos, análises, transcrições de trechos, interpretações, esquemas, ideias fundamentais expostas pelos autores, palavras-chave ou até mesmo apenas trechos grifados.

Dentre as técnicas utilizadas, foi dado destaque para a leitura dirigida e aplicação de roteiro para levantamento documental e sistematização de dados, bem como a sua análise e conclusões propositivas. A redação final demonstra a importância do PE para a prevenção e gestão de riscos ambientais, bem como as omissões normativas constatadas ao longo da pesquisa acadêmica em relação à exigibilidade do Plano de Emergência no LAF, concluindo que a regulamentação legal é medida que se impõe à sociedade de risco para, minimamente, fortalecer a capacidade de resposta do Sisnama.

A última etapa da pesquisa, em andamento, consiste em propor uma minuta de instrumento normativo, a ser apresentado ao Ibama visando o seu encaminhamento ao Conama, com o objetivo de regulamentar a exigibilidade do PE no LAF, sanando a lacuna legislativa aqui identificada. De acordo com Severino (2014), poder-se-ia então enquadrar a pesquisa na modalidade de pesquisa-ação, que visa, além de compreender, intervir concretamente na situação para modificá-la: “Assim, ao mesmo tempo que realiza um diagnóstico e a análise de uma determinada situação, a pesquisa ação propõe ao conjunto de sujeitos envolvidos mudanças que levem a um aprimoramento das práticas analisadas”.

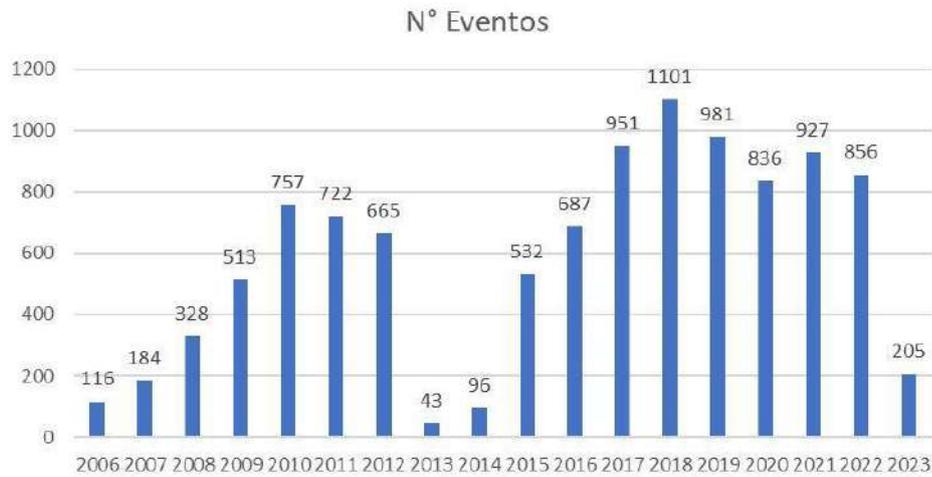
### **Resultados e discussão**

No que tange aos resultados, a pesquisa contribui com o controle e monitoramento da poluição, na medida que apresenta proposta concreta de aprimoramento da gestão de riscos para os empreendimentos e atividades sujeitos ao LAF, com impactos sociais no que tange à segurança jurídica dos mesmos e com impactos ambientais positivos em relação ao controle dos danos decorrentes de acidentes ambientais.

A degradação ambiental relacionada a emergências ambientais deve ser monitorada e combatida. No Brasil, os acidentes terrestres envolvendo o transporte de produtos perigosos, em rodovias e ferrovias, tem crescido continuamente (Viana, 2009); entre 1991 e 2010 o país registrou 31.909 ocorrências de desastres, catalogados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (Carvalho, 2022). Em relação aos acidentes com impacto na biodiversidade, entre 2006 e 2022, foram registrados junto ao SIEMA, 10.500 ocorrências, sendo que o ano de 2018 teve o maior registro, com 1.101 acidentes ambientais, conforme apresentado na Figura 1 a seguir.

Figura 1

Número total de acidentes ocorridos para cada ano entre os anos de 2006 e 2023.



Fonte: os autores

Historicamente a humanidade foi impactada por desastres ambientais de grande magnitude, com efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Os desastres ambientais resultam da interação, ao longo do tempo, de fatores políticos, econômicos, sociais e ambientais marcados por um estopim de evento - natural ou antrópico - com consequências expressivas em termos de danos ambientais, perdas patrimoniais, número de mortos ou feridos, além da lesão a direitos constitucionais, numa perspectiva intergeracional (Leitão, 2017).

A ocorrência de desastres com graves consequências negativas para o meio ambiente teve efeito catalisador para adoção de normas e procedimentos voltados para a segurança e gestão de risco dos empreendimentos, inclusive em relação ao Plano de Emergência (PE).

O desastre químico ocorrido na Índia (Bhopal, 1984), por exemplo, é reconhecido por provocar mudanças imediatas e irreversíveis na relação das indústrias químicas com a comunidade, bem como na natureza e extensão dos controles regulatórios em todo o mundo (Carvalho, 2007).

No âmbito europeu, o acidente químico ocorrido na cidade de Seveso, Itália, em 1976, implicou no vazamento de tetra clorodibenzo para dioxin (TCDD), também conhecida como dioxina (Damascena, 2015), ficou conhecido por sua magnitude e importância histórica, ao acelerar a exigência por uma regulamentação sobre segurança e gestão de risco nas indústrias.

A “Diretiva Seveso I”, posteriormente modificada pelas “Diretiva Seveso II” e mais recentemente, pela “Diretiva Seveso III”, impôs exigências aos estabelecimentos industriais de potencial de perigo ao meio ambiente, objetivando prevenir acidentes e danos ambientais

decorrentes de suas atividades e obrigando as empresas da então Comunidade Econômica Europeia (agora União Europeia) a adotar políticas preventivas (Thomé, 2016).

O sistema jurídico europeu regulamentou o Plano de Emergência como instrumento integrante da gestão de riscos para a indústria química e todas as atividades abarcadas pelas Diretivas de Seveso (I, II e III). A relevância do Plano de Emergência pode ser justificada pelo item 9 da DIRECTIVA 96/82/CE, que reconhece que os acidentes graves podem ter repercussões transfronteiriças, com custo ecológico e econômico não suportado apenas pelo empreendimento afetado, mas também pelos Estados-membros envolvidos, mostrando-se, por conseguinte, conveniente a adoção de medidas que assegurem um nível de proteção elevado em toda a União Europeia.

A legislação norte americana também foi fortemente influenciada por incidentes que impactaram negativamente os EUA, sendo aprimorada no sentido de fortalecer as diretrizes voltadas para preparação e prevenção aos desastres. O arcabouço jurídico norte americano consagra o Plano de Emergência como instrumento relevante para resposta qualificada aos acidentes e desastres ambientais, com destaque para a existência de normas específicas no âmbito da gestão de riscos tecnológicos.

O reconhecimento de falhas emergentes nas ações de preparo e de respostas identificadas nos eventos do furacão Katrina, e posteriormente, do furacão Sandy, foi determinante para que, no âmbito das alterações legislativas supramencionadas, a Fema fosse reestruturada e ampliasse sua capacidade para desenvolver adequadamente as ações de preparo, aliadas às necessárias ações de respostas aos desastres (Leitão, 2017).

A Federal Emergency Management Agency (Fema), agência federal do governo dos EUA responsável pela gestão dos desastres (naturais, tecnológicos ou por ato terrorista) foi criada em 1979, reunindo diversas competências administrativas como por exemplo aquelas relacionadas à prevenção de incêndios, aos seguros em situações de emergência, ao departamento de defesa civil, a assistência em caso de desastres, dentre outras (Leitão, 2017). A Fema tem capilaridade regional, estadual e local para auxílio imediato, constituindo-se no ápice da estrutura de desastres do Sistema Nacional de Gerenciamento de Incidentes (NIMS) (Damacena, 2015).

Ainda como reflexo do desastre terrorista de 11 de setembro, em 2011 o presidente Barack Obama editou o Presidential Policy Directive 8 (PPD-8) – estabelecendo uma política pública integrada para melhor coordenar o enfrentamento de riscos à segurança da nação, englobando desastres naturais, atos de terrorismo, ataques cibernéticos e epidemias (Leitão, 2017).

Em relação a aspectos globais para enfrentamento aos desastres, a Organização das Nações Unidas (ONU), entre o final do século XX e início do século XXI, realizou três conferências mundiais sobre o tema, em diferentes cidades do Japão, e que culminaram em importantes marcos regulatórios. A primeira delas ocorreu em 1994, em Yokohama, com participação dos Estados membros da ONU. A “Estratégia de Yokohama e o Plano de Ação para um Mundo mais Seguro” pode ser considerada uma das primeiras resoluções, no âmbito da ONU, integralmente voltada para o tratamento dos desastres (Leitão, 2017). Destaca-se que os bens jurídicos expressamente tutelados pela Declaração são a vida e a propriedade, sendo a proteção aos bens ambientais considerada como fator relevante para contribuir com a resistência e sobrevivência humana às catástrofes (Leitão, 2017).

Neste sentido, ganha relevância a ideia de incorporar ao licenciamento ambiental obrigações relativas ao financiamento de programas de infraestrutura voltada para a proteção de bens ambientais, que amplifiquem a resiliência da área potencialmente impactada pelo projeto. Esta medida deve integrar a gestão de riscos ambientais, com ênfase na prevenção do risco do desastre.

Em janeiro de 2005, na localidade de Hyogo, ocorreu nova conferência internacional sobre desastres visando, após onze anos, revisar o marco internacional de Yokohama, resultando no Marco de Ação de Hyogo (MAH). Neste documento ficou consolidado o deslocamento da preocupação mundial do desastre para o do risco de desastre e, assim, a questão da vulnerabilidade (na questão do gênero, idade, diversidade cultural etc.) ganhou bastante relevância (Leitão, 2017).

O MAH, adotado por 168 Estados-Membros das Nações Unidas, tem por objetivo geral aumentar a resiliência das comunidades e das nações em relação aos desastres, oferecendo cinco áreas prioritárias para subsidiar a tomada de decisões nos limites do desenvolvimento sustentável: a) prioridade para a redução dos riscos de desastres; b) conhecer os riscos e adotar medidas relacionadas ao seu controle c) ampliação da compreensão e conscientização; d) redução de riscos e; e) estar preparado e pronto para atuar (Carvalho & Damascena, 2013).

A regulamentação legal da gestão de riscos ambientais adotada pelo Ibama, no âmbito do licenciamento ambiental, favorece concretamente essa estratégia para redução de desastres, na medida que o EAR e o PGR permitem a identificação, avaliação, conhecimento e análise dos riscos inerentes ao projeto licenciado, além de prever adoção de medidas para o seu gerenciamento. Por seu turno, o Plano de Emergência permite que a comunidade potencialmente envolvida com o risco esteja apta para atuar, desde a primeira resposta, em eventual incidente.

Em 2015, em Sendai, objetivando reavaliar o avanço do Marco de Hyogo e definir novas estratégias para o período de 2015-2030, ocorreu a terceira conferência mundial sobre riscos de desastres, que resultou na Resolução A/69/L.67 da Assembleia Geral da ONU, denominada Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030. A cidade de Sendai foi escolhida para sediar a Conferência porque, em 2011, após ser impactada pelo desastre causado por um terremoto que abalou a região leste do Japão, demonstrou uma capacidade de pronta recuperação ao seu estado anterior (Leitão, 2017).

A partir da análise destas três normas internacionais, Leitão (2017) observa que houve uma mudança significativa na forma de atuação em desastres, uma vez que a prioridade deixou de ser nas ações de resposta e passou a considerar a importância das ações de prevenção. Entretanto, a autora ressalta que, apesar do maior enfoque nas ações de prevenção, não deixou de haver cuidado e exigência com as ações de resposta. Ademais, além das ações em prevenção e resposta, houve aprimoramento das medidas de resiliência – entendidas como forma eficiente de mitigar vulnerabilidades, reduzir exposição e melhor enfrentar os riscos de desastres.

A resiliência é, junto com a vulnerabilidade, fator transversal aos desastres, vinculada à capacidade de um sistema absorver choques sem grandes distúrbios, ou suportar variações inesperadas sem falha catastrófica. No contexto urbanístico, o legislador brasileiro elegeu o estímulo ao desenvolvimento de cidades resilientes e sustentáveis como um dos objetivos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (art. 5º, VI da Lei nº 12.608/2012). Há inclusive linhas de crédito estatais e programas voltados para implementação da resiliência em apoio a ações coordenadas pela ONU (Carvalho & Damacena, 2013).

É oportuno destacar que o Direito deve aderir ao desafio de garantir implantação de medidas que visem a redução das vulnerabilidades e que potencializem a resiliência das estruturas (Carvalho, 2022). Por seu turno, a infraestrutura (verde e construída) reduz o potencial de impactos de um desastre em duas vias: é capaz de atuar como bloqueio natural aos impactos de um desastre e, após o incidente, as estruturas poderão prover bens e serviços importantes para a recuperação física e econômica do local impactado (Carvalho & Damacena, 2013).

Neste sentido, no âmbito da gestão de riscos ambientais e visando potencializar a resiliência das áreas de influência do projeto licenciado, há de se pensar na possibilidade de incorporar ao Laf obrigações vinculadas ao financiamento de programas para manutenção econômica sustentável de estruturas, naturais e construídas, que possam tornar mais resiliente a área potencialmente impactada pelo empreendimento.

Avançar neste sentido é reconhecer que os investimentos em empreendimentos de infraestrutura sujeitos ao LAF possuem impactos interconectados, que não estão sendo adequadamente avaliados no âmbito do planejamento empresarial nem estatal, e negar este avanço é compactuar com uma sustentabilidade ambiental meramente retórica (Abramovay, 2022).

Em relação à legislação brasileira foram identificadas normas, regulamentos e princípios que fundamentam a exigibilidade do Plano de Emergência. O Conama regulamentou a exigibilidade de Planos de Emergência Individuais no âmbito do licenciamento ambiental, por meio da Resolução nº 398/2008, para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares. Note-se que a Resolução Conama nº 398/2008 tem abrangência limitada a um tipo de impacto (poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional) e não se aplica, assim como a Diretiva de Seveso III, a todas as tipologias de forma universal. A Resolução Conama não se aplica, por exemplo, a rodovias e ferrovias.

Importa destacar que a etapa de transporte de produtos perigosos constitui um risco ao meio ambiente, em caso de derramamento de tais produtos (Viana, 2009), sendo este tema especialmente sensível na área petrolífera, uma vez que a distribuição geográfica de suas reservas exige uma logística ágil e eficiente para transportar o óleo dos campos de produção às refinarias, petroquímicas, instalações de processamento em geral e ao consumidor final, envolvendo os modas dutoviário, ferroviário, fluvial, marítimo e rodoviário, sob condições adversas (humanas, ambientais e de materiais) que podem induzir a ocorrência de acidentes e, nestes casos, "são necessários planos de emergência que minimizem os impactos ambientais e socioeconômicos do episódio no menor espaço de tempo possível" (Martins et al., 2014).

Observa-se que, no que tange à possibilidade de poluição por óleo, e considerando a logística envolvida na cadeia produtiva do petróleo, diversos meios e ecossistemas estão expostos a impactos ambientais, sem estarem acobertados pela Resolução Conama nº 398/2008, como se imagina por exemplo em uma situação de acidente rodoviário envolvendo derramamento de carga de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). A situação mostra-se ainda mais alarmante quando se constata que a rodovia é o modal mais utilizado para o transporte de petróleo e derivados no Brasil, sendo que o GLP possui como via exclusiva de transporte a rodovia (Martins, 2014).

No Brasil, também é possível observar alterações legislativas diretamente relacionadas a desastres ambientais, cabendo destacar o acidente de Cubatão (1984), os acidentes vinculados

a barragem de rejeitos de mineração, ocorridos no estado de Minas Gerais, nos municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) e o desastre ambiental envolvendo mancha de óleo de origem desconhecida, que impactou o litoral brasileiro em 2019 e que influenciou diretamente na edição do Decreto 10.950/2022.

A década de 1980 foi marcada pelo acidente ocorrido em Cubatão (São Paulo), com vazamento de gasolina seguido de incêndio em um duto da Petrobras, resultando na morte de 99 pessoas. Ato contínuo, o Governo do Estado de São Paulo, através da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), regulamentou o “Programa de Prevenção e Gerenciamento de Riscos”, exigindo das empresas a realização de estudos de análise de riscos (EAR) e execução de Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR (Melo, 2008). Desde então, independentemente da implantação do PGR, o licenciamento ambiental no estado de São Paulo já exigia a apresentação de um Plano de Ação de Emergência – PAE (Melo, 2008).

No contexto do século XXI, a atividade minerária constitui-se como eminentemente geradora de impactos ambientais e, ao mesmo tempo, como atividade relevante na cadeia produtiva e grade de exportação do país (Rezende, 2016). Em intervalo de tempo inferior a quatro anos, o Brasil sofreu com as graves consequências das catástrofes ocorridas em Minas Gerais, sem que o Estado brasileiro tenha adotado mudanças rigorosas na gestão de riscos, aptas a agregar segurança à atividade minerária (Armada, 2021).

O rompimento da Barragem de Fundão, no distrito de Bento Rodrigues, liberou uma lama tóxica que impactou significativamente o Rio Doce, por 663,2 km, atingindo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, afetando negativamente mais de 40 municípios, causando a morte de 19 pessoas, destruindo 1.469 hectares, incluindo áreas de Preservação Permanente (APP), com graves danos à fauna e à flora (Silva, 2021). Esta catástrofe de Mariana é reconhecida como a maior do mundo em termos de volume de rejeitos despejados e distância percorrida pelos rejeitos de mineração, que atingiu o litoral do Espírito Santo, além de ter causado impactos ambientais de grande proporção nos ecossistemas terrestres, matas ciliares e mananciais, causando a morte de quantidades significativas de peixes e espécies endêmicas da fauna e da flora (Silva, 2020 & Armada, 2021).

Em janeiro de 2019 o estado de Minas Gerais foi impactado por outra catástrofe ambiental, com o rompimento da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, com o derramamento de 17,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos, espalhados por aproximadamente 295 hectares e fazendo 270 vítimas fatais (Silva, 2020).

A severidade dos impactos e a recorrência em curto espaço de tempo levou à alteração da legislação reguladora das barragens, com impacto no licenciamento ambiental e

exigibilidade de planos de emergência. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que contempla o Plano de Ação de Emergência (PAE), foi estabelecida pela Lei nº 12.334/2010. Em 2020, após os graves desastres ambientais ocorridos no estado de Minas Gerais, nos municípios de Mariana e Brumadinho, a legislação foi alterada significativamente, visando aprimorar os mecanismos de prevenção de desastres ambientais. O estado de Minas Gerais foi pioneiro, com a edição da Lei Estadual nº 23.291/2019 – replicada quase integralmente pela Lei Federal 14.066/2020. Conforme indicado por Pereira (2021), “percebe-se que as alterações foram importantes para a proteção da vida e bens com base nas experiências vivenciadas.”

O artigo 4º, inciso II da Lei nº 12.334/2010 consagra “o estímulo à participação direta ou indireta da população nas ações preventivas e emergenciais, incluídos a elaboração e a implantação do Plano de Ação de Emergência (PAE) e o acesso ao seu conteúdo”, como fundamento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

A sistemática legal estabelece que o PAE é instrumento da PNSB (art. 6º da Lei nº 12.334/2010) e parte integrante do Plano de Segurança da Barragem (art. 6º II e art. 8º, VII da Lei nº 12.334/2010). A PNSB também aborda o plano de emergência como instrumento operacional, que deverá ser mantido atualizado até a “desativação ou a descaracterização da estrutura” (art. 8º, § 3º da Lei nº 12.334/2010).

A exigibilidade legal do PAE é delimitada pelo art. 11 da Lei nº 12.334/2010, para toda barragem de acumulação ou disposição de rejeitos de mineração e, para as demais barragens, a depender de sua classificação quanto ao dano potencial associado e ao risco. A mesma lei, em seu art. 7º, atribuiu ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) a competência de estabelecer critérios gerais de classificação das barragens por categoria de risco, dano potencial associado e volume. O CNRH o fez por meio da Resolução 143/2012, in verbis: “Art. 3º. As barragens serão classificadas pelos órgãos fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos nesta Resolução”.

A regulamentação da exigibilidade de aprovação do Plano de Emergência pelo Ibama fortalece a atuação do órgão fiscalizador e tem ainda mais relevância em relação às barragens, uma vez que já foi verificado que a fragilidade no controle e na fiscalização da atividade minerária contribuem significativamente para a produção de desastres ambientais (Armada, 2021).

Por fim, destaca-se que apesar de todas estas exigências legais para melhor preparo das ações de resposta de um desastre ambiental, em 2019 a costa brasileira foi impactada por um derramamento de óleo cuja origem permaneceu desconhecida até o encerramento da

emergência, sendo que a situação vivenciada em 2019 pode ser considerada inédita no mundo uma vez que. “além de não ter o poluidor identificado, envolveu um grande volume de óleo, que ressurgiu de forma errática em diversos pontos da costa” (Inojosa, 2021). Em função das dificuldades enfrentadas para gestão de um desastre ambiental de significância nacional, sem identificação do poluidor-pagador, foi possível vivenciar omissões legislativas no que tange à atuação do Estado brasileiro em tais condições.

Assim, o Decreto 10.950/2022 altera o regulamento relativo ao Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional e estabelece novos conceitos voltados para a gestão ambiental. Em seu art. 21, inciso IV, o Decreto consagra o Plano de Emergência Individual para combate a incidentes de poluição por óleo como instrumento de gestão do Plano Nacional de Contingência (PNC).

Além das normas específicas identificadas no ordenamento jurídico brasileiro, é também possível identificar princípios ambientais que lastreiam a exigência do plano de emergência no âmbito do licenciamento ambiental, para todas as tipologias. Ante o aumento no número de acidentes testemunhados nos últimos anos, a gravidade dos danos ambientais deles decorrentes e a dificuldade enfrentada para recuperação ecológica, os princípios da prevenção e do poluidor-pagador impõem-se como premissa – porque as medidas preventivas devem ser adotadas como estratégia de sobrevivência da sociedade em face dos desastres ambientais, e porque o causador da poluição é legalmente responsável pelas medidas que visem evitar e reparar o dano ambiental que tiver dado causa.

Em matéria ambiental, a exigência de adoção de medidas preventivas é uma prática internacional, constatada em diversos instrumentos jurídicos, tais como no Princípio 16 da Convenção de Estocolmo (1972); no preâmbulo da Convenção da Basiléia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e Depósito (1989); no Tratado de Maastricht sobre a União Europeia (1992), que prevê a implantação do princípio da “ação preventiva, baseada na correção prioritariamente na origem”; no princípio 8 da Declaração do Rio de Janeiro (1992) e no preâmbulo da Convenção sobre Diversidade Biológica (1992) (Toledo et al., 2019, 67).

O Brasil ratificou dois diplomas internacionais que consagram o princípio da prevenção, quais sejam, a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nesse sentido, há uma convergência da legislação brasileira com muitas Constituições no mundo inteiro, que avançaram na proteção ecológica e consagraram a natureza preventiva em seus textos (Toledo et al., 2019), cf. Tabela 1.

Tabela 1

*Países que consagram o princípio da prevenção em seus textos constitucionais*

<b>País/Ano</b>	<b>Dispositivo constitucional</b>
África do Sul /1996	art. 24.2.1.
Áustria/1920	art. 10.1.13
Brasil/1988	art. 225, parágrafo 1º, I e II
Grécia/1975	art. 24.1
Portugal/1976	art. 66.2.a (poluição)
Suíça/1999	art. 76.3 (água) e art. 78.4 (fauna e flora)

Fonte: os autores

Além da CF, a legislação infraconstitucional brasileira também reconhece expressamente o princípio da prevenção. A Lei 12.305/2011 aponta a prevenção como princípio da Política Nacional de Resíduos Sólidos (art. 6º, I). A Lei 12.187/2009, da Política Nacional sobre Mudança do Clima, determina no art. 3º a observância do princípio da precaução. Há jurisprudência exarada pelo STJ (Superior Tribunal de Justiça), que reconhece o princípio da prevenção para evitar a concretização de dano ambiental (AgReg no REsp 1418795/SC, publicado em 07/08/2014) (Toledo et al., 2019).

No que tange à jurisprudência internacional, a origem do reconhecimento do princípio da prevenção deve-se a decisão emanada pela Corte Internacional de Justiça, no processo Gabcíkovo-Nagymaros (Hungria-Eslováquia), no qual a Corte determina a imposição da prevenção em função da frequente irreversibilidade dos danos ambientais e dos limites dos mecanismos de reparação (Toledo et al., 2019).

Constatada a consolidação da prevenção como princípio a nortear a gestão de desastres ambientais, resta evidenciar a juridicidade do princípio constitucional do poluidor pagador.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em 1972, recomenda, pela primeira vez, o Princípio do Poluidor Pagador como norma internacionalmente válida. Naquele contexto, o Princípio do Poluidor Pagador era determinar que empreendedores com potencial de degradação ambiental em sua produção fossem responsabilizados para custear o respectivo ônus ambiental, a fim de não afetar economicamente a população consumidora.

Conforme Rabbani (2017), as primeiras reivindicações para se acrescentar um custo para cada ação de degradação ambiental originaram-se em estudiosos e ativistas ambientais, que objetivavam aplicar um sistema de preços para cada produto do mercado visando recompor a destruição causada no processo produtivo.

Atualmente o princípio do poluidor pagador está consolidado na legislação brasileira, com alcance mais amplo do que aquele viés economicista. O princípio do poluidor pagador visa compelir o poluidor a custear a poluição causada e custear também aquela poluição que poderá vir a ocorrer (Machado, 2015). O princípio do poluidor pagador relaciona-se com a dimensão preventiva dos desastres ambientais e, subsidiariamente, com a dimensão da repressão e reparação do dano. (Bahia, 2006).

Tais princípios ambientais são utilizados para nortear a aplicação da legislação ambiental, especificamente em relação à Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA). A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e o Licenciamento Ambiental Federal (LAF) são instrumentos de gestão ambiental da PNMA que potencializam o manejo adequado da biodiversidade. Por meio deles é possível se avaliar, dentre outras coisas, os riscos ambientais inerentes a cada empreendimento.

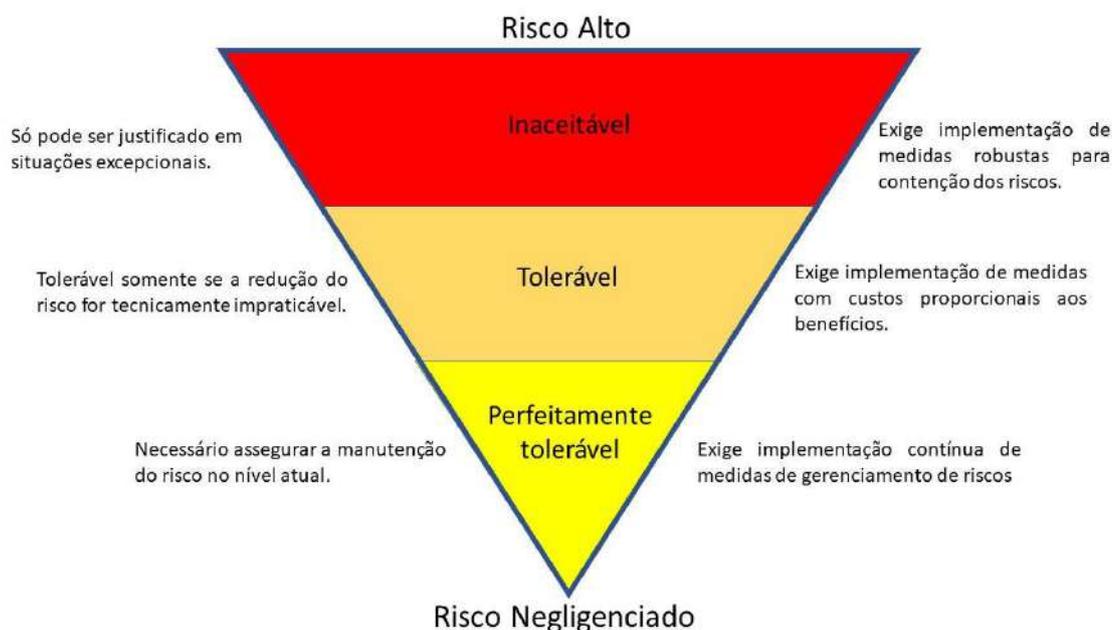
As atividades sujeitas ao LAF representam inerente perigo ao meio ambiente. A única maneira de tornar o risco nulo é suspensão total da atividade. Na prática, existe a necessidade de se adotar algum tipo de critério de aceitabilidade de riscos, do contrário não há como se tomar decisões relativas a investimentos em medidas para se aumentar a segurança de uma atividade/empreendimento.

Na perspectiva de gerenciar os riscos de um empreendimento sujeito ao LAF, estabelece-se um ponto de corte – critérios de aceitabilidade - entre riscos aceitáveis e riscos considerados inaceitáveis e intoleráveis. A decisão acerca da aceitabilidade do risco envolve critérios operacionais, financeiros, legais, sociais, humanitários dentre outros (Melo, 2008).

Para esta pesquisa, o risco tolerável é a condição em que existe um risco, cujas consequências são limitadas, em virtude da adoção de medidas minimizadoras, baseadas em condutas, técnicas de segurança e na experiência profissional dos envolvidos na cena da emergência. A Figura 2 demonstra a hierarquização dos critérios de aceitabilidade de riscos, considerando que projetos com riscos muito altos só deverão ser licenciados em situações excepcionais e mediante a implementação de medidas robustas para contenção dos riscos, além de investimentos em infraestrutura que aumentem a capacidade de resiliência da área potencialmente impactada pelo empreendimento. Na categoria de riscos toleráveis se enquadram aqueles projetos em que são adotadas todas as alternativas técnicas para a gestão de seus riscos, sendo exigível a implementação de medidas com custos proporcionais aos benefícios, em conformidade com PGR. No licenciamento ambiental de projetos com baixo risco, o PGR deverá exigir a implementação contínua de medidas de gerenciamento de riscos, visando assegurar a manutenção do risco no nível atual.

Figura 2

*Conexões entre aceitabilidade dos riscos e licenciamento ambiental*



Fonte: os autores

Por fim, no que tange ao potencial degradador de um desastre, importa destacar a Instrução Normativa nº 1, de 24 de Agosto de 2012 (IN nº 01/2012), do Ministério da Integração Nacional, que quantifica de maneira objetiva as variáveis envolvidas com o potencial de dano de um desastre, tais como o número de mortos e de pessoas afetadas, a quantidade de danos à infraestrutura, instalações públicas de saúde ou de ensino, de unidades habitacionais, níveis de poluição ou contaminação do meio ambiente, comprometimento do abastecimento de água e destruição de áreas preservadas (Leitão, 2017).

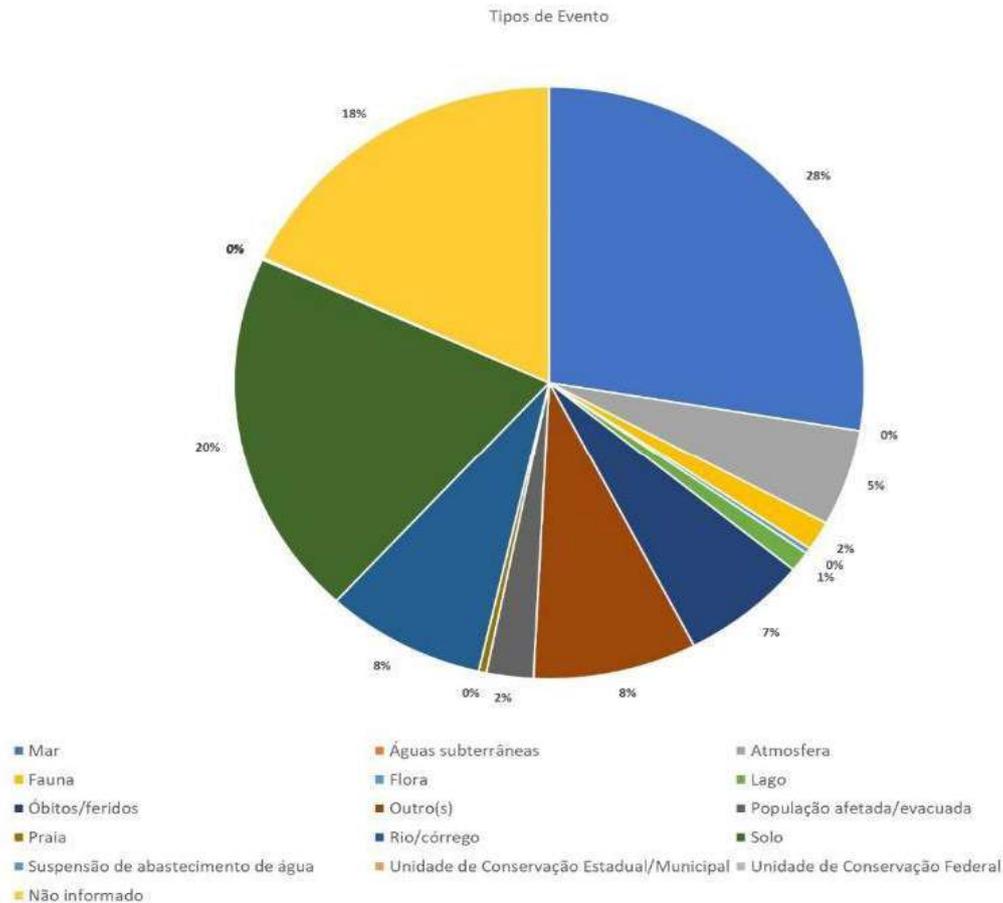
A IN nº 01/2012 categoriza o dano em três dimensões: danos humanos, danos materiais e danos ambientais. Os danos ambientais são contabilizados considerando a poluição e a contaminação recuperável em médio e longo prazo do ar, da água ou do solo, com prejuízos a saúde e o abastecimento da população; afetação, por diminuição ou exaurimento a longo prazo da água, prejudicando o abastecimento da população; e a destruição de Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais.

Buscou-se contextualizar a norma com a situação fática de emergências ambientais no Brasil. Neste sentido, a Figura 3 indica os ambientes atingidos por acidentes ambientais ocorridos entre os anos de 2006 e 2023 e registrados no SIEMA, evidenciando a ocorrência de danos nas três dimensões: danos humanos, danos materiais e danos ambientais. O número de ocorrências indica o impacto em ambientes marinhos, costeiros, lacustres, rios e águas subterrâneas, além de danos à fauna e à flora, contaminação atmosférica e do solo. Há registro

de impactos em unidades de conservação (federal, estadual e municipal), população afetada/evacuada e suspensão de abastecimento de água.

Figura 3

*Número total de acidentes por ocorrências/ambientes atingidos ocorridos entre os anos de 2006 e 2023.*



Fonte: os autores

O ambiente marinho mostra-se o mais impactado, com mar e praias atingidos em 28% dos incidentes. O segundo meio mais impactado por acidentes ambientais é o solo, atingido em 20% das ocorrências. No que tange à contaminação de recursos hídricos, águas subterrâneas, lagos, rios e córregos juntos foram atingidos em menos de 10% dos incidentes. A população foi afetada, dentre outros fatores, por suspensão do abastecimento de água e por evacuação forçada. Em 6,5% dos acidentes, há registro de óbitos e feridos.

### Conclusões

Os desastres contemporâneos, sob forte influência das mudanças climáticas, se refletiram nas mais recentes regulamentações da ONU sobre desastres, com destaque para o Marco de Hyogo - que estabelece as estratégias a serem adotadas pelos países membros, no período de 2015-2030. O centro gravitacional do tratamento dos desastres se deslocou para a prevenção do risco do desastre, com forte consideração dos conceitos de resiliência e vulnerabilidade como elementos necessários à gestão de riscos.

No intuito de propor uma atualização legislativa, que visa aprimorar a gestão de riscos ambientais, a partir das boas práticas conduzidas pela autoridade licenciadora do Sisnama na esfera federal no que tange aos planos de emergência, este artigo demonstra que, até os dias atuais, o arcabouço jurídico-normativo relacionado a emergências ambientais tem sido aprimorado a partir da experiência da humanidade com as gravosas consequências dos eventos.

Foi demonstrado que o Plano de Emergência é um documento operacional que integra a gestão de riscos no âmbito do licenciamento ambiental e que tem potencial de limitar ou reduzir danos decorrentes de acidentes ou desastres. Observou-se que o Plano de Emergência possui regulamentação legal expressa, nacional e internacionalmente, entretanto, a pesquisa acadêmica constatou que os regulamentos são restritos a alguns tipos de projeto e que são, na absoluta maioria das vezes, omissos em relação à sua exigibilidade no âmbito do licenciamento ambiental.

A gestão de riscos ambientais coordenada pelo Ibama no âmbito do licenciamento ambiental pauta-se em estratégias alinhadas com os marcos do direito europeu e norte americano, ao contemplar estudos que identificam os riscos para cada empreendimento licenciado e, a partir daí, exige que sejam estabelecidas medidas para gerenciar os riscos ambientais, ou seja, estratégias que atuam bem antes do desastre, na fase de preparação e prevenção ao risco de desastre. E considerando concretamente a possibilidade do acidente ocorrer, exige-se ainda a elaboração prévia de um Plano de Emergência que contemple medidas efetivas para contenção e redução do dano ambiental nas estratégias de resposta.

O objeto de estudo que pauta a pesquisa aqui desenvolvida correlaciona a legislação ambiental e de desastres na gestão de riscos ambientais, tendo a pesquisa respondido à questão central ao comprovar que existe lacuna na legislação brasileira acerca da exigibilidade do Plano de Emergência no âmbito do licenciamento ambiental e, neste sentido, a forma identificada para contribuir para o aprimoramento da gestão de riscos ambientais é suprir esta lacuna por meio de uma proposta de norma ambiental disciplinado a matéria, em conformidade com a boa prática de gestão de riscos ambientais já executada pela autoridade licenciadora do Sisnama em âmbito federal.

A identificação da relevância do plano de emergência enquanto estratégia obrigatória de resposta, consubstanciada em instrumentos normativos internacionais e nacionais, aliada a concepção contemporânea de que o plano de emergência integra também as estratégias de preparação e prevenção a desastres, na forma em que é tratado na gestão de riscos ambientais executada pelo Ibama, confirma a hipótese de que a lacuna legislativa sobre PE é um dos fatores que limitam e efetividade na resposta aos acidentes e desastres, ampliando o seu potencial de dano ambiental.

O artigo contribui com o alcance do objetivo geral da pesquisa que é, a partir de uma revisão teórico-normativa, fortalecer a capacidade de resposta do Sisnama no âmbito do LAF, em emergências ambientais, por meio da garantia legal da exigibilidade de Planos de Emergência aptos a reduzir, limitar ou mitigar os danos ambientais decorrentes de tais eventos, contribuindo assim para o aprimoramento da gestão e prevenção de riscos ambientais.

Para alcançar tal mister, por meio deste artigo alcançou-se os objetivos específicos de identificar lacunas na legislação brasileira sobre Plano de Emergência, a partir de análise teórica-normativa e atingiu-se o objetivo específico de avaliar a prática de gestão de riscos ambientais, a partir do licenciamento ambiental, no âmbito federal.

## Referências

- Abramovay, R. (2022). *Infraestrutura para o desenvolvimento sustentável da Amazônia*. Editora Elefante.
- Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2004). *Resolução nº 420 de 12 de fevereiro de 2004*. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.  
[http://www.cetsp.com.br/media/20041/resolucao420\\_v3\\_20080123.pdf](http://www.cetsp.com.br/media/20041/resolucao420_v3_20080123.pdf)
- Andrade, M. M. (2000). *Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação*. Editora Atlas SA.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15219: plano de emergência contra incêndio*. <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/24410/nbr15219-plano-de-emergencia-requisitos-e-procedimentos>
- Beck, U. (2015). *Sociedade de risco mundial: em busca da segurança perdida*. Leya.
- Bahia, C. M. (2006). *Princípio da Proporcionalidade: nas manifestações culturais e na proteção da fauna*. Jurua Editora.
- Brasil. Diário Oficial da União. (2002). *Decreto nº 4.085 de 15 de janeiro de 2002*. Promulga a Convenção nº 174 e a Recomendação nº. 181 da OIT, sobre Prevenção de Acidentes Industriais Maiores. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4085.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4085.htm)
- Câmara, J. B. D. (2013). Governança ambiental no Brasil: ecos do passado. *Revista de sociologia e política*, 21, 125-146. <https://doi.org/10.1590/S0104-44782013000200008>
- Carvalho, D. W. (2022). Bases estruturantes da política nacional de proteção e defesa civil a partir de um Direito dos Desastres. In P. Sarava Neto, & P. B. Forte Junior (Coords.). *Estudos multidisciplinares sobre o direito dos desastres*. Livraria do Advogado.
- Carvalho, D. W., & Damacena, F. D. L. (2013). *Direito dos desastres*. Livraria do Advogado.

- Carvalho, E. N. (2007). *Uma revisão crítica do emprego de bancos de dados de falhas em análises probabilísticas de segurança de plantas nucleares e químicas* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro].  
<https://www.nuclear.ufrj.br/index.php/es/produccion-academica/maestria/2023/171-producao-academica/dissertacoes/dissertacoes-2007/1558-uma-revisao-critica-do-emprego-de-bancos-de-dados-de-falhas-em-analises-probabilisticas-de-seguranca-de-plantas-nucleares-e-quimicas>
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1999). *Programa de gerenciamento de riscos nos terminais químicos e petroquímicos da Baixada Santista*.  
<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/09ef566d-71dd-408a-8faa-c3423b8aa27a>
- Council Directive. (1982). Council Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities. *Official Journal of the European Communities* n° L 230 of 5 August 1982.
- Council Directive. (1996). Council Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards. *Official Journal of the European Communities* N° L 10 of 14 January 1996.
- Council Directive. (1996). Council Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards. *Official Journal of the European Communities* N° L 10 of 14 January 1996.
- Damacena, F. D. L. (2015). A governança dos desastres ambientais no direito comparado norte-americano e europeu. *Revista de Informação Legislativa*, 52(208), 303-319.
- Diniz, F., Oliveira, L. F., Bardy, M., & Visco, N. (2006). *Conceitos Fundamentais, Formas de Expressão e Critérios de Aceitabilidade de Riscos: módulo 1 - apostila do Curso sobre Análise Riscos e Programa de Gerenciamento de Riscos*. Det Norske Veritas.
- Farias, P. J. L. (2014). Competência comum e o federalismo cooperativo na subsidiariedade do licenciamento ambiental: avanços da Lei Complementar n° 140/2012 na proteção do meio ambiente. *Revista de Informação Legislativa*, 51(203), 39-51.  
<https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/172542>

- Farias, T. (2007). Da licença ambiental e sua natureza jurídica. *Revista Eletrônica de Direito do Estado (REDE)*, (9).
- Farias, T. (2022). *Licenciamento ambiental: aspectos teóricos e práticos*. Editora Forum.
- Farias, T. (2022). *Prefácio a estudos multidisciplinares sobre o direito dos desastres*. In P. Saraiva Neto & P. B. Forte Júnior (Coords.). Livraria do Advogado.
- Federal Emergency Management Agency. (2023, March 23). *Disasters & Assistance*.  
<https://www.fema.gov/disaster>
- Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. Atlas.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2022).  
*Operações Ship-to-Ship*. <https://www.gov.br/Ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/petroleo-e-derivados/operacoes-ship-to-ship>
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2018). *Termo de referência de rodovias*.  
<https://www.Ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=130345>
- Inojosa, F. C. P. (2023, June 03). *Um derramamento de óleo e os desafios para a proteção da Amazônia Azul*. <https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/um-derramamento-de-oleo-e-os-desafios-para-protecao-da-amazonia-azul>
- Leitão, M. P. (2017). *Desastres ambientais, resiliência e o direito* [Tese de Doutorado em Direito Civil, Universidade de São Paulo].  
[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2131/tde-26022021-165005/publico/4946490\\_Tese\\_Parcial.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2131/tde-26022021-165005/publico/4946490_Tese_Parcial.pdf)
- Machado, P. A. L. (2015). *Direito ambiental brasileiro*. Malheiros.

Martins, G. A., & Theóphilo, C. R. (2016). *Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas*. Atlas.

Martins, P. T. A., Riedel, P. S., Milanelli, J. C. C., & Sturaro, J. R. (2014). Carta de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em rodovias: aplicação piloto na estrada dos Tamoios (SP-099), Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Cartografia*, 66(1), 59-74.  
<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/43896/23160>

Melo, C. V. A. (2008). *Metodologia para o gerenciamento de situações emergenciais* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco]. Repositório:  
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5183>

Mendonça, F. (2021). *Riscos híbridos*. Oficina de Textos.

Occupational Safety and Health Administration. (2001). *How to Plan for Workplace Emergencies and Evacuations: OSHA 3088*. Department of Labor Occupational. Occupational.  
<https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3088.pdf>

Pereira, F. G., Firme, P. H. C., & Cotta, J. P. V. (2021). Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões. *Territorium*, 28 (1), 53-66.  
[https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-1\\_4](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-1_4)

Ministério do Meio Ambiente. (2023, Abril 22). *Plano nacional de prevenção, preparação e resposta rápida a emergências ambientais (P2R2)*.  
[https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_p2r2\\_1/\\_arquivos/proposta\\_do%20\\_P2R2.pdf](https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sqa_p2r2_1/_arquivos/proposta_do%20_P2R2.pdf)

Rabbani, R. M. R. (2017). O poluidor-pagador: uma nova análise de um princípio clássico. *Revista Direito, Estado e Sociedade* (51), 195-224.

Rezende, V. L. (2016). A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. *Sociedade & Natureza*, 28, 375-384. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304>

Ribeiro, J. C. J., Toledo, A. D. P., & Thomé, R. (2019). *Acidentes com barragens de rejeitos de mineração e o princípio da prevenção*. Lumen Juris.

Severino, A. J. (2014) *Metodologia do trabalho científico*. Cortez.

Silva, M. F. (2021). Análise espacial dos impactos socioambientais provocados pelo rompimento de duas barragens de rejeitos de mineração: Fundão, na cidade de Mariana e Córrego do Feijão, no município de Brumadinho (Minas Gerais–Brasil). *Territorium*, 28 (1), 67-92. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_28-1\\_5](https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-1_5)

Thomé, R. (2016). *Manual de Direito Ambiental*. Juspodivm.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2023, March 30). *Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction: Disaster*. <https://www.undrr.org/terminology/disaster>

### **Agradecimentos**

Ao Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais e Renováveis (Ibama) e ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Sul da Bahia e do Instituto Federal da Bahia, campus Porto Seguro, pelo fomento à realização desta pesquisa.

ARTIGO

---

**A importância de incentivos para diversificação das culturas energéticas no Brasil**

**The importance of incentives to diversify energy crops in Brazil**

Allívia Rouse Carregosa Rabbani<sup>1</sup>; Thyane Viana da Cruz<sup>2</sup>; Roberto Muhájir Rahnemay Rabbani<sup>3</sup>.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6489>

**Resumo**

O aumento das médias globais de temperatura, os eventos climáticos extremos e a degradação ambiental são desafios primordiais enfrentados pelo Brasil e pelo mundo. Para promover a independência energética regional e mitigar os impactos regionais e globais das mudanças climáticas, os governos estão buscando alternativas que atenuem esses efeitos no planeta. Dentre uma das alternativas, destacam-se os biocombustíveis, associados à produção de carbono neutro, obtidos a partir de matérias-primas orgânicas, como as culturas energéticas. Há diversos debates sobre a forma de exploração dessas culturas e um dos pontos levados em consideração é a baixa diversidade de espécies utilizadas. Isto porque algumas delas podem não ser adequadas, devido ao seu ciclo de produção e rendimento. Inclusive, uma linha de pesquisadores defende a diversificação dessas culturas. Sendo assim, o objetivo deste artigo é analisar a importância de ampliar o uso de espécies de culturas energéticas, já que no Brasil, o número de espécies utilizadas em larga escala para a produção de bioenergia é reduzido (quais sejam, cana-de-açúcar, soja, milho e eucalipto), e é importante reconhecer que há desafios para a pluralização das espécies. Entre os problemas enfrentados estão o tempo entre o estímulo à pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a produção e a transformação da biomassa; a implementação de políticas públicas adequadas; a superação de barreiras econômicas; e o apoio do setor agrícola e florestal. Nesse contexto, a adoção de políticas de incentivo, a promoção de investimentos em inovação e o engajamento da sociedade são passos fundamentais nesta jornada.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Etanol. Produção. Espécies. Bioenergia.

---

<sup>1</sup> Instituto Federal da Bahia – IFBA. E-mail: [alliviarouse@hotmail.com](mailto:alliviarouse@hotmail.com).

<sup>2</sup> Instituto Federal da Bahia – IFBA. E-mail: [thyvc@yahoo.com.br](mailto:thyvc@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB. E-mail: [robertorabbani@gmail.com](mailto:robertorabbani@gmail.com).

## Abstract

The increase in global average temperatures, extreme weather events, and environmental degradation are primary challenges faced by Brazil and the world. To promote regional energy independence and mitigate the regional and global impacts of climate change, governments are seeking alternatives that attenuate these effects on the planet. Among the options, biofuels stand out as they are associated with carbon-neutral production, obtained from organic raw materials such as energy crops. There are several debates about the exploitation of these crops, and one of the points raised is the low diversity of species used, as some of them may not be suitable due to their production cycle and yield. A group of researchers advocates for the diversification of these crops. Therefore, the objective of this article is to consider the importance of expanding the use of energy crop species. In Brazil, the number of species used on a large scale for bioenergy production is limited (sugarcane, soybean, corn and eucalyptus), and it is important to recognize that there are challenges to this pluralization. Among the problems faced are the time between research incentives and the development of efficient technologies for biomass production and transformation; the implementation of appropriate public policies; overcoming economic barriers; and support from the agricultural sector. In this context, the adoption of incentive policies, the promotion of investments in innovation, and the engagement of society are fundamental steps on this journey.

**Keywords:** Biodiesel. Ethanol. Production. Species. Bioenergy.

## Introdução

A busca por fontes de energia sustentáveis tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada pelas preocupações com as mudanças climáticas e a dependência de combustíveis fósseis. Dentre estas energias estão os biocombustíveis, que são obtidos a partir de matérias-primas biológicas, que têm se destacado como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais, na substituição total ou parcial dos combustíveis fósseis, e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) (Næss et al., 2023 & Watanabe et al., 2023).

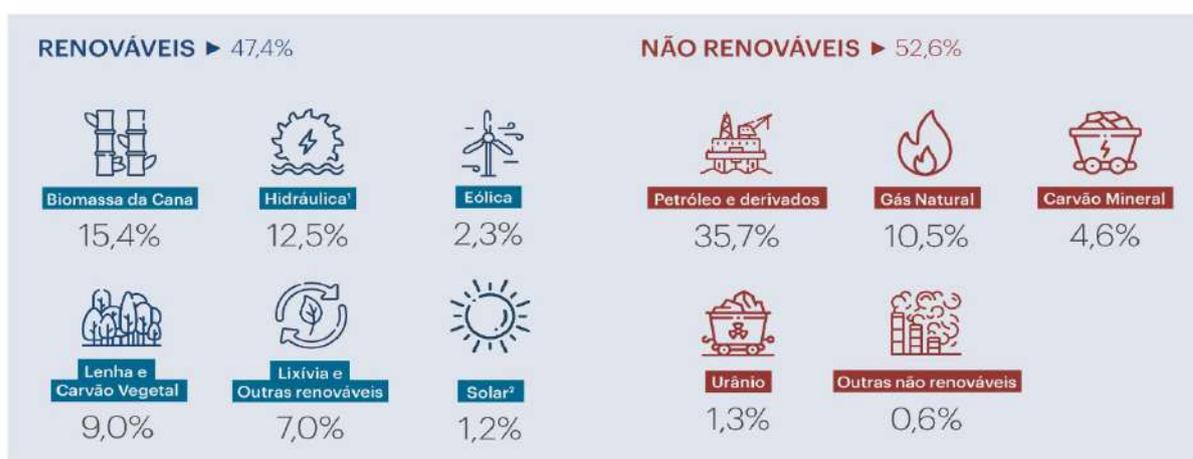
Na indústria, a biomassa é a matéria orgânica que armazena energia na forma de energia química, sendo submetida a diversos processamentos e tecnologias de transformação, resultando na produção de biocombustíveis (nas formas líquida, gasosa ou sólida). Quanto à origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas em três categorias: 1) a biomassa energética florestal, que inclui produtos e subprodutos ou resíduos da indústria florestal; 2) a biomassa energética da agropecuária, que engloba culturas agroenergéticas, bem como os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, das agroindustriais e da produção animal; e, por fim, 3) os rejeitos urbanos (Empresa de Pesquisa Energética, 2022).

A biomassa é relevante dentro da política energética brasileira, 31% da energia interna do país tem como fonte a matéria orgânica (Ministério de Minas e Energia, 2023). A maior contribuição é a da cana-de-açúcar (15,4%), seguido da lenha e carvão vegetal (9,0%), e por

último da lixívia e outras energias renováveis (7,0%), entre elas biodiesel, biogás etc. A lixívia, também conhecida como licor negro ou licor preto, é um resíduo líquido, denso, resultante do processo de produção da indústria de papel e celulose, e responsável por gerar 3% da energia do país.

Figura 1

*A repartição da oferta interna de energia no Brasil.*



Fonte: BEN (2023)

Como mencionado, existem diferentes matérias-primas e variadas rotas tecnológicas para produzir biocombustíveis, contudo a maior parte da matéria-prima é obtida por meio da produção de culturas energéticas. O termo "culturas energéticas" refere-se às plantas cultivadas com o propósito principal de produzir biomassa destinada à produção de bioenergia (Hakeem et al., 2023; Usmani, 2023, & Rabbani, 2023a).

O Brasil tem desempenhado um papel fundamental na produção e incentivo de culturas energéticas para transformação e uso de biocombustíveis, com destaque para o etanol e biodiesel (Suali & Suali, 2023). Esse setor contribui para a redução das emissões de GEEs e para a segurança energética (Jayakumar et al., 2023).

Apesar da biodiversidade planetária no setor agrícola, com dezenas de espécies com potencial para produção de biocombustíveis, há uma baixa diversidade de culturas energéticas utilizadas para a produção de combustíveis e isto deve ser um motivo de alerta. Dentre as principais culturas energéticas utilizadas em todo o mundo, destaca-se este grupo: cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.); milho (*Zea mays* L.); trigo (*Triticum* spp.); soja (*Glycine max* L.); beterraba-sacarina (*Beta vulgaris* L.); palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.); colza (*Brassica napus* L.); pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Ailton); eucalipto (*Eucalyptus* spp.); e

sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.). Quando se observa o Brasil, das espécies que se destacam, o grupo é ainda menor, sendo representado pela soja, o milho, a cana-de-açúcar e o eucalipto (Rabbani, 2023a).

Para as próximas décadas, existe a expectativa de um aumento significativo na produção dos biocombustíveis (International Energy Agency, 2023). Apesar dos efeitos positivos desta bioenergia, principalmente no que tange à redução das emissões de GEEs e a diminuição do ritmo das mudanças climáticas globais, cabe frisar que desde na década passada, Gazzoni (2011) apontava que caso essa expansão ocorra baseado principalmente no cultivo de culturas energéticas, pode haver ou potencializar efeitos negativos, como a perda de habitats naturais, do aumento de espécies invasoras, conflitos adversos decorrentes ao uso da terra e expansão do uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Assim, este artigo propõe fazer uma análise sobre o cenário atual brasileiro e os principais desafios associados ao baixo número de espécies de plantas utilizadas para a produção de biocombustíveis no Brasil, serão explorados os impactos e as estratégias para promover a independência energética regional.

### **Material e métodos**

Esta revisão abordará o cenário atual das culturas energéticas, seus impactos negativos, os aspectos positivos da diversificação das culturas e as principais estratégias para conseguir esse objetivo. Para tanto, foram realizadas buscas nos bancos de dados como o *ScienceDirect* (<http://www.sciencedirect.com/>), *Web of Science* (<https://www.webofscience.com/>), Scielo (<https://www.scielo.br/>), e o *Google Scholar* (<https://scholar.google.com>), bem como a base de dados disponibilizados por governos e agências, como a BFTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (<https://bdtd.ibict.br>) e o Portal de Periódicos da CAPES (<http://www-periodicos-capes-gov-br.ez51.periodicos.capes.gov.br/>). Após a leitura foram escolhidos 53 artigos em revistas científicas indexadas e 01 dissertação, que apresentavam informações mais relevantes e relacionadas com os assuntos abordados na revisão.

Também foram acessados outros portais fornecedores de dados e informações, como o portal do IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>), da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (<http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/>), da EPE – Empresa de Pesquisa Energética (<https://www.epe.gov.br/pt>), o IEA – Agência Internacional de Energia (<https://www.iea.org/>), o IPCC – *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (<https://www.ipcc.ch/>), e o Parlamento Europeu (<https://www.europarl.europa.eu/portal/pt>).

A busca nos diferentes portais utilizou palavras-chave como “biomassa”, “biocombustíveis”, “emissão de carbono”, “monocultura”, “agricultores”, “culturas energéticas” e “espécies”, com o propósito de melhor definir os pontos da pesquisa.

### O cenário atual das culturas energéticas

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico aumentou para 420 ppm em relação aos níveis pré-industriais de 280 ppm, provocando impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e na sociedade. Considerando que a redução do consumo, o aumento da eficiência energética e a transição para energia renovável e sistemas agrícolas mais sustentáveis são essenciais para atingir as metas climáticas, aumentar a remoção do excesso de CO<sub>2</sub> atmosférico é crucial para limitar o aquecimento a 1,5 °C (Smale et al., 2019; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, & Ross et al., 2023).

As culturas energéticas são cultivadas com o intuito específico de produzir biomassa destinada à geração de energia, apresentam-se como uma alternativa promissora para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e mitigar as emissões de GEEs, uma vez que no ciclo de produção há o sequestro de carbono durante o crescimento das plantas, através da fotossíntese, e, ao serem utilizados como fonte energética, liberam uma quantidade equivalente de carbono para a atmosfera, fechando um ciclo de carbono neutro (Empresa de Pesquisa Energética, 2020 & Nalevaiko et al., 2021).

O Brasil foi o primeiro país do mundo a adotar biocombustíveis em sua matriz energética e são utilizadas diferentes matérias-primas para este fim (Vidal, 2021), prevalecendo sua exploração por meio de monoculturas. O país possui uma matriz de culturas agrícolas diversificada, com 35 principais culturas agrícolas, contudo as espécies consideradas para fins energéticos são cana, soja, milho, trigo, amendoim, girassol, coco, algodão, mamona e agave (Tabela 1).

Tabela 1

*Produção (toneladas) das principais lavouras entre os anos 2013 e 2023. Legenda: ZA - Zero absoluto, não resultante de um cálculo ou arredondamento; VND - Valor não disponível. \* - Culturas com potencial energético.*

Culturas	Produção (Toneladas)											Jun / 2023 (%)
	jun/13	jun/14	jun/15	jun/16	jun/17	jun/18	jun/19	jun/20	jun/21	jun/22	jun/23	
Cana-de-açúcar*	739901 821	741219 461	678298 386	726684 707	703339 282	691436 412	665043 223	685399 663	655484 120	726129 805	666166 727	64,74
Soja*	813337 92	866010 18	964425 21	965696 46	114776 780	116309 308	112546 649	119899 492	133255 236	117959 081	148376 257	14,42
Milho*	782113	762462	803221	701097	976648	837138	953004	975126	950165	111191	124454	12,1

	21	90	98	94	76	95	99	83	40	596	808	
Mandioca	214491	232463	241543	225283	200267	207041	202041	189621	188573	180326	184525	1,79
	46	52	77	92	13	82	29	57	82	29	47	
Laranja	182501	164379	138096	156791	146718	171004	164763	183421	146083	164684	167613	1,63
	94	54	84	25	80	91	04	54	84	09	56	
Trigo*	555732	787421	729426	635536	606857	566854	607220	695806	787959	886322	106247	1,03
	9	8	1	2	0	6	6	4	4	9	20	
Arroz	117418	122586	123907	108073	121886	115581	104260	108092	112098	106788	100208	0,97
	55	37	37	81	72	09	42	91	91	86	43	
Banana	727711	717959	722819	685616	702779	682621	691121	678942	692912	711355	703329	0,68
	0	5	7	9	3	2	8	0	9	1	7	
Algodão herbáceo	338372	430651	397290	370517	363945	472033	648259	692427	568159	672871	693075	0,67
	8	5	5	1	4	2	4	1	8	7	1	
Batata - inglesa	330680	372043	350282	360782	406911	381034	388724	342420	386925	389368	395965	0,38
	6	6	6	8	7	6	3	1	5	6	4	
Sorgo	248609	189485	208752	125915	207785	239582	250338	276509	263594	292496	381873	0,37
	9	9	6	6	4	1	3	2	5	7	4	
Café	284793	273650	260269	292543	279037	343777	315400	354080	294339	317039	330583	0,32
	1	0	6	7	9	3	8	1	0	3	2	
Tomate	367144	408745	368164	349495	433348	452636	386678	384008	377315	360952	378922	0,37
	2	0	1	2	0	9	3	5	5	6	2	
Feijão	295731	355423	326850	291377	328613	338855	302579	295119	278598	308690	308990	0,3
	1	2	3	7	9	8	5	1	1	0	5	
Uva	145871	137849	151078	958676	146765	138657	141954	143538	168802	150124	166477	0,16
	6	8	8	1	9	5	7	4	5	5	7	
Aveia	442161	511205	545221	639683	901391	753729	939369	102477	102563	114448	119556	0,12
	3	8	4	2	3	8	4	2	8	4	2	
Amendoim*	365851	293945	320299	420337	541217	553400	587908	691799	639439	826478	811986	0,08
Fumo	853653	857437	873945	685726	870378	820471	758338	703663	720132	665284	682603	0,07
Cevada	302480	326459	316100	267190	419327	427397	407244	423109	448541	483242	511255	0,05
Cacau	243734	273031	260865	263539	235550	232747	251278	282230	269084	288757	290375	0,03
Castanha-de-caju	270294	255104	231066	215973	105483	132604	120555	150404	123316	120810	122051	0,01
Triticale	136811	118130	99011	49259	49063	45949	36789	40735	44280	55990	70480	0,01
Girassol*	109324	176861	189115	82956	86647	144462	124756	83168	68851	60951	61275	0,01
Mamona*	17045	35492	86671	85038	10966	24629	27069	22051	35055	38940	33353	0,00
Centeio	4065	5087	5009	6072	7098	7755	10268	11181	8578	11407	8942	0,00
Coco-da-baía	197087	196689	185305	183698	178521	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	1	0	2	1	1							
Cebola	131135	162752	163726	156240	169066	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	8	4	4	2	6							
Abacaxi	149226	158328	174569	177483	156216	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	4	0	8	4	6							
Maçã	122655	137231	126591	104129	126094	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	5	0	5	3	4							
Alho	78606	101226	92737	98842	125412	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Sisal ou agave*	67321	125799	180932	133053	112820	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Pimenta-do-reino	42038	39156	48776	53348	77447	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Malva	14470	8670	14055	13799	4366	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Guaraná	3731	3567	3667	3649	3288	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Juta	850	302	798	790	ZA	ZA						
<b>Total</b>	<b>99278808</b>	<b>100242</b>	<b>950337</b>	<b>983690</b>	<b>100727</b>	<b>976688</b>	<b>957429</b>	<b>989446</b>	<b>967057</b>	<b>104187</b>	<b>102893</b>	<b>100</b>
	<b>3</b>	<b>3490</b>	<b>442</b>	<b>337</b>	<b>8080</b>	<b>303</b>	<b>187</b>	<b>264</b>	<b>148</b>	<b>8570</b>	<b>1480</b>	

Fonte: IBGE, 2023a. Organização dos dados: os autores.

De junho de 2022 a junho de 2023, 65% das lavouras estavam ocupadas com plantações de cana, seguido de soja (14%) e de milho (12%). Estas três culturas englobam 95% de toda produção nacional das lavouras (IBGE, 2023a; Tabela 1). A cana-de-açúcar e o milho são parcialmente empregados na fabricação de etanol, utilizado como combustível puro ou misturado à gasolina. Por meio da cana, também é possível a produção de energia térmica, através da queima do bagaço, que é um resíduo do processo da fabricação de etanol. A soja é a cultura mais cultivada e utilizada para a produção de biodiesel (75%) (Ferreira et al., 2018). Assim, fica evidente que há uma concentração de poucas espécies para a produção de bioenergia no país, o que levanta a preocupação no contexto da sustentabilidade e segurança energética.

Nos últimos anos o cultivo da cana-de-açúcar teve uma expansão significativa para atender tanto à produção de açúcar quanto à produção de etanol. Esse aumento na área cultivada de cana-de-açúcar pode ser atribuído principalmente aos incentivos fiscais e financeiros fornecidos pelo governo aos agricultores. No que se refere ao cultivo destinado à produção de biodiesel, houve um significativo crescimento em várias culturas, incluindo soja, amendoim e trigo. Entretanto, a soja foi a cultura que mais se destacou. Da mesma forma que ocorreu no cultivo da cana-de-açúcar, não é possível afirmar que o aumento total da área cultivada de soja seja inteiramente destinado à produção de biodiesel, uma vez que a soja também tem experimentado um crescimento extraordinário na demanda internacional para outros fins (Pauli et al., 2020).

Para os produtos florestais (Tabela 2), existe também uma diversificação, com mais de 38 produtos. Contudo, 54% deles estão concentrados na lenha, seguido da madeira em tora (42%), erva-mate (1,4%), carvão vegetal (1,2%) e açaí (0,6%). Nesse sentido, mais de 55% dos produtos florestais gerados são para uso energético, tendo o eucalipto como principal espécie (IBGE, 2023b).

Tabela 2

*Quantidade produzida (toneladas), dos principais produtos extrativos, na extração vegetal e da silvicultura, entre os anos 2011 e 2021. Legendas: ZA - Zero absoluto, não resultante de um cálculo ou arredondamento; VND - Valor não disponível. \* - Produtos com potencial energético.*

Produtos	Produção (Toneladas)											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021 (%)
Lenha (m <sup>3</sup> )*	375742 07	343136 37	309552 24	289073 13	269601 53	251633 12	214764 63	200873 31	192149 45	193220 22	190752 74	53,94
Madeira em tora (m <sup>3</sup> )	141167 11	149255 01	135192 81	127187 95	123087 02	114974 03	122193 46	116167 09	120957 12	113794 22	148081 06	41,87
Erva-mate	229681	252700	300128	333017	341251	352968	383922	346941	371659	426034	506134	1,43
Carvão vegetal*	135119 2	115969 5	100625 4	102106 2	797263	544279	431960	338752	372355	373513	441663	1,25
Açaí (fruto)*	215381	199116	202216	198149	216071	215631	219710	221646	222706	220489	227251	0,64
Pinheiro brasileiro (tora) (m <sup>3</sup> )	94727	100540	207225	141225	98949	65549	80618	35562	28632	90132	77575	0,22
Pequi (fruto)*	VND	VND	VND	19241	18866	17859	21915	22078	27868	63820	74172	0,21
Castanha-do-pará*	42152	38805	38300	37499	40643	34903	23357	34170	32905	33118	33406	0,09
Babaçu (amêndoa)*	102499	97820	89739	83917	77955	61598	54330	50804	48706	37946	32076	0,09
Carnaúba (pó)*	18636	17844	18251	19137	19974	17957	19409	17943	19465	19453	19840	0,06
Umbu (fruto)	9323	7980	7561	7466	7451	8470	7542	8203	8544	9467	12771	0,04
Pinhão	8032	9638	8293	8777	8393	7746	9293	9561	9374	10605	12485	0,04
Pinheiro brasileiro (nó de pinho) (m <sup>3</sup> )	10217	9929	14715	13108	5139	9166	10467	8527	12645	10681	11905	0,03
Outras	3615	5434	12299	3491	3599	3929	4966	7796	9684	9418	11468	0,03
Piaçava	61409	57762	44617	45758	44805	45662	9783	8481	7679	7912	7498	0,02
Palmito	5563	4787	4620	4729	4669	4277	4350	4336	4296	4274	4140	0,01
Mangaba (fruto)	680	677	639	685	663	1068	1124	1751	1749	1976	2173	0,01
Castanha-de-caju	3179	3054	2931	2489	2160	1499	1421	1421	1779	1939	1769	0,01
Carnaúba*	1640	1667	2317	1878	1298	1125	1431	1389	1441	1398	1427	0
Licuri (coquilha)*	4213	3925	3760	3744	4072	3839	1151	1078	1050	1067	1037	0
Hevea (látex coagulado)	2856	2143	1760	1446	1447	1202	1044	866	842	925	962	0

Pequi (amêndoa)	7047	939	1544	1381	2228	1471	832	765	741	698	817	0
Carnaúba (cera)	2638	2486	2112	1948	2060	1709	1171	1124	905	805	642	0
Buriti	465	469	466	466	451	441	491	497	476	482	473	0
Tucum (amêndoa)*	516	482	513	484	489	462	478	401	374	360	374	0
Jaborandi (folha)	299	294	291	252	238	229	192	295	296	296	291	0
Copaíba (óleo)*	214	127	153	164	153	165	171	165	159	163	170	0
Cumarú (amêndoa)*	103	93	91	103	97	145	151	170	127	117	116	0
Angico (casca)	170	161	140	131	112	95	39	58	75	72	58	0
Pinheiro brasileiro (Mil árvores)	48	55	133	100	60	37	47	28	22	56	43	0
Urucum (semente)	10	2	0	0	0	20	23	22	27	24	23	0
Ipecacuanha ou poaia (raiz)	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Sorva	1	1	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Barbatimão (casca)	7	7	6	5	5	17	0	0	8	0	1	0
Hevea (látex líquido)	149	194	198	93	52	4	10	0	0	0	ZA	ZA
Balata	ZA	ZA	ZA	ZA	2	2	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA
Oiticica (semente)*	64	401	15	16	12	7	6	6	5	4	ZA	ZA
<b>Total</b>	<b>538676</b>	<b>512183</b>	<b>464457</b>	<b>435780</b>	<b>409694</b>	<b>380642</b>	<b>349872</b>	<b>328288</b>	<b>324972</b>	<b>320286</b>	<b>353661</b>	<b>100</b>
	<b>46</b>	<b>68</b>	<b>95</b>	<b>71</b>	<b>84</b>	<b>48</b>	<b>15</b>	<b>78</b>	<b>53</b>	<b>90</b>	<b>42</b>	

Fonte: IBGE, 2023c. Organização dos dados: os autores.

## As grandes monoculturas e seus impactos

A dominância das monoculturas é uma realidade preocupante nos sistemas agrícolas em todo o mundo, especialmente no contexto da produção de culturas energéticas para a geração de biocombustíveis. Monocultura refere-se ao cultivo extensivo de uma única espécie de planta em grandes áreas, com pouco ou nenhum cultivo de outras espécies no mesmo terreno. Essa prática tem sido amplamente adotada para maximizar a produtividade e eficiência agrícola, mas traz consigo uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente, a biodiversidade e a segurança alimentar (Gazzoni, 2011).

Grandes extensões de terras explorando monoculturas necessitam de grande uso do capital natural, como o uso intensivo de agrotóxicos e quantidades significativas de água. Em se tratando das formas do uso do solo, sempre há riscos de desmatamento e liberação de carbono do solo, contribuindo para as emissões líquidas de GEEs. Outro ponto relevante é o esgotamento de nutrientes específicos, exigindo o uso intensivo de fertilizantes químicos que, por sua vez, podem contaminar as águas subterrâneas e os corpos d'água, causando danos ambientais adicionais. Pode ainda promover a compactação, reduzir sua capacidade de retenção de água e aumentar a erosão. Esses impactos negativos podem ter consequências a longo prazo para a produtividade agrícola e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ambientais (Miller & Spoolman, 2021).

Em comparação com outras fontes renováveis, como energia solar, eólica e hidráulica, a bioenergia se destaca pelo seu potencial de sequestro de carbono. Durante o processo de crescimento, as plantas realizam a fotossíntese, absorvendo carbono da atmosfera. Após a

colheita, o carbono das raízes permanece no solo. Isso confere aos biocombustíveis uma característica única, tornando-os não apenas tecnologias de geração carbono-neutro, mas sim carbono-negativos (Dias, 2021). Contudo, apesar dos biocombustíveis emitirem uma baixa emissão de GEEs em comparação aos combustíveis fósseis, quando observa-se apenas o processo de cultivo, este ainda emite CO<sub>2</sub> e outros gases durante o plantio, colheita e processamento.

Dentro da questão ambiental, a pressão da expansão de monoculturas pode resultar na perda de habitats e na redução das populações de espécies nativas, afetando negativamente a biodiversidade regional. Outro aspecto relacionado às culturas homogêneas é a perda da variedade biológica, pois ao eliminar a abundância de espécies em um determinado ecossistema, reduz-se drasticamente a diversidade genética, tornando as culturas mais suscetíveis às pragas, doenças e condições climáticas extremas. Isso aumenta a vulnerabilidade da produção agrícola e coloca em risco a segurança alimentar, uma vez que uma única doença ou praga pode dizimar grandes extensões de plantações (Zimmermann, 2009; Gazzoni, 2011, & Parlamento Europeu, 2020).

À medida que mais terras são convertidas em monoculturas, pode haver uma redução na evapotranspiração, prevista em condições sem intervenção no uso do solo, que é o processo pelo qual as plantas liberam água para a atmosfera através da transpiração. Essa redução da evapotranspiração pode levar a temperaturas mais altas na região, criando um microclima localizado de aquecimento, conhecido como “Ilha de Calor”, como visto na Índia (Kumar et al., 2017). Além deste efeito, o setor se torna mais vulnerável a eventos climáticos extremos, como inundações, secas prolongadas ou chuvas intensas, comprometendo a produção agrícola e que podem se tornar mais frequentes e intensos devido às mudanças climáticas. Esses acontecimentos podem afetar a disponibilidade e o preço das matérias-primas para a produção de biocombustíveis, e indo mais além, pode levar a um aumento nos preços dos alimentos, afetando diretamente a população mais vulnerável (Miller & Spoolman, 2021).

Dentro desta temática também há a questão social, a dependência excessiva de monoculturas pode levar à perda da diversidade cultural e do conhecimento tradicional associado ao cultivo de diferentes espécies agrícolas, e com o tempo, o conhecimento sobre práticas agrícolas diversificadas pode ser perdido, o que prejudica a resiliência das comunidades rurais diante de desafios futuros, além destes temas, é possível observar o deslocamento de populações das áreas rurais das regiões em expansão da fronteira agrícola para as grandes cidades, em decorrência da introdução de monoculturas, que é impulsionado pelo domínio do capital (Kumar, 2015 & Wang et al., 2023).

À medida que as políticas públicas favorecem o agronegócio, é observado um estímulo à expulsão da população rural, resultando no aumento da concentração de terras. A migração desequilibrada do campo para a cidade leva a uma apropriação excludente, pelo capital, da mão de obra livre, que tem apenas sua força de trabalho para vender. A própria expansão do capitalismo ocorre através da apropriação da força de trabalho, que é a única capaz de criar valor e riquezas (Santos & Cruz, 2017). Com a presença predominante de grandes empresas no campo, áreas antes ocupadas por culturas familiares diversificadas são substituídas, resultando na redução do emprego no campo e na capacidade de produção de alimentos tradicionais, o que compromete a segurança alimentar das comunidades (Domingues & Bermann, 2012).

Em outras palavras, a gestão territorial desempenha um papel fundamental na utilização e redistribuição adequada dos recursos naturais, bem como na otimização do espaço rural e de equilíbrio de riquezas. Essa abordagem de gestão é de extrema importância na implementação de projetos de plantios (Zimmermann, 2009).

Outro aspecto a ser considerado, é que o monopólio das monoculturas da soja (biodiesel) e da cana (etanol) na produção de biocombustíveis no Brasil, o que torna o setor vulnerável no que se refere à segurança energética. Considerando os efeitos das mudanças climáticas, surgimentos de pragas e doenças cada vez mais resistentes, a diversificação da matriz produtiva das culturas energéticas configura-se em uma estratégia fundamental para reduzir riscos e garantir segurança ao setor.

### **Os aspectos positivos da diversificação**

Atualmente, o setor agropecuário brasileiro enfrenta um desafio significativo, que envolve o desenvolvimento e implementação de tecnologias capazes de atender à crescente demanda por alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros de maneira sustentável. Esse cenário busca assegurar retornos econômicos, ao mesmo tempo em que se observam cuidadosamente os aspectos ambientais e sociais (Silva, 2020).

O aumento dos tipos de culturas energéticas é crucial para garantir a resiliência dos sistemas energéticos em face das mudanças climáticas e contribuir para a segurança alimentar, como explicado anteriormente. É importante destacar que, para destinação ao mercado de combustíveis, é preciso considerar também a disponibilidade de matéria-prima para atendimento em escala industrial. Ainda que algumas espécies tenham prioridade de aplicação em áreas tecnológicas distintas, a diversificação somente se concretizará se o mercado tiver suprimento satisfatório da matéria-prima (Santos et al., 2022).

Novas espécies, principalmente nativas, ampliam a cadeia de produção e contribuem para a manutenção da qualidade da água e do solo, o sequestro de carbono e até mesmo a preservação de espécies, tornando-se elegíveis para remuneração por meio de serviços ambientais (Ferreira et al., 2018). Assim, espera-se que as políticas públicas ofereçam aos agricultores a percepção de que áreas biodiversas podem melhorar também os serviços ecossistêmicos das regiões amparadas.

As emissões de GEEs associadas à produção de biocombustíveis podem ter um impacto significativo nas mudanças climáticas. Embora os biocombustíveis sejam considerados uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis, é indispensável considerar todas as etapas do ciclo de vida desta bioenergia para avaliar seu verdadeiro potencial de redução de emissões. Logo, é importante averiguar todo o ciclo da cultura antes de adotá-la dentro de uma política energética (Melnikova et al., 2022).

Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de tecnologias que permitam a produção eficiente e sustentável, buscando maximizar a produção sem comprometer a saúde dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades rurais. A adoção de práticas agrícolas e pecuárias mais sustentáveis, o uso responsável de insumos, a promoção da agroecologia, a implementação de sistemas de manejo integrado de recursos naturais e o uso eficiente de recursos hídricos são algumas das estratégias que podem contribuir para alcançar esse objetivo.

A ampliação do número de espécies, principalmente por meio de cultivo mais amigáveis para ao ambiente, pode promover a preservação do solo, que é de extrema importância devido ao papel vital que desempenha no funcionamento dos sistemas terrestres, incluindo o ciclo da água, a regulação climática, os ciclos de nutrientes e a biodiversidade. Todos esses aspectos se traduzem em benefícios significativos para a segurança alimentar, nutrição, saúde e segurança energética relacionada à bioenergia. Nesse contexto, o solo desempenha funções estruturais cruciais como componente essencial do meio ambiente, indo além de ser apenas um substrato para a produção agrícola/florestal. O solo é um biosistema complexo e dinâmico, onde suas funções não são lineares, o que o torna vulnerável a impactos decorrentes de contaminação ou degradação de suas propriedades (Dias, 2021).

As diferentes rotas de produção e transformação da biomassa variam de acordo com a matéria-prima utilizada, beneficiando as economias regionais ou locais de maneira diversificada. Essas variações promovem o desenvolvimento econômico, pois demandam, por exemplo, fornecimento de equipamentos, otimização das operações agroindustriais, assistência técnica e desenvolvimento de outros produtos.

Essa realidade favorece a instalação de biorrefinarias capazes de produzir multiprodutos, como biocombustíveis, produtos químicos a granel e fornecimento de energia e calor excedentes, contribuindo para o crescimento da oferta de produtos e fortalecendo a indústria de bioenergia como um todo.

### **Estratégias para ampliar a diversidade de culturas energéticas**

Para promover a diversificação de matérias-primas para a produção de biocombustíveis, é necessário adotar estratégias específicas para promover a sustentabilidade e incentivar a independência energética regional, bem como para mitigar os impactos ambientais relacionados à geração de energia para consumo da sociedade. Contudo são necessários alguns caminhos que serão ressaltados ao longo desta seção, destacados Figura 2 e relatados em seguida.

Figura 2

*Pontos estratégicos para promoção da diversidade das culturas energéticas e da sustentabilidade da bioenergia.*



Fonte: os autores

Investir em **pesquisa e desenvolvimento (P&D)** é fundamental para identificar novas espécies de plantas com potencial para a produção de biomassa energética. Programas de pesquisa podem buscar espécies nativas e exóticas adaptadas a diferentes condições climáticas e tipos de solo, visando diversificar as opções disponíveis para o cultivo (Rosegrant et al., 2022).

À medida que a produção de biocombustíveis se expande, como promete o futuro (International Energy Agency, 2023), a disponibilidade de biomassa aumenta e, em consequência, o interesse da comunidade científica deve acompanhar essa demanda da indústria em investir no aprimoramento das tecnologias relacionadas à produção em campo e beneficiamento dessas matérias-primas. Esse interesse promove um aumento no nível de maturidade tecnológica do processo de produção dos biocombustíveis, tornando-o mais eficiente e sustentável ao longo do tempo.

Para que um país consiga tecnologias que promovam a redução do consumo de recursos naturais, a mitigação dos impactos ambientais, a melhoria da eficiência produtiva e a diversificação das atividades agrícolas para um desenvolvimento sustentável do setor, é essencial investimentos em pesquisa e inovação tecnológica para desenvolver soluções adaptadas às diferentes realidades e demandas do setor. Com investimentos voltados para a inovação agrícola/florestal, permite-se o desenvolvimento tecnológico e a viabilidade comercial de novas culturas energéticas que podem se consolidar como uma alternativa atraente para suprir demandas, observando quesitos como o de menor impacto ambiental, impulsionando a independência energética de regiões.

Outro ponto importante é a realização de **zoneamento agrícola**, específico para as diferentes culturas energéticas, baseado em informações edafoclimáticas. O zoneamento favorece a adoção de políticas públicas direcionadas às realidades locais, ao adotar culturas adaptadas às condições edafoclimáticas específicas de cada região (Cordes, 2002), favorecendo a independência energética regional. Por meio do zoneamento, é possível encontrar soluções regionais, contribuindo para otimizar o uso de recursos naturais, evitar a expansão desordenada de cultivos e minimizar conflitos com áreas destinadas à produção de alimentos (Wollmann & Galvani, 2013).

Para tanto, especificamente no contexto das culturas energéticas, é crucial que o zoneamento esteja associado ao P&D, para que seja possível desenvolver redes de conhecimento, estabelecer linhas de pesquisa e criar sistemas de introdução e teste de culturas para estabelecer um zoneamento agrícola eficiente.

A bioenergia é obtida através de duas principais fontes: culturas energéticas cultivadas especificamente para essa finalidade e biomassa residual proveniente de atividades agrícolas/florestais, industriais ou residenciais. No setor agrícola/florestal, existem culturas conhecidas como "**culturas flex**", que têm a capacidade de produzir simultaneamente diferentes produtos. Esse enfoque permite uma maior flexibilidade de adaptação em resposta às variações do mercado, como é o caso da indústria sucroenergética (Msangi, 2016; Dias, 2021, & Rabbani, 2023a). Em outras palavras, uma única espécie permite produzir alimentos, biocombustíveis e outros produtos, inclusive, químicos. Isso promove a maximização da utilização dos recursos agrícolas, aumentando a eficiência produtiva.

A promoção de incentivos à **agroecologia e práticas sustentáveis** é mais um ponto a ser colocado na balança em prol da diversificação das culturas energéticas. Dentre estas práticas, há a rotação de culturas, o consórcio de espécies, o manejo integrado de pragas e doenças, incentivo ao plantio de duas espécies em um mesmo terreno (plantios duplos), a utilização de policulturas (diferentes tipos de plantas ou animais na mesma área) ou sistemas integrados que combinam a produção agrícola com a criação de animais ou o cultivo de florestas plantadas. Além disso, práticas sustentáveis, como a redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos, contribuem para a conservação dos recursos naturais e a proteção da biodiversidade (Sachet et al., 2021 & Schwarz et al., 2022).

A adoção de práticas agroecológicas pode contribuir para tornar os sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. Para reduções efetivas das emissões de GEEs, a produção das culturas energéticas deve estar associada a processos tecnológicos da agricultura de baixo carbono para maior eficiência energética dos biocombustíveis (Cruz et al., 2014). Além disso, também é essencial das políticas públicas que incentivem a diversificação das culturas e que promovam práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para enfrentar os desafios associados à dominância das monoculturas e construir um futuro mais equilibrado e saudável para o meio ambiente e a sociedade (Gallardo-López et al., 2018).

O **resgate e o cultivo de espécies nativas**, ou mesmo outras culturas, com potencial energético (Tabela 2), muitas vezes esquecidas ou subutilizadas, podem ampliar a diversidade de culturas energéticas. Essa abordagem também pode contribuir para a conservação da flora regional e para o conhecimento tradicional associado a essas espécies, como a *Jatropha mollissima* que é nativa do Brasil, apresentando forte resistência à seca (Pompelli et al., 2011). Essas espécies podem ser estudadas e ajustadas para as condições ideais de uso para a produção de biocombustíveis líquidos, sólidos e gasosos.

Tabela 2

*Exemplos de espécies promissoras para uso como culturas energéticas*

<b>Espécie(s)</b>	<b>Tipo(s) de combustível</b>	<b>Estudos(s) relacionado(s)</b>
Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	Sólido	Passinho et al., 2019
Andiroba ( <i>Carapa guianensis</i> Aubl.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)
Babaçu ( <i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.)	Líquido	Stachiw et al. (2016); Anjos et al. (2021)
Babaçu ( <i>Orbignya phalerata</i> Mart.)	Líquido e sólido	Reis et al. (2015); Lima et al. (2007)
Capim elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum.)	Sólido	Fernandes et al. (2020); Tavares e Santos (2013)
Carnaúba [ <i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E. Moore.]	Líquido e sólido	Tavares e Santos (2013)
Cártamo ( <i>Carthamus tinctorius</i> L.)	Líquido	Lima et al. (2019)
Castanha do Brasil ( <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)
Crambe ( <i>Crambe abyssinica</i> Hochst)	Líquido	Queiroz et al. (2021)
Cupuçu [ <i>Theobroma Grandiflorum</i> (Willd. Ex Spreng. Schum)]	Líquido e sólido	Santos et al. (2015); Marasca et al. (2022)
Curupiteiro ( <i>Sapium</i> sp)	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Dendezeiro ( <i>Elaeis guineenses</i> Jacq.)	Líquido	Ferreira et al. (2018); Messis et al. (2020); Peixoto et al. (2022)
Envirão ( <i>Guatteria</i> sp.)	Sólido	Fortaleza et al. (2019)
Guapuruvu [ <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake]	Sólido	Narita et al. (2018)
Louro [ <i>Nectandra cusoidata</i> (Mart. Ex Nees)]	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Macaúba ( <i>Acromia aculeata</i> Jacq.)	Líquido	WWF (2022); Guerra et al. (2023)
Muirapixuna ( <i>Cassia scleroxylon</i> Ducke)	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Paricá ( <i>Schizolobium amazonicum</i> Herb)	Sólido	Ferreira et al. (2021); Vidaurre et al. (2022)
Pequi ( <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.)	Líquido	Souza et al. (2020)
Pinhão-rasteiro [ <i>Jatropha ribifolia</i> (Pohl) Baill.]	Líquido e sólido	Paiva et al. (2021)
Pinhão-bravo [ <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.]	Líquido e sólido	Paiva et al. (2021)
Pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.)	Líquido	Ferreira et al. (2018)
Sumaúma ( <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.)	Sólido	Fortaleza et al. (2019)
Tucumã ( <i>Astrocaryum tucuma</i> Mart.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)

Fonte: os autores.

Esse incentivo ao uso de novas espécies, como ressaltado anteriormente, pode ser associado à integração **com a agricultura familiar** para promoção do desenvolvimento sustentável em áreas rurais. O cultivo de espécies energéticas em sistemas agroflorestais e em propriedades de agricultura familiar pode aumentar a resiliência dos sistemas produtivos e gerar benefícios socioeconômicos para as comunidades locais.

Incentivos como o Selo Biocombustível Social (SBS), que incentiva aos produtores de biodiesel adquirem matérias-primas de agricultores familiares que recebem o Selo, são beneficiados com reduções nas alíquotas de impostos (MAP, 2022 & Brasil, 2022). A valorização da agricultura familiar e o incentivo à produção agroecológica têm um papel relevante na construção de um setor agropecuário mais sustentável, capaz de conciliar a produção de alimentos, produtos florestais, e demais produtos com a preservação dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento social nas áreas rurais.

A concessão de subsídios econômicos aos produtores pode representar um estímulo importante para incentivar a colheita da matéria-prima e, inclusive, fomentar a formação de cooperativas e associações, facilitando o escoamento da produção. Essa medida contribui para tornar o biodiesel viável comercialmente e competitivo em relação a outras fontes. Dessa forma, a domesticação da espécie e o estabelecimento de cultivos comerciais impulsionam o desenvolvimento da cadeia produtiva dos diferentes tipos dos biocombustíveis.

No entanto, é importante ressaltar a necessidade de uma abordagem equilibrada na concessão de subsídios, para evitar distorções no mercado e garantir a eficiência econômica. Além disso, é fundamental acompanhar de perto os impactos ambientais e sociais decorrentes da expansão dos cultivos destinados à produção de biodiesel, a fim de assegurar a sustentabilidade dessa atividade no longo prazo.

Em resumo, o estímulo econômico aos produtores, aliado à domesticação da espécie e ao desenvolvimento tecnológico, pode contribuir para consolidar o biodiesel como uma alternativa energética competitiva e sustentável. A busca contínua por inovações e a atenção aos aspectos ambientais e sociais são cruciais para garantir a efetiva contribuição do biodiesel para a redução das emissões de GEEs e para a promoção de uma matriz energética mais diversificada e resiliente.

Não se pode deixar de citar o potencial das microalgas para a produção de biocombustíveis, conforme diversos estudos que fazem a prospecção de espécies, bem como a sua utilização (Mendes et al., 2012; Pereira et al., 2020, & Rodrigues, 2022). Sendo assim, como o Brasil por ter uma ampla zona costeira, tem alto potencial de exploração desse tipo de cultura aquática.

Além de cultivar espécies específicas para a produção de biocombustíveis, é importante **aproveitar a biomassa residual** proveniente de atividades agrícolas/florestais, industriais e residenciais. Resíduos orgânicos, restos de colheitas e resíduos de processos industriais podem ser utilizados para a produção de energia, reduzindo a dependência de culturas energéticas específicas. Inclusive, o uso de tecnologias limpas de combustíveis sólidos oferece uma oportunidade para substituir o carvão e, entre essas alternativas, destacam-se os pellets, briquetes, lascas de madeira, madeira e biocarvão (Bonassa et al., 2016 & Nalevaiko et al., 2021).

Assim, os biocombustíveis produzidos a partir de culturas não devem ser considerados como uma resposta completa às mudanças climáticas ou crises energéticas. É fundamental incorporar à cadeia de produção os produtos residuais das indústrias, os subprodutos dos cultivos e os resíduos orgânicos dos animais, a fim de tornar a produção e transformação dos

biocombustíveis mais rentável, associada a um ciclo de carbono neutro. Os resíduos agrícolas/florestais podem ser empregados na cogeração de energia elétrica e térmica, utilizados em co-combustão com outros materiais ou simplesmente queimados diretamente para a geração de calor, atendendo a diversas necessidades humanas e reduzindo significativamente os impactos ambientais (Sawin et al., 2012).

Espera-se que nos próximos anos haja um aumento significativo na utilização de biocombustíveis sólidos residuais, substituindo a lenha nos setores agropecuário e industrial. Isso se deve ao aumento do custo da lenha e à redução dos custos dos biocombustíveis sólidos. O potencial de produção desses biocombustíveis pode se tornar ainda mais relevante para a matriz energética brasileira, favorecendo a descentralizada de energia (Nalevaiko et al., 2021).

A **utilização de terras degradadas, abandonadas ou marginais** para o cultivo de novas culturas energéticas pode reduzir a competição com a produção de alimentos e contribuir para a recuperação dessas áreas. O aproveitamento de áreas degradadas para a produção de biocombustíveis pode ter um impacto positivo na restauração de ecossistemas e na mitigação das mudanças climáticas. A escolha do manejo e espécies corretamente podem transformar essas terras e retirá-las dessas situações (Csikós & Tóth, 2023).

A adoção de práticas agrícolas/florestais mais sustentáveis, o uso responsável de recursos naturais e a busca por alternativas que minimizem o impacto sobre a biodiversidade são fundamentais para garantir que os biocombustíveis contribuam efetivamente para a redução das emissões de GEEs e para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente. Por meio da adoção de técnicas de produção aprimoradas e o acesso a matérias-primas mais econômicas, esses biocombustíveis podem desempenhar um papel vital na sustentação das economias e ajudar a desacelerar o aquecimento global.

As **Políticas públicas** que incentivem a diversificação das culturas energéticas são essenciais para estimular a adoção de práticas sustentáveis e a produção de biocombustíveis a partir de diferentes matérias-primas. Isenções fiscais, créditos de carbono, linhas de crédito e subsídios para pesquisa são exemplos de medidas que podem impulsionar essa diversificação. Contudo, é necessário um monitoramento cuidadoso dos impactos ambientais e sociais resultantes desse crescimento, a fim de garantir que a expansão das áreas cultivadas não resulte em problemas como o desmatamento, a perda da biodiversidade e a competição direta com a produção de alimentos ou produtos florestais. Um equilíbrio adequado entre a produção de biocombustíveis e a preservação dos recursos naturais e da segurança alimentar deve ser buscado para que essas culturas energéticas possam contribuir efetivamente para a

sustentabilidade e independência energética regional, sem comprometer a disponibilidade de alimentos e a saúde do meio ambiente (Anjos et al., 2021).

Desde 1930, o Brasil possibilita políticas favoráveis aos biocombustíveis. Inclusive pode-se destacar o Renovabio, política nacional de biocombustíveis instituída pela Lei nº 13.576/2017, que tem como principais objetivos: 1) o fornecimento uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito dos Acordos Climáticos de Paris de 2015; 2) o agenciamento a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do fornecimento de combustíveis; e 3) a garantia da previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, venda e uso de biocombustíveis (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023).

Apesar da defesa histórica do Brasil para com os biocombustíveis, dado o potencial do país para se tornar um dos principais produtores de bioenergia do mundo, é fundamental que estejamos adequadamente preparados para enfrentar essa discussão, embasados por uma ampla documentação científica sobre o tema. O conhecimento científico robusto desempenha um papel essencial na formulação de políticas e estratégias que visem minimizar os impactos sobre a biodiversidade, garantindo uma abordagem sustentável para o desenvolvimento da produção de biocombustíveis no país (Gazzoni, 2011).

A troca de conhecimento e a **cooperação entre agricultores, regiões e até mesmo entre países** podem ajudar a diversidade de espécies, ao permitir o acesso a informações e tecnologias desenvolvidas em diferentes contextos. A cooperação e a troca de conhecimento são fundamentais para enfrentar os desafios comuns relacionados à segurança alimentar, conservação dos recursos naturais e adaptação às mudanças climáticas. As parcerias podem impulsionar o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias sustentáveis, além de viabilizar o acesso a mercados para produtos produzidos de forma responsável e sustentável (Regan et al., 2017 & Rabbani et al., 2023b).

Portanto, o desafio atual do setor agrário/florestal é encontrar soluções inovadoras e sustentáveis que garantam a produção de alimentos, fibras, energia e outros produtos, ao mesmo tempo em que se preservam os recursos naturais, a biodiversidade e os aspectos sociais das comunidades rurais. Esse caminho exige um compromisso coletivo de governos, produtores, indústria, sociedade civil e instituições de pesquisa, visando a construção de um futuro mais resiliente, equitativo e sustentável para o setor agropecuário.

## Conclusões

A baixa diversidade de culturas e produtos energéticos para a produção de biocombustíveis representa um desafio para promoção da sustentabilidade de diferentes setores, uma vez que pode trazer consequências negativas para o clima e a segurança energética nacional. Através do comprometimento dos governos e do setor privado, é possível promover uma transição bem-sucedida para um futuro energético mais limpo, seguro e ambientalmente responsável. Para tanto, é necessário investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a implementação de políticas públicas e o uso de terras degradadas para ampliar as matérias-primas, bem como a utilização dos resíduos do seu processamento. A diversificação do cultivo de espécies energéticas é essencial para construir uma economia resiliente e independente de combustíveis fósseis.

## Referências

- Anjos, S. S. N. dos, & Nascimento Neto, J. O. do. (2021). Avaliação do impacto de política de subvenção econômica na cadeia produtiva de biodiesel de Babaçu. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(Supl. 1), 1–16. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8348>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2023, August 2) *RenovaBio*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>
- Bonassa, G., Schneider, L. T., Canever, V. B., Cremonez, P. A., Frigo, E. P., Dieter, J., & Teleken, J. G. (2018). Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2365–2378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>
- Brasil. (2022). *Portaria SAF/MAPA nº 280, de 27 de maio de 2022*. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-saf/mapa-n-280-de-27-de-maio-de-2022-403689855>
- Cordes, M. W. (2001). Agricultural zoning: Impacts and future directions. N. Ill. *UL Rev.*, 22, (419). <https://huskiecommons.lib.niu.edu/allfaculty-peerpub>
- Cruz, T. V., Cunha, F., de Carvalho, N. B., Lima, A., Assis, M. G., Lino, J. C., & Conceição, I. R. A. (2014). Agricultura de baixo carbono para produção sustentável de biocombustíveis. In *8 Workshop Agroenergia: Matérias Primas*. [http://www.infobibos.com.br/Agroenergia/CD\\_2014/Resumos/ResumoAgroenergia\\_2014\\_034.pdf](http://www.infobibos.com.br/Agroenergia/CD_2014/Resumos/ResumoAgroenergia_2014_034.pdf)
- Csikós, N., & Tóth, G. (2023). Concepts of agricultural marginal lands and their utilisation: a review. *Agricultural Systems*, 204, 103-560.

- Dias, T. A. C. (2021) *Avaliação da disponibilidade de terras e do potencial bioenergético em 2050 considerando os limites da segurança alimentar* [Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, - Universidade Federal de Itajubá].  
[https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2509/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_2021177.pdf](https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2509/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2021177.pdf)
- Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, 15, 1–22. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2022). *Balanço Energético Nacional 2022: ano base 2021*.  
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>
- Fernandes, F., Carvalho, M., Ramos, A., Braga, G., da Fonseca, C. E. L., Ledo, F. D. S., & Machado, J. (2020). *Biomassa de genótipos de capim-elefante para produção de energia*. Embrapa Cerrados.  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222752/1/Bolpd-358-versao-final-bibl.pdf>
- Ferreira, W. L., Hüther, C. M., Pereira, C. R., & da Silva, I. M. (2018). *Desafios ao uso de biodiesel frente à evolução da demanda mundial de energia*. 4 Workshop de Engenharia de Biosistemas - WEB 4.0.  
[https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/8377/Anais%20WEB\\_IV\\_2018-12-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=31](https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/8377/Anais%20WEB_IV_2018-12-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=31)
- Ferreira, P. H., da Silva, G. A. A., Ervite, L., & Castro, D. P. (2018). O Cenário da Produção de Biocombustível no Brasil. *Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias*, 3(1), 89-102.
- Ferreira, V. R. D. S., Takahashi, V. M., DE Cademartori, P. H. G., Carneiro, M. E., & Silva, D. A. da. (2021). Qualidade energética de resíduos madeireiros paricá e Pinus. *Energia na Agricultura*, 36(2), 230-238.  
<http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2021v36n2p230-238>

- Fortaleza, A. P., Ceretta, R. P. D. S., Barros, D. D. S., & Silva, S. S. D. (2019). Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, 29, 1436-1451. <https://doi.org/10.5902/1980509831639>
- Gallardo-López, F., Hernández-Chontal, M., Cisneros-Saguilán, P., & Linares-Gabriel, A. (2018). Development of the Concept of Agroecology in Europe: A Review. *Sustainability*, 10(4), 1210. <https://doi.org/10.3390/su10041210>
- Gazzoni, D. L. (2011). Biocombustíveis e biodiversidade. *BiodieselBR*. <https://www.biodieselbr.com/noticias/columnistas/gazzoni/biocombustiveis-biodiversidade-04-11-09>
- Guerra, A. L. D. S. C., Ságio, S. M., Santos, E. P. dos, Pinheiro Filho, I. S., Silva, L. G. dos S., & Tavares, K. M. (2023). Criatividade e Inovação na Indústria: uso da Macaúba na Produção do Biodiesel. *Revista de psicologia*, 17(66), 413-422. <https://doi.org/10.14295/idonline.v17i66.3784>
- Hakeem, K. R., Bandh, S. A., Malla, F. A., & Mehmood, M. A. (2023). *Environmental Sustainability of Biofuels*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-04172-1>
- IBGE. (2023c). *Tabela 291 - Quantidade produzida e valor da produção na silvicultura, por tipo de produto da silvicultura*. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291>
- IBGE. (2023b). *Tabela 5930 - Área total existente em 31/12 dos efetivos da silvicultura, por espécie florestal*. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5930>
- IBGE. (2023a). *Tabela 6588 - Série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras*. Levantamento sistemático da produção agrícola. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação

Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>

International Energy Agency. (2023, July 31). *Bioenergy: Energy system. Renewables*.

<https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In H. O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.). *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*. Cambridge University Press.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Jarma O, A. D. J., Pompelli, M. F., Oliviera, M. T. de, Rodrigues, B. R. M., Barbosa, M. O., Santos, M. G., & Cortez, J. S. de A. (2011). Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 423–433.

Jayakumar, M., Kaleab Bizuneh Gebeyehu, Lata Deso Abo, Amberbir Wondimu Tadesse, B. Vivekanandan, Venkatesa Prabhu Sundramurthy, Bacha, W., Veeramuthu Ashokkumar, & Gurunathan Baskar. (2023). A comprehensive outlook on topical processing methods for biofuel production and its thermal applications: Current advances, sustainability and challenges. *Fuel*, 349, 128690–128690.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128690>

Kumar, R. (2015) Risking the Farm: Will the Smallholder Survive? *Economic and Political Weekly*, 50(32), 27–31. <https://www.jstor.org/stable/24482522>

Kumar, R., Mishra, V., Buzan, J., Kumar, R., Shindell, D., & Huber, M. (2017). Dominant control of agriculture and irrigation on urban heat island in India. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14213-2>

Lima, J. R. de O., Silva, R. B. da, Silva, C. C. M. da, Santos, L. S. S. dos, Santos Jr., J. R. dos, Moura, E. M., & Moura, C. V. R. de. (2007). Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*)

obtido por via etanólica. *Química Nova*, 30(3), 600–603.

<https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000300019>

Lima, É, R., Silva, R. A. D., Sousa, E. A. M., Amurim, A. I. L. C., & Lichston, J. E. (2019).

Perfil dos agricultores familiares da agrovila canudos, Ceará-Mirim/RN, e aceitação do *Carthamus tinctorius* L. – oleaginosa promissora para biodiesel. *Nature and Conservation*, 12(3), 17-24. doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2019.003.0003>

Marasca, N., Mateus Rodrigues Brito, Michele, Cristiane Pedrazzi, Scapin, E., & Diel, K.

(2022). Analysis of the potential of cupuaçu husks (*Theobroma grandiflorum*) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy generation. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.48421>

Melnikova, I., Boucher, O., Cadule, P., Tanaka, K., Gasser, T., Tomohiro Hajima, Yann

Quilcaille, Hideo Shiogama, Séférian, R., Kaoru Tachiiri, Vuichard, N., Tokuta, Y., & Philippe, C. (2022). Impact of bioenergy crop expansion on climate–carbon cycle feedbacks in overshoot scenarios. *Earth System Dynamics*, 13(2), 779–794.

<https://doi.org/10.5194/esd-13-779-2022>

Mendes, M. C. de Q., Gonzalez, A. A. C., Menezes, M., Nunes, J. M. de C., Pereira, S., &

Nascimento, I. A. (2012). Coleção de microalgas de ambientes dulciaquícolas naturais da Bahia, Brasil, como potencial fonte para a produção de biocombustíveis: uma abordagem taxonômica. *Acta Botanica Brasilica*, 26(3), 691–696.

<https://doi.org/10.1590/s0102-33062012000300019>

Messias, U., Silva, M., Silva Filho, F. A., Veloso, M. D. C., Antonini, J. D. A., Maria da Luz

Lima Silva, U. F. R. P. E., Francisco Artur, & Silva Filho, U. E. S. P. I. (2020).

Potencial físico-químico do óleo do dendezeiro cultivado em Parnaíba, Piauí, para produção de biocombustível. *Comunicado Técnico 255*. Embrapa.

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223595/1/PotencialFisicoQuimicoOleoDendezeiro.pdf>

Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2021). *Ciência Ambiental*. CENGAGE Learning.

Ministério da Agricultura e Pecuária. (2022). *Selo Biocombustível Social promove a inclusão e capacitação técnica de agricultores familiares*. Agricultura Familiar.

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias-2022/mudancas-na-concessao-do-selo-biocombustivel-social>

Ministério de Minas e Energia. (2023). BEM - *Relatório Síntese 2023: ano base 2022*.

Balço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia.

[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2023\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf)

Næss, J. S., Hu, X., Gvein, M. H., Iordan, C. M., Cavalett, O., Dorber, M., & Cherubini, F. (2023). Climate change mitigation potentials of biofuels produced from perennial crops and natural regrowth on abandoned and degraded cropland in Nordic countries. *Journal of Environmental Management*, 325, 116474.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116474>

Nagaishi, T. Y. R., Kato, O. R., Dionisio, L. F. S., Aragão, D. V., Numazawa, S., Lima, E. G. da S., Bronze, A. B. da S., & Nagaishi, M. da S. C. F. (2020). Biocombustíveis alternativos na agricultura familiar na Amazônia. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 65475–65496. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-106>

Nalevaiko, J. Z., Cremonez, P. A., & Teleken, J. G. (2021). Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n1p1-10>

Narita, D. K., Nakashima, G. T., Róz, A. L. D., Pires, A. A. F., & Yamaji, F. M. (2018). Uso do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) para fins energéticos. *Ciência Florestal*, 28, 758-764. <https://doi.org/10.5902/1980509832089>

Paiva, C. Z. M. S., Rabbani, A. R. C., Silva, A. G., Setubal, A. C. & Santos, D. S. S. (2021). *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. e *Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.: espécies promissoras para a bioenergia? In A. R. C. Rabbani, & J. P. Fabris. (Orgs.), *Desafios*

*Ambientais e Culturas Agrícolas*. Backup Books Editora (163–192). Disponível em:  
[https://backupbooks.com.br/index.php?route=product/product&product\\_id=60](https://backupbooks.com.br/index.php?route=product/product&product_id=60)

Passinho, M. S., Barbosa, D., Souza, M. J., & Xavier, N. (2019). Uso da semente de açaí como alternativa energética na indústria de beneficiamento de polpa de açaí. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 1473–1484.  
<https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/298>

Pauli, R. I. P., Zajonz, B. T., Schulz, J. R. da S., & Freitas, C. A. de. (2020). A segurança alimentar e nutricional (San) vem sofrendo restrições pela produção de biocombustíveis? uma análise a partir do modelo de Zockun. *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico*, 2(46). <https://doi.org/10.36810/rde.v2i46.6774>

Parlamento Europeu. (2020) *Perda de biodiversidade: quais as causas e as consequências?*  
<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200109STO69929/perda-de-biodiversidade-quais-as-causas-e-as-consequencias>

Peixoto, R. D. L., Moura, L. F. O., Sousa, A. B. P., Santos, M. V. D., Medeiros, V. M. B., & T.C. Bicudo. (2022). *Dependência das propriedades de fluxo e da estabilidade à oxidação com o grau de insaturação do biodiesel obtido de misturas dos óleos de dendê e soja*. In Editora Científica Digital (Org.). *Open science research IX*. Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/221211252>

Pereira, E. R. de L., Araújo, V. B. da S., Lira, E. B. de, Morais, V. M. M., Sassi, C. F. da C., Fernandes, H. F., Medeiros, M. B. de, Sassi, R., & Athayde-Filho, P. F. de. (2020). Bioprospecção de espécies de microalgas regionais do Nordeste do Brasil para aplicação na produção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(16), 809–833. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071624](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071624)

Queiroz, I. R., Costa, A. S. V. da, Almeida, I. C., Barros, G. F., Alves, W. M., Souza, M. C. de & Franco, M. L., Pompermayer, R. de S., Souza, A. O. & Ferreira, A. C. (2021). Biofuels in Brazil: potentialities of *Crambe abyssinica* culture for biodiesel production. *Research, Society and Development* 10(5), 11510514618.  
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14618>

- Rabbani, A. R. C. (2023a). Culturas Energéticas e o estado da Bahia. *Petim*, 4, 32-36.
- Rabbani, A. R. C., Rabbani, R. M. R., & Rabbani, E. K. (2023b) Somos todos um! In P. A. R. Arenas. (Org.). *Cidadania Mundial: um sonho possível*. Ed. dos Autores.
- Regan, J. T., Marton, S., Barrantes, O., Ruane, E., Hanegraaf, M., Berland, J., & Nesme, T. (2017). Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. *European journal of agronomy*, 82, 342-356. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.005>
- Reis, A. R. S., Reis, J. S. F., Silva, J. R., Carvalho, J. C., Souza, D. V., & Reis, L. P. (2015). Comparação entre Carvão de Coco Babaçu e Carvão de Resíduos Madeireiros Comercializados em Altamira – PA. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 6(2), 100–106. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p100-106>
- Rodrigues, A. (2022). Produção de biocombustíveis a partir de microalgas: uma revisão. *Revista Ambientale*, 14(2), 10–21. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>
- Rosegrant, M. W., Sulser, T. B., & Wiebe, K. (2022). Global investment gap in agricultural research and innovation to meet Sustainable Development Goals for hunger and Paris Agreement climate change mitigation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.965767>
- Ross, F. W. R., Boyd, P. W., Filbee-Dexter, K., Watanabe, K., Ortega, A., Krause-Jensen, D., Lovelock, C., Sondak, C. F. A., Bach, L. T., Duarte, C. M., Serrano, O., Beardall, J., Tarbuck, P., & Macreadie, P. I. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>
- Sachet, E., Mertz, O., Le Coq, J.-F., Cruz-Garcia, G. S., Francesconi, W., Bonin, M., & Quintero, M. (2021). Agroecological Transitions: A Systematic Review of Research Approaches and Prospects for Participatory Action Methods. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.709401>

Santos, A. C. D., Anjos, S. S. N. dos, Braga, M., Viana, N. M., & Soares, I. P. (2022).

Aplicação industrial de óleos vegetais em biocombustível: um estudo prospectivo e análise de sinais para apontar tendências de mercado. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 39(2), 26995. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26995>

Santos, E. C. S. D., Souza, R. C. R., & Seye, O. (2004). Aproveitamento da casca do cupuaçuzeiro para a produção de energia. *Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural*. <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v1/015.pdf>

Santos, J. A. L., & Cruz, C. D. S. (2017). Energias renováveis: potencialidades e desafios da produção de biodiesel na Bahia. *Bahia Análise & Dados*, 27(1), 230-257. [http://www.leste.igeo.ufba.br/sites/leste.igeo.ufba.br/files/renovaveis\\_biodiesel\\_bahia.pdf](http://www.leste.igeo.ufba.br/sites/leste.igeo.ufba.br/files/renovaveis_biodiesel_bahia.pdf)

Schwarz, G., Vanni, F., Miller, D., Helin, J., Pražan, J., Albanito, F., & Zīlāns, A. (2022).

Exploring sustainability implications of transitions to agroecology: a transdisciplinary perspective. *EuroChoices*, 21(3), 37-47. <https://zenodo.org/badge/DOI/10.1111/1746-692X.12377.svg>

Silva, K. P., 2020 *Culturas energéticas debates agroenergéticos*. PPV 688. Culturas Energéticas. Informativo. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. <http://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2020/07/6-Sistemas-integrados-de-cultivo-alimentos-e-energia.pdf>

Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C. J., Thomsen, M., Harvey, B. P., Straub, S. C., Burrows, M. T., Alexander, L. V., Benthuyssen, J. A., Donat, M. G., Feng, M., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., Payne, B. L., & Moore, P. J. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>

Souza, M. G. S., Guimarães, M. G., Macedo, J. L., Rodrigues, J. P., & Ghesti, G. F. (2019). Caracterização e utilização de óleo residual de pequi (*Caryocar brasiliense*) na

produção de biocombustíveis líquidos. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa Em Engenharia*, 5(2), 41–49. <https://doi.org/10.26512/ripe.v5i2.28222>

Stachiw, R., Ribeiro, S. B., Jardim, M. A. G., Possimoser, D., Alves, W. da C., & Cavaleiro, W. C. S. (2016). Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. *Acta Amazonica*, 46(1), 81–90. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201501151>

Suali, E., & Latifah Suali. (2023). Impact assessment of global biofuel regulations and policies on biodiversity. In K. R. Hakeem, S. A. Bandh, F. A. Malla, & M. A. Mehmood. *Environmental Sustainability of Biofuels* (pp. 137–161). Elsevier <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91159-7.00012-6>

Tavares, S. R. de L., & Santos, T. E. dos. (2013, dez.). Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para a produção de biocombustíveis sólidos. *Holos*, 5, 19. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1850>

Usmani, R. A. (2023). Biofuel consumption and global climate change: Solutions and challenges. In K. R. Hakeem, S. A. Bandh, F. A. Malla, & M. A. Mehmood. (Eds.). *Environmental Sustainability of Biofuels* (183-200). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91159-7.00019-9>

Vidal, M. F. (2023, July 31). *Produção e uso de biocombustíveis no Brasil*. [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/914/1/2021\\_CDS\\_184.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/914/1/2021_CDS_184.pdf)

Vidaurre, G. B., Carneiro, A. D. C. O., Vital, B. R., Santos, R. C. D., & Valle, M. L. A. (2012). Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Revista Árvore*, 36, 365-371. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000200018>

Wang, J., Jiang, H., & He, Y. (2023). Determinants of Smallholder Farmers' Income-Generating Activities in Rubber Monoculture Dominated Region Based on Sustainable Livelihood Framework. *Energy Conversion and Management*, 12(2), 281–281. <https://doi.org/10.3390/land12020281>

Marcos D.B. Watanabe, Hu, X., Vedant Ballal, Otávio Cavalett, & Cherubini, F. (2023). Climate change mitigation potentials of on grid-connected Power-to-X fuels and advanced biofuels for the European maritime transport. *Energy Conversion and Management*, 20, 100418–100418. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100418>

Wollmann, C. A., & Galvani, E. (2013). Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. *Sociedade & Natureza*, 25(1), 179–190. <https://doi.org/10.1590/s1982-45132013000100014>

World Wide Fund for Nature. (2022). *Viabilidade da macaúba para a produção de biocombustível: resumo executivo*. [https://wwfbnew.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo\\_macauba\\_final\\_v3.pdf](https://wwfbnew.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo_macauba_final_v3.pdf)

Zimmermann, C. L. (2009). Monocultura e transgenia: impactos ambientais e insegurança alimentar. *Veredas do Direito*, 6(12), 79-100. <https://core.ac.uk/download/pdf/211934062.pdf>

### **Agradecimentos**

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), em especial à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI/IFBA), e a Universidade Federal do Sul da Bahia pelo apoio institucional e financeiro (Edital nº 14/2022/PRPGI/IFBA; CAPES/PROAP/PPGCTA/ 2023) a esta pesquisa.

---

ARTIGO

---

**Análise Institucional Da Governança Das Águas Do Sistema Socioecológico Do Reservatório Epitácio Pessoa Para Adaptação À Variabilidade Climática Entre Os Anos De 2014 E 2018**

**Institutional Analysis Of Water Governance In The Socio-Ecological System Of The Epitácio Pessoa Reservoir For Adaptation To Climate Variability, Through Of The Principles By Ostrom And Huntjens**

Jéssica Rocha<sup>1</sup>; Andréia Myriam da Costa Batista<sup>2</sup>; Alessandro Rodrigues de Amorim<sup>3</sup>; Ana Cristina Souza da Silva<sup>4</sup>; Carlos de Oliveira Galvão<sup>5</sup>.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6566>

**Resumo**

A despeito das diversas ações empenhadas pelo Poder Público em lidar com a seca no semiárido nordestino e, em especial, no semiárido paraibano, a região vem sofrendo com repetidas crises hídricas, que afetam em especial o abastecimento da população. Historicamente, o que se verifica é que nem sempre a problemática decorre tão somente de questões ligadas à imprevisibilidade da variabilidade climática, mas está relacionada, ainda, à falha de gestão eficaz dos recursos hídricos. Estudiosos como Ostrom e Huntjens propuseram a observância de princípios como “limites claramente definidos”, “(re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios”, “governança policêntrica” e “monitoramento da implementação da política de recursos hídricos” na governança de recursos de uso comum, como os recursos hídricos. Nesse ponto, o presente estudo se propõe a analisar a subsunção das políticas de recursos hídricos bem como a conformação das experiências práticas de gestão do reservatório Epitácio Pessoa, localizado no semiárido paraibano, aos princípios mencionados. Para tanto, valer-se-á da análise documental das espécies normativas que tratam da questão, bem como de atas de reuniões realizadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos e pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Alguns dos resultados obtidos das análises foram a identificação de um sistema falho de monitoramento, assim como uma falha na articulação entre os conselhos de recursos hídricos e as agências de águas.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: [jessica.nrocha@ufpe.br](mailto:jessica.nrocha@ufpe.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba – UFPB. E-mail: [andreiabatista.1406@gmail.com](mailto:andreiabatista.1406@gmail.com).

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: [alessandro.amorim@ufpe.br](mailto:alessandro.amorim@ufpe.br).

<sup>4</sup> Universidade Federal da Paraíba – UFPB. E-mail: [ccristina24@yahoo.com.br](mailto:ccristina24@yahoo.com.br).

<sup>5</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: [carlos.galvao@ufcg.edu.br](mailto:carlos.galvao@ufcg.edu.br).

**Palavras-chave:** Adaptação. Governança. Recursos hídricos.

### **Abstract**

Despite the various actions taken by public authorities to deal with drought in the semi-arid northeast of Brazil, and especially in the semi-arid region of Paraíba, the region has suffered from repeated water crises, which particularly affect the supply of water to the population. Historically, the problem has not always stemmed solely from issues linked to the unpredictability of climate variability, but is also related to a failure to manage water resources effectively. This is why scholars such as Ostrom and Huntjens have proposed the observance of principles such as "clearly defined limits", "(re)equal and fair distribution of risks, costs and benefits", "polycentric governance" and "monitoring the implementation of water policy" in the governance of common-use resources such as water resources. At this point, this study aims to analyze the subsumption of water resources policies and the conformation of the practical management experiences of the Epitácio Pessoa reservoir, located in the semi-arid region of Paraíba, to the aforementioned principles. To this end, documentary analysis will be used of the types of legislation that deal with the issue, as well as the minutes of meetings held by the State Water Resources Council and the Paraíba River Basin Committee. Some of the results obtained from the analysis were the identification of a flawed monitoring system, as well as a lack of coordination between the water resources councils and the water agencies.

**Keywords:** Adaptation. Governance. Water resources.

### **Introdução**

A gestão integrada de recursos hídricos convive necessariamente com certo grau de incerteza, como não poderia deixar de ser, uma vez que incide sobre sistemas socioecológicos – SSE (Silva, 2014). Diante da instabilidade provocada pela grande variabilidade climática, o exercício da gestão hídrica deve levar em conta a necessidade de adaptação a eventuais dificuldades enfrentadas pelos sistemas.

No semiárido nordestino, a grande problemática da água sempre foi atribuída à seca. No intuito de superá-la, são realizadas obras de engenharia, dentre as quais pode-se citar a construção do reservatório Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Açude Boqueirão, em razão de sua localidade, e responsável pelo abastecimento de diversos municípios do semiárido paraibano, dentre os quais se incluem Campina Grande. Não obstante os esforços de ordem técnica, o Açude Epitácio Pessoa possui um reiterado histórico de crises hídricas. A primeira grande crise hídrica, que perdurou durante os anos de 1997 e 2003 culminou em racionamento do abastecimento de água para a população. Apesar do posicionamento de especialistas, tais quais Rêgo et al. (2001), já àquela época, apontando que, muito além das condições climáticas, a crise hídrica derivava de deficiências da gestão dos recursos hídricos

da bacia hidrográfica. A situação voltou a se repetir a partir do ano de 2012, com as mesmas consequências na distribuição de água para a população.

O que se observa é que, diante das imprevisibilidades climáticas, as intervenções nos sistemas socioecológicos (Huntjens et al., 2012), com o objetivo de alterar sua capacidade adaptativa, dependem de questões relacionadas com a governança. E muitos problemas de gestão de recursos surgem a partir de falhas na governança, demandando-se, conseqüentemente, melhor compreensão sobre o assunto, a fim de garantir melhor gestão dos recursos naturais e, portanto, também dos recursos hídricos (Silva, 2014). Ostrom (1990), através de uma estrutura de princípios institucionais, contribuiu para a compreensão de como a sociedade pode influenciar de modo sustentável os recursos naturais, e Huntjens et al. (2012) os refinaram para entender a governança da adaptação à mudança climática, no setor da água. Alguns dos princípios propostos por Ostrom (1990) e Huntjens et al. (2012) são: “limites claramente definidos”, “(re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios”, “governança policêntrica” e “monitoramento da implementação da política de recursos hídricos”. Os referidos princípios possuem caráter orientador, de modo que devem reger a atividade gestora dos recursos hídricos.

Nesse ponto, o presente estudo tem como objetivo a análise institucional da governança das águas do sistema socioecológico do reservatório Eptácio Pessoa no cenário entre 2014 e 2018, para adaptação à variabilidade climática, através da análise dos quatro princípios citados. Um primeiro diagnóstico foi realizado por Silva et al. (2013) e Silva (2014), analisando a governança da água do semiárido brasileiro de 1997 a 2013. Pretende-se, assim, colaborar para o entendimento sobre a relação entre as crises hídricas e a governança da água no sistema mencionado.

### **Material e métodos**

A metodologia desta pesquisa consistiu na análise institucional da governança das águas do sistema socioecológico do reservatório Eptácio Pessoa no cenário entre 2014 e 2018, considerando a adaptação à variabilidade climática, através da análise dos princípios propostos por Ostrom (1990) e Huntjens et al. (2012), de acordo com a metodologia proposta por (Silva, 2014), estendendo a análise para o período de 2014-2018.

Foi considerada a análise de políticas as quais a governança dos recursos hídricos se baseia. As participações das partes interessadas nos processos decisórios foram analisadas com relação à política de recursos hídricos. A variabilidade climática e os impactos diante da crise

hídrica no reservatório Epitácio Pessoa foram investigados mediante a política, assim como as regras de governança. As construções das investigações que se seguiram tiveram dois princípios básicos:

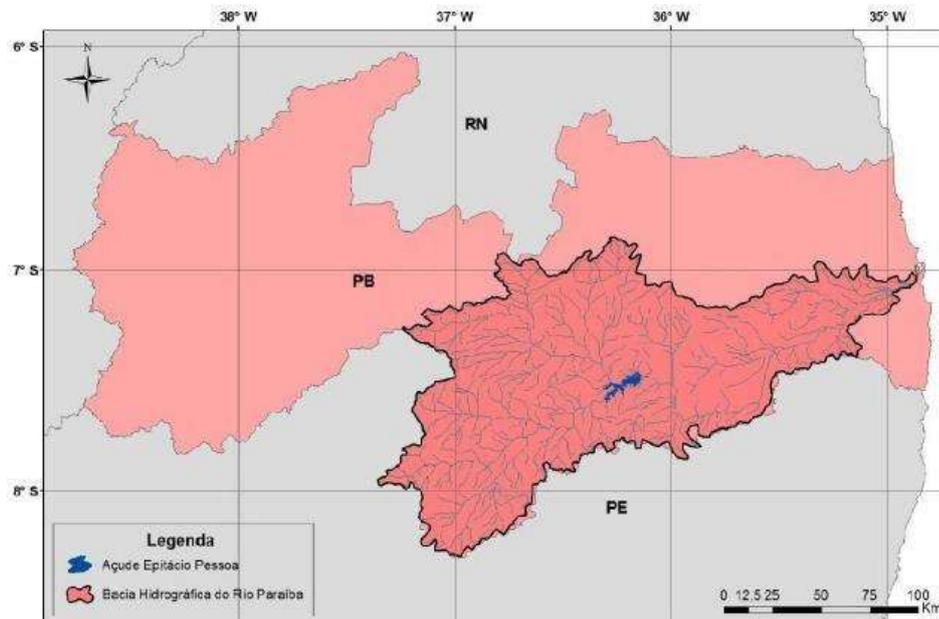
1. A variabilidade climática, para analisar as adaptações e entender melhor os desafios;
2. Conhecimento desenvolvido para adaptar-se às mudanças climáticas que assolam a região na qual o reservatório Epitácio Pessoa está inserido.

Trata-se, portanto, no que diz respeito à finalidade, de pesquisa científica aplicada, porquanto visa identificar falhas na governança do reservatório Epitácio Pessoa, de forma a melhor compreender o cenário atual em que se encontra o açude e identificar meios de superação da crise de abastecimento que atinge a cidade de Campina Grande e adjacências. Quanto à abordagem, é pesquisa de natureza qualitativa, posto que está fundamentada na análise de atas do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Por seu turno, quanto ao método de pesquisa, adotou-se a forma de um estudo de caso, de modo a promover uma compreensão holística da situação que atinge o reservatório Epitácio Pessoa, por meio da lógica indutiva. Já quanto à técnica, trata-se de pesquisa tanto bibliográfica quanto documental, uma vez que perpassa igualmente pela releitura da literatura sobre o tema e pela análise documental.

### **Área de estudo**

O reservatório Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, Paraíba, está inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, conforme a Figura 1. O reservatório Epitácio Pessoa, mais conhecido como Açude Boqueirão, foi construído pelo Departamento de Obras Contra Secas (DNOCS), entre os anos de 1951 e 1956 e inaugurado em janeiro de 1957 (Oliveira & Ambrozevicius, 2017).

Figura 1

*Reservatório Epitácio Pessoa e bacia hidrográfica do Rio Paraíba*

Fonte: Oliveira; Ambrozevicius (2017).

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (Paraíba, 2022), a bacia hidrográfica do Rio Paraíba ocupa uma área de 20.102 km<sup>2</sup> e localiza-se na microrregião do cariri Oriental. O reservatório tem a segunda maior capacidade de armazenamento da Paraíba (466.525.964 m<sup>3</sup>) e é a principal fonte de água para o abastecimento público de 18 municípios paraibanos, entre eles, Campina Grande, segunda cidade mais populosa do estado. Além disso, possibilita a execução de atividades de irrigação e pesca (ANA, 2020). O reservatório vivenciou duas severas crises hídricas nas últimas décadas (1997–2003 e 2012–2017). Ambas tiveram como catalisador os anos com poucas chuvas, mas a ineficiência na gestão dos recursos agravou consideravelmente a situação (Rêgo et al., 2017). A segunda crise, mais crítica, ameaçou colapsar o serviço de abastecimento em 2017, o que não ocorreu graças ao aceleração das obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), que se tornou a única medida a curto prazo capaz de mitigar a problemática (Silva & Ribeiro, 2023).

### **Diagnóstico institucional da governança da água considerando a adaptação à variabilidade**

O diagnóstico institucional da governança da água, considerando a adaptação à variabilidade climática, foi dividido em duas etapas, seguindo a mesma linha metodológica proposta por Silva (2014): análise documental das políticas e planos de recursos hídricos e seu sistema de gerenciamento; e análise de experiências, considerando a variabilidade climática e

seus impactos sobre os usuários de recursos hídricos. Para construir as análises foram utilizados os princípios institucionais propostos por Ostrom (1990, 2005) e adaptados por Huntjens et al. (2012):

1. Limites claramente definidos;
2. (Re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios;
3. Governança policêntrica;
4. Monitoramento da Implementação da Política de Recursos Hídricos.

Foi analisado como e se os princípios institucionais de Ostrom (1990, 2005) e de Huntjens et al. (2012) estão contemplados nos documentos que estabelecem as regras de governança dos recursos hídricos do SSE do reservatório Epitácio Pessoa. O diagnóstico foi realizado considerando a dinâmica do SSE do reservatório Epitácio Pessoa entre o período 2014 – 2018.

### **Análise documental**

Para a análise documental, as instituições analisadas neste projeto de pesquisa foram: as políticas de recursos hídricos nacional e estadual e seus sistemas de gerenciamento; os planos nacional, estadual e de bacia hidrográfica; e outros documentos, como resoluções. A Lei Federal nº 9.433/97 (Brasil, 1997) foi utilizada para a investigação, visto que ela estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Além disso, foi utilizada também a Lei Estadual nº 6.308/96 (Paraíba, 1996), referente aos recursos hídricos do estado paraibano. Ademais, o Plano Nacional de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos também foram utilizados para a construção das análises. Os princípios institucionais mencionados foram considerados nas análises como referência para a governança da água.

### **Análise de experiências sob condições de variabilidade climática**

Para realizar a análise de experiências foi utilizada como base a análise documental. Nesta análise foi investigado como os dispositivos de governança foram efetivados na prática. Foram consideradas nesta análise revisões em teses, dissertações, notícias, atas de reuniões que tivessem dados e informações sobre o período estudado no reservatório Epitácio Pessoa. Baseando-se em Silva (2014), algumas questões foram elaboradas para as análises:

1. Quais foram as estratégias adotadas pelos gestores de recursos hídricos e usuários da água para aproveitar os recursos hídricos em momentos de escassez e de não escassez?
2. Como essas medidas afetaram o SSE estudado?
3. As regras para a governança da água, estabelecidas através das políticas e planos de recursos hídricos, foram implantadas?

### **Resultados e discussão**

Do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, foram analisadas 11 atas de reuniões ordinárias e 1 ata de reunião extraordinária, que cobriram o período dos anos de 2014 a 2018, dentre as quais 4 foram utilizadas para realização de cotejo analítico de acordo com os princípios institucionais. No caso do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – CBHPB, no que diz respeito ao período de 2014 a 2016, 4 foram as atas de reuniões ordinárias analisadas e 3 as atas efetivamente cotejadas.

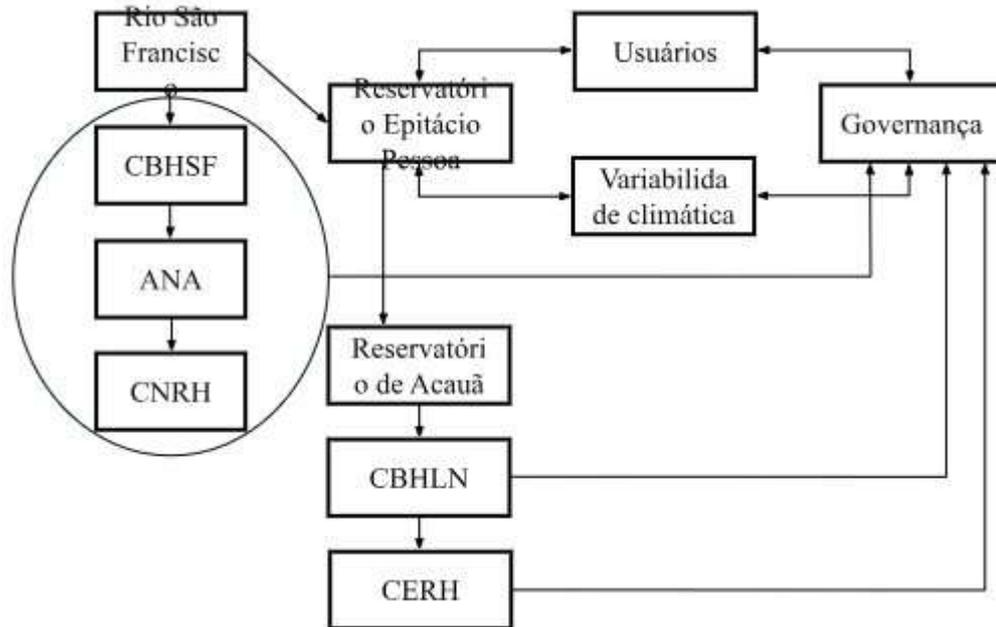
#### **Identificação de variáveis e interações do SSE**

A configuração do SSE do Reservatório Eptácio Pessoa, é apresentada na Figura 2. Segundo Silva (2014), partindo de uma análise geral, as regras de governança estão relacionadas com a dominialidade. Essa dominialidade dos recursos hídricos, estabelecida na Constituição Federal, orienta a configuração do sistema de gerenciamento nas políticas de recursos hídricos. As relações atualizadas de Silva et al. (2015), segundo a dominialidade, no Reservatório Eptácio Pessoa são:

- Interações do sistema do recurso e governança – A bacia hidrográfica do rio Paraíba é uma bacia hidrográfica estadual, pois nela só existem rios de domínio estadual.
- Interação unidade do recurso e governança – O reservatório Eptácio Pessoa é um reservatório de domínio federal, porque as suas águas são reservadas por estrutura física construída pela União.

Figura 2

*Interações do SSE do Reservatório Epitácio Pessoa*



Fonte: Autores.

Há também outras relações com o SSE do caso de estudo:

- Interações reservatório e usuários – interação entre o volume armazenado no reservatório e o histórico de uso de suas águas pelos seus usuários.
- Interações variabilidade climática e reservatório – interação entre a variabilidade climática e o volume armazenado no reservatório.
- Interações governança e usuários – interação entre a aplicação da política e os usuários de água.
- Interações variabilidade climática e usuários – interação entre a variabilidade climática e usuários de água.
- Interações de configurações socioeconômicas, políticas e usuários – interação entre configurações socioeconômicas e o aumento ou redução da demanda hídrica do reservatório, pelos seus usuários.
- Interações entre o Rio São Francisco e o reservatório Epitácio Pessoa – com a transposição do rio São Francisco, a interação entre os sistemas foi criada.
- Interação entre o reservatório Epitácio Pessoa e o reservatório de Acauã – as águas do reservatório Epitácio Pessoa são liberadas para o reservatório de Acauã, causando, assim, uma interação entre esses dois sistemas.

## Princípio “Limites Claramente Definidos”

Elinor Ostrom, em seu livro “*Governing the Commons*”, dissertou acerca da necessidade da observância de certos princípios a fim de garantir a sustentabilidade daquilo que denomina *Common Pool Resources* (CPRs) – o que, entre nós, pode ser entendido como recursos de uso comum. Dentre eles, encontra-se o princípio dos limites claramente definidos. Para Ostrom (1990), “a atitude de definir claramente os indivíduos e/ou unidades familiares que têm direito de retirar unidades de recursos de uso comum, bem como de definir os limites do próprio CPR, deveria ser pensada como o primeiro passo para a gestão coletiva”. Assim, é somente com a clara definição dos sujeitos que podem fazer uso do recurso comum que se torna possível usá-lo de forma sustentável. Desse modo, enquanto não definidos os limites, os usuários locais enfrentam o risco de que os benefícios produzidos por seus esforços perante o CPR possam ser colhidos por indivíduos que não contribuíram para tanto. Ademais, a importância da definição clara do limite do próprio recurso reside na possibilidade de que mesmo um grupo limitado de usuários aumente a quantidade de retirada de unidades do recurso de maneira tal que venha a culminar na destruição total do próprio CPR.

Huntjens et al. (2012), por seu turno, estenderam o âmbito do princípio, definindo-o como a necessidade de se obter “clareza sobre os usuários de água interessados no processo de adaptação e sobre quem tem direito de uso dos recursos hídricos em caso de secas. Em caso de inundações, clareza sobre quem é afetado por esse problema e que tem a responsabilidade, capacidade, o acesso aos recursos e informações para lidar com este problema”. Para esta análise, este princípio foi inicialmente investigado em termos de adaptação à variabilidade climática, ou seja, quem tem o direito de uso da água, não só em época de secas, mas também em períodos chuvosos. O limite do próprio recurso também foi investigado na análise, como proposto originalmente por Ostrom.

### **A Política Nacional de Recursos Hídricos e o princípio dos limites claramente definidos**

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída em 1997, pela Lei nº. 9.433 e constitui o marco jurídico para a governança da água no Brasil. Para cumprir seus objetivos a PNRH conta com cinco instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia hidrográfica e pelo governo de cada Estado; o enquadramento dos corpos d’água em classes segundo os usos preponderantes da água; a outorga de direito de uso; a cobrança pelo uso dos

Recursos Hídricos; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Para o âmbito deste estudo, convém uma análise mais detalhada acerca dos institutos da outorga e da cobrança.

### **Outorga de direitos de uso de recurso hídrico e limites claramente definidos**

As águas são bens públicos, pertencentes à União ou aos Estados-membros nos termos da Constituição da República de 1988 (Brasil, 1988). Em assim sendo, os corpos d'água gozam de todas as prerrogativas conferidas aos bens públicos, o que inclui o marco da inalienabilidade. Dessa forma, a utilização das águas pelos usuários é disciplinada e permitida por meio de outorga de uso, conforme regulamenta a PNRH. Silva et al. (2013) definiram a outorga para o princípio dos limites claramente definidos.

O instituto em questão se coaduna especialmente com o princípio dos limites claramente definidos, mormente no que diz respeito aos limites subjetivos, isto é, no que concerne à delimitação de quais indivíduos e unidades familiares possuem direito de retirar unidades do recurso hídrico. De outro turno, o controle por meio da concessão de outorgas previne, ao menos em tese, o esaurimento do recurso hídrico, uma vez que, conforme disposição insculpida no artigo 11 da Política Nacional de Recursos Hídricos, “o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”.

O ente legitimado para conceder outorga de direitos de uso será, a depender de o domínio do corpo de água pertencer à União ou ao Estado-Membro, respectivamente, a Agência Nacional de Águas – ANA ou a Agência Estadual de Águas (a AESA, no caso do Estado da Paraíba). Regra geral, sob a normativa constitucional vigente, as águas são de propriedade dos Estados-Membros, nos termos do artigo 26, inciso I, da CF/88. Excepcionalmente, porém, conforme preceitua o inciso III, art. 20, da CF, há de se falar de águas de domínio da União. Na hipótese do presente caso sob exame, constata-se que as águas do reservatório Epitácio Pessoa foram represadas por obra federal e encontram-se em área de domínio da União, de forma que, conseqüentemente, a ANA era a agência responsável pela concessão de outorga de uso de tais águas. Essa atribuição, contudo, foi delegada à agência estadual.

A grande problemática relacionada às outorgas e ao descumprimento do princípio institucional dos limites claramente definidos, contudo, reside na ausência de pessoal suficiente à efetiva fiscalização da concessão e da renovação das outorgas, bem como do regular exercício da utilização dos recursos hídricos. Nesse sentido, corrobora o relatado na ata da 35ª Reunião Ordinária do CERH (2015a). Foi constatado que do universo de cadastro de usuários, apenas

80% eram outorgados. Desse número, por outro lado, cerca de 60% se encontravam com a outorga vencida. Não por acaso, àquela ocasião, vivia-se um quadro de grande insegurança hídrica, tendo sido solicitado da AESA não apenas um sistema de monitoramento pluviométrico, mas um sistema de concessão e acompanhamento de outorgas eficaz e efetivo. A situação culminou, um mês depois, em racionamento da água para abastecimento da população.

O reservatório Epitácio Pessoa, conforme ata da 1ª Reunião Ordinária do CBHPB (2015a), contava com capacidade baixíssima e ausência de recarga, tendo a CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) iniciado regime de racionamento. Naquele momento, a preocupação era também saber quem sofreria os custos do baixo armazenamento no açude, isto é, quem efetivamente suportaria o ônus do racionamento. Era alegado por alguns que os pequenos agricultores seriam os maiores prejudicados, enquanto o setor da construção civil seguia sendo beneficiado pelas águas de Boqueirão. Devido ao estresse hídrico que atravessava a Paraíba, muitas das outorgas de direitos de uso não foram renovadas, conforme demonstra a leitura da ata da 37ª Reunião Ordinária do CERH (2016).

Durante a 1ª Reunião Ordinária do CBHPB (2016), a situação hídrica do Açude Epitácio Pessoa foi apresentada, bem como a questão do racionamento e quais as ações seriam tomadas frente à escassez hídrica. Em março de 2011, o açude extravasou. Em julho de 2014, porém, a irrigação foi suspensa e em 2015 foi publicada Resolução da ANA e da AESA determinando que a CAGEPA somente estava autorizada a captar até 881 l/s e, a partir de novembro daquele ano até àquela data, 650 l/s, quando o reservatório contava com um volume armazenado aproximado de 50 hm<sup>3</sup> (ANA et al., 2015). Mais uma vez, portanto, a população das cidades abastecidas pelo reservatório precisou conviver com o sistema de racionamento de água. Acerca dessa questão foi informado, à época, ainda, que o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as bacias do Nordeste Setentrional Eixo Leste estava 86% concluído desde abril de 2016 e com previsão de conclusão para o primeiro trimestre de 2017. Ademais, sugeriu-se a continuidade das ações de combate ao desperdício de água pela CAGEPA, a formação de comissão de açudes, a implantação de cobrança pelo uso de água, bem como, dentre outras ações de enfrentamento da crise, a fiscalização continuada.

A deficiência no exercício da fiscalização, no entanto, parece ter sido um problema frequentemente enfrentado pela governança das águas no Estado da Paraíba. Nesse sentido, na 39ª Reunião Ordinária do CERH (2017), realizada em março de 2017, foi apontado que, desde que a AESA foi criada em 2005, era prometida a realização de concurso para o provimento de cargos, sem, contudo, ser o certame efetivamente realizado, o que culminou numa situação

insustentável para a agência. Isso porque faltavam funcionários suficientes para atender à demanda de fiscalização e análise de outorgas. A isso devia-se o fato de que, naquela ocasião, 70% das outorgas estavam vencidas.

Permita-se, nesse ponto, a realização de uma pequena incursão jurídica para explicar que a outorga de direito de uso de recurso hídrico é ato administrativo mediante o qual o poder público, na qualidade de outorgante, faculta ao requerente o direito de uso de determinado recurso hídrico, por um prazo determinado e mediante cumprimento das condições impostas. Em assim sendo, o decurso do prazo deferido na outorga sem a devida renovação equivale, juridicamente, à inexistência do ato administrativo, isto é, à inexistência da outorga de direito de uso. A partir disso, conclui-se que, na ocasião daquela 39ª Reunião Ordinária do CERH (2017), cerca de 70% das “outorgas”, na verdade, não existiam de direito, embora, de fato, a utilização do recurso efetivamente ocorresse. Acerca disso, necessário e importante é esclarecer – ainda de um ponto de vista jurídico – que a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) define, em seu artigo 49, inciso I, que “derivar ou utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, sem a respectiva outorga de direito de uso” constitui, inclusive, infração administrativa, sujeita a advertência, multa e mesmo embargo (provisório ou definitivo), nos termos do artigo 50 da mesma norma.

Ainda nessa incursão pelo direito, saliente-se que a aplicação de penalidades administrativas como as elencadas no art. 50 da PNRH depende de prévio processo administrativo. Nesse sentido, necessário seria que auditores fiscais ambientais realizassem, *in loco*, a lavratura de autos de infração e dessem início administrativamente a processo administrativo visando, ao cabo, a aplicação de uma das penalidades. A concretização dessa hipótese requer, necessariamente, a disponibilidade de pessoal capacitado em quantidade suficiente para cumprir todas essas etapas administrativas. Daí decorre a importância da pauta tratada na 39ª Reunião Ordinária do CERH (2017), uma vez que a ausência de concursos públicos de provimento de cargos na AESA e, conseqüentemente, a ausência de agentes públicos culmina, invariavelmente, em dificuldades na fiscalização das concessões das outorgas de direito de uso dos recursos hídricos no Estado da Paraíba, bem como das renovações daquelas outorgas já concedidas.

Na qualidade de agências reguladoras, tanto a AESA quanto a ANA só conseguem exercer qualquer gerência efetiva sobre aqueles usuários dos recursos hídricos que estão devidamente outorgados. A elevada quantidade de usuários habituais que não possuem outorgas de direito de uso do recurso hídrico – quer porque nunca lhe foi concedida qualquer outorga, seja porque a outorga anteriormente concedida encontra-se vencida – contraria frontalmente o

princípio dos limites claramente definidos, uma vez que a definição dos sujeitos que se valem do recurso de uso comum resta obscura.

### **Princípio “(Re)Distribuição Igual e Justa de Risco, Custos e Benefícios”**

O princípio da (re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios é proposto por Huntjens et al. (2012), sobre diplomacia relacionada à água com foco em prevenção e resolução de disputas internacionais relativas à água, em seu artigo “*Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector*”. Muito embora, no âmbito de atuação de Huntjens, isto é, internacionalmente falando, o princípio seja pensado sob a ótica do compartilhamento dos custos e benefícios produzidos a montante e a jusante – mormente naquelas bacias hidrográficas que ocupam o território de dois ou mais Estados – internamente, pode ser compreendido como a exigência de envolvimento e forte representação de grupos suscetíveis de serem altamente afetados ou especialmente vulneráveis por atos de governança hídrica.

O princípio da “(re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios” relaciona-se, de certo modo, com o princípio dos “limites claramente definidos”, na medida em que é necessário delimitar os sujeitos entre os quais os riscos, custos e benefícios precisam ser (re)distribuídos de forma igualitária e justa. De igual forma, relaciona-se também com o princípio dos “limites claramente definidos”, em seu aspecto objetivo, haja vista a distribuição igualitária e justa dos riscos, custos e benefícios decorrentes do recurso hídrico ter como pressuposto a capacidade distributiva do próprio recurso, ou seja, o conhecimento acerca dos limites do próprio recurso.

No que concerne à distribuição justa e igualitária de custos, o instituto da cobrança e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba exerce papel especial, conforme citado por Silva (2014). São cobrados, conforme prevê o art. 20 da PNRH, os usos de recursos hídricos sujeitos a outorgas. Possui legitimidade para realizar a cobrança, tal como ocorre com a outorga, a AESA ou a ANA, a depender de quem exerça domínio sobre a água, se Estado da Paraíba ou União.

Destaca-se, nesse aspecto, a existência do Fundo Estadual de Recursos Hídricos, regulamentado pela Lei Estadual nº 6.308, de 02 de julho de 1996, para o qual as cobranças realizadas pela AESA são destinadas. Segundo dados extraídos do próprio site da agência, durante o período de 2015 a 2019, os valores arrecadados com a cobrança da água bruta, somente na Bacia do Rio Paraíba, foram da ordem de R\$ 3.358.445,30. A nível nacional, por

seu turno, o Projeto de Lei nº 6.979/02 (Brasil, 2002) que previa a criação de um Fundo Nacional de Recursos Hídricos, foi rejeitado em 2013 pela Câmara dos Deputados. Esse fundo seria administrado, em forma de colegiado, pelo Ministro de Estado de Meio Ambiente, pelo Secretário Executivo do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e pelo Presidente da ANA. O referido fundo seria abastecido, além de recursos orçamentários a ele destinados, por parcelas provenientes da cobrança pelo uso de recursos hídricos e da compensação financeira de que trata o § 1º do art. 20 do texto constitucional.

De toda sorte, levando em conta essa gestão descentralizada, bem como tendo em vista as obras de transposição do Rio São Francisco, que impactou consideravelmente a capacidade dos cursos d'água e das águas represadas no decorrer da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, ANA e AESA publicaram a Resolução Conjunta ANA-AESA nº. 87, de 05 de novembro de 2018, estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para o Sistema Hídrico Rio Paraíba - Boqueirão, durante o período de pré-operação do Projeto de Integração do Rio São Francisco (ANA et al., 2018).

### **(Re)Distribuição Igual e Justa de Riscos, Custos e Benefícios e outorga de direito de uso de recursos hídricos**

A outorga é um instrumento importante no caminho de materialização do princípio de (re)distribuição igual e justa de riscos, custos e benefícios. Assim o é porque, segundo Silva et al. (2013) e Silva (2014), o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, conforme preleciona o artigo 11 da Política Nacional de Recursos Hídricos. Assim, em tese, a correta aplicação das políticas públicas no setor dos recursos hídricos possui a aptidão de garantir a distribuição igualitária e justa. A prática, contudo, não tem demonstrado a materialização de justiça e igualdade.

No que concerne ao reservatório Epitácio Pessoa, esclarece Silva (2014) que, de acordo com a Nota Técnica nº 08/2009/GEREG/SOF-ANA (ANA, 2009), não há disponibilidade hídrica do reservatório Boqueirão excedente para outras atividades, além do abastecimento humano (*princípio distribuição igual e justa de riscos*). E, mesmo assim, o uso da água para irrigação continua a ser permitido pela ANA. Por um lado, o desprezo aos limites concretos e reais do próprio recurso somente pode gerar injustiças e desigualdades na distribuição. Isso porque, na prática, a permissão de uso de água para irrigação, a título de exemplo, quando numa situação de crise hídrica tal qual a vivenciada pelo reservatório sob análise, resulta

inevitavelmente na indisponibilidade de água para o abastecimento humano – quando a PNRH tem como um de seus fundamentos o uso prioritário dos recursos hídricos para o consumo humano e a dessedentação de animais em situações de escassez (art. 1º, III, PNRH).

Observado de outro ângulo, a já explicitada problemática que envolve a concessão, a renovação e a fiscalização de outorgas de direitos de uso de recursos hídricos no Estado da Paraíba é outro entrave na concretização do princípio proposto por Huntjens. Ainda de acordo com Silva (2014), “isso poderia ser corrigido através da fiscalização e através de ambientes de discussão para o tratamento de conflitos pelo uso da água, indicando formas mais adequadas para evitar seu desperdício e contribuir para o aumento de sua disponibilidade”.

Os usos irregulares dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa impactam, ademais, a própria disponibilidade de água disponível para uso comum. Dessa forma, o enorme número de outorgas vencidas e de usuários que em momento algum foram sequer outorgados interfere diretamente no direcionamento das águas do reservatório para a população. Assim é que, mais uma vez, um grande obstáculo a ser vencido para a concretização de uma governança mais alinhada aos princípios institucionais propostos por Huntjens reside na ausência de fiscalização ambiental adequada.

### **Princípio “Governança Policêntrica”**

Para recursos de uso comum, o princípio Governança Policêntrica pode ser definido como várias camadas de empreendimentos aninhados que são organizados em resolução de conflitos, fiscalização, monitoramento, provisão, apropriadores e atividades de governança (Ostrom, 1990, *apud* Silva, 2014). Analisando a política Nacional de Recursos Hídricos, em seu artigo 33º há a organização das entidades do SINGREH, que são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Agência Nacional de Águas; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e Municipais, cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; as Agências de Água. Segundo Silva (2014), a governança ocorre em vários níveis, isto inclui o local, o Reservatório Epitácio Pessoa, as pessoas que se relacionam diretamente com o recurso, a bacia Hidrográfica, os Conselhos Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e as Agências de Águas, todos atuando no SSE do Reservatório Epitácio Pessoa.

Os planos de recursos hídricos são instrumentos de gestão de recursos hídricos, enquanto o CBHPB, o CBHLN, o CBHSF, o CNRH e o CERH são entes do sistema de

gerenciamento de recursos hídricos, e, portanto, atendem ao princípio Governança Policêntrica, para tornar a gestão descentralizada e participativa. Caso os Planos de Recursos Hídricos não sejam seguidos e considerados, a gestão se torna centralizada pelas Agências de Água federal e estadual e, deste modo, a governança estaria prejudicada. Como citado no tópico 3.2.2, as atas do CBHPB do ano de 2015 trouxeram uma preocupação com a crise hídrica na qual o Reservatório Eptácio Pessoa está inserido. Segundo a ata, propostas e discussões a respeito de limites e racionamento foram implementadas, assim como a conscientização dos municípios que utilizam a água do reservatório em questão. Percebeu-se uma articulação entre a ANA e a AESA, visto que a ANA não consegue realizar uma total gestão estando em Brasília.

Na ata do nº 2 de agosto de 2015 do CBHPB (2015b) houve a discussão a respeito da cobrança dos recursos hídricos no reservatório Eptácio Pessoa. Porém, como o Boqueirão é um reservatório Federal, a AESA não tinha, no período avaliado, competência para aplicar a cobrança. Apenas em 2021, a ANA, por meio da Resolução nº. 98, de 20 de setembro de 2021 (ANA, 2021), delegou à AESA a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União existentes em áreas inseridas em Unidades Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado. A atualização do preço público para a cobrança (um dos instrumentos de gestão instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como objetivo estimular o uso racional da água e gerar recursos financeiros para investimentos na recuperação e preservação dos mananciais das bacias) foi instituída para o reservatório pela Resolução do nº 192 do CNRH (2017).

A Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que a União deve se articular com os Estados, tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum. A Resolução do CNRH nº 195 de 2018 trouxe uma atualização, visando definir as prioridades de aplicação dos recursos provenientes da cobrança pelo uso da água, na qual estabeleceu formas e procedimentos para a articulação entre os Comitês de Bacia Hidrográfica de rios de domínio da União, os Comitês de Bacias Hidrográficas de rios de domínio dos estados e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Algumas das prioridades serão apresentadas abaixo:

- Identificar, avaliar e propor ações para áreas com risco de ocorrência de inundações, secas, entre outros eventos extremos relacionados à água, que gerem situações adversas à população.
- Implantar a cobrança para usos significantes da água, visando incentivar a sua racionalização e obter recursos financeiros para a conservação das bacias hidrográficas.

Apesar do reservatório Epitácio Pessoa ter passado por uma crise hídrica, a articulação entre os conselhos de recursos hídricos e o CBHPB ocorre de modo incipiente, para o período avaliado 2014-2018, como também demonstrado por Silva (2014) para um período anterior. Percebe-se assim, nas análises das Atas das reuniões do CBHPB e nas resoluções do CNRH, uma falha na gestão descentralizada do reservatório Epitácio Pessoa.

A governança policêntrica está presente também nas interações que ocorrem com a transposição do Rio São Francisco, eixo leste, o qual o reservatório Epitácio Pessoa começou a receber água em abril de 2017. Esta transposição foi essencial naquele período para minimizar a crise hídrica nesta região, que estava passando por sequencias de racionamentos.

Segundo Silva (2014), a Política Nacional de Recursos Hídricos relaciona os Comitês de Bacias segundo a sua área de atuação, como:

- Comitês de bacias de rios de domínio federal
- Comitês de bacias de rios de domínio estadual

Essa determinação é o que faz as interações ocorrerem entre os entes do SINGREH, para o tratamento das questões dos recursos hídricos de comum interesse. Porém, é importante que exista maior clareza na Política Nacional de Recursos Hídricos sobre como tratar bacias com rios de domínio estadual, mas que possuem águas de domínio federal em seus reservatórios. Como é o caso do Reservatório Epitácio Pessoa.

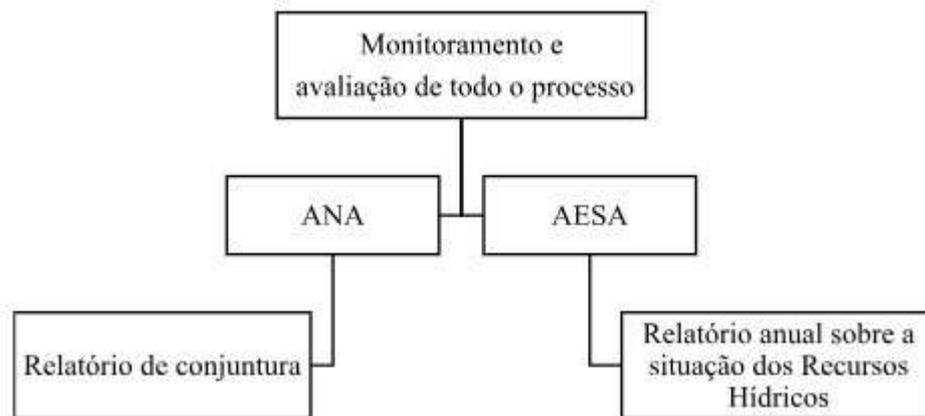
### **Princípio “Monitoramento da Implementação da Política de Recursos Hídricos”**

O monitoramento de Instituições Robustas não é realizado por autoridades externas, porém pelos próprios participantes (Ostrom, 1990, *apud* Silva, 2014). Ao aperfeiçoarem esse princípio, Huntjens et al. (2012), o definiram como criação de uma base social e reflexiva e de apoio a transparência; reflexão sobre as consequências intencionais e não intencionais das ações tomadas, assim como ajustes dos processos. Os planos de recursos hídricos, segundo o artigo 6º da Lei Federal nº 9.433/1997, “são planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos”. Por esse motivo, é considerada nesta análise que o monitoramento da implementação da política é dado através do monitoramento da implementação dos Planos de Recursos Hídricos (Silva et al., 2013).

O papel do monitoramento (Figura 3) foi estendido para outras entidades do SINGREH, através de outras leis. A ANA, segundo a lei, deve supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos. A lei que cria a AESA estabelece que compete a esse órgão elaborar um relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Estado (Silva et al., 2013 & Silva, 2014).

Figura 3

*O papel da ANA e da AESA no SINGREH*

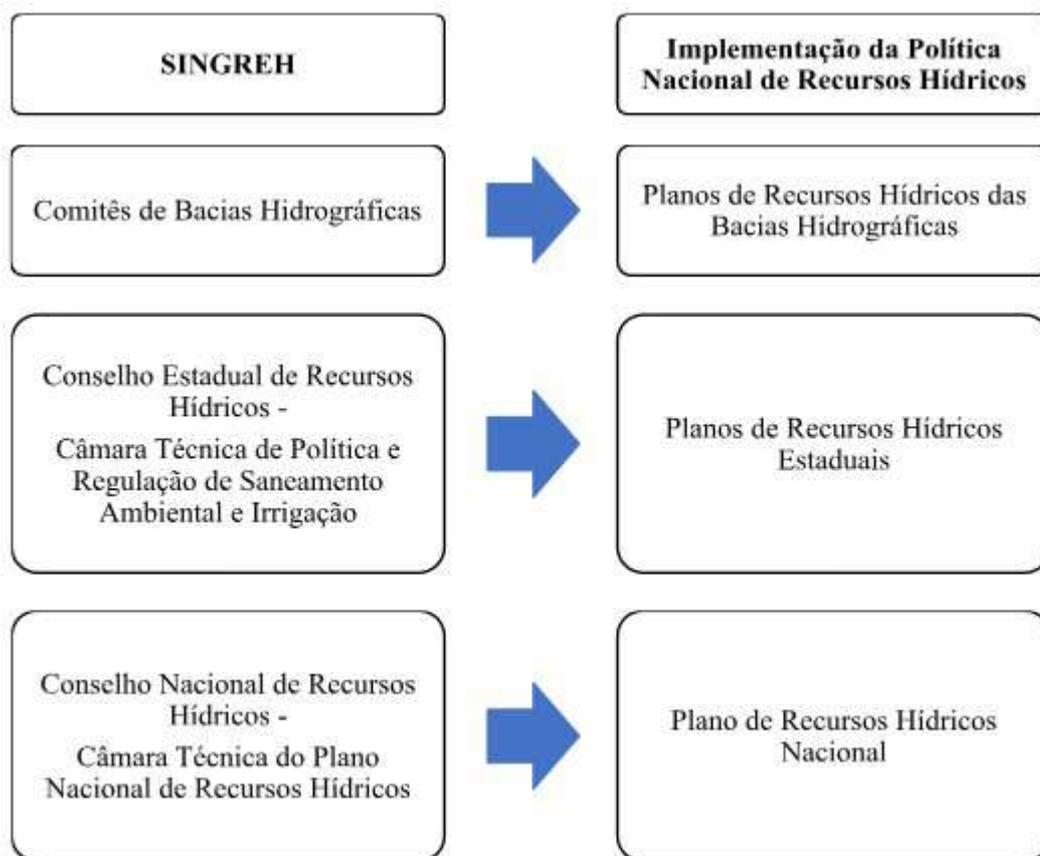


Fonte: Silva (2014).

São consideradas três escalas de Planos de Recursos Hídricos estabelecidos na Política de Recursos Hídricos (Figura 4): Os Planos de Bacias Hidrográficas; Os Planos Estaduais; O Plano Nacional. Os componentes do SINGREH têm a competência de acompanhar a execução dos Planos e aprová-los.

Figura 4

*Acompanhamento dos Planos de Recursos Hídricos e os Conselhos e Comitês*



Fonte: Silva (2014).

### **Monitoramento do Plano Nacional de Recursos Hídricos**

Um resumo da análise documental para o Monitoramento do Plano Nacional de Recursos Hídricos é apresentado na Figura 5. Algumas Resoluções anteriores ao período 2014 – 2018 são importantes para o melhor entendimento das posteriores. Segundo Silva (2014), são elas: as Resoluções CNRH n° 58/2006 (CNRH, 2006) e n° 69/2007 (CNRH, 2007). O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNHR) foi aprovado em 2006 através da Resolução n° 58, assim como a sua revisão a cada quatro anos. Além disso, essa Resolução define igualmente que a ANA deve elaborar anualmente e dar publicidade ao relatório denominado “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil”. A Resolução do CNRH n° 69/2007 aprovou a proposta do Sistema de Gerenciamento Orientado para os Resultados do PNRH (SIGEOR), como parte do detalhamento do Programa XIII do PNRH – Gerenciamento Executivo e de Monitoramento e Avaliação da Implementação do PNRH.

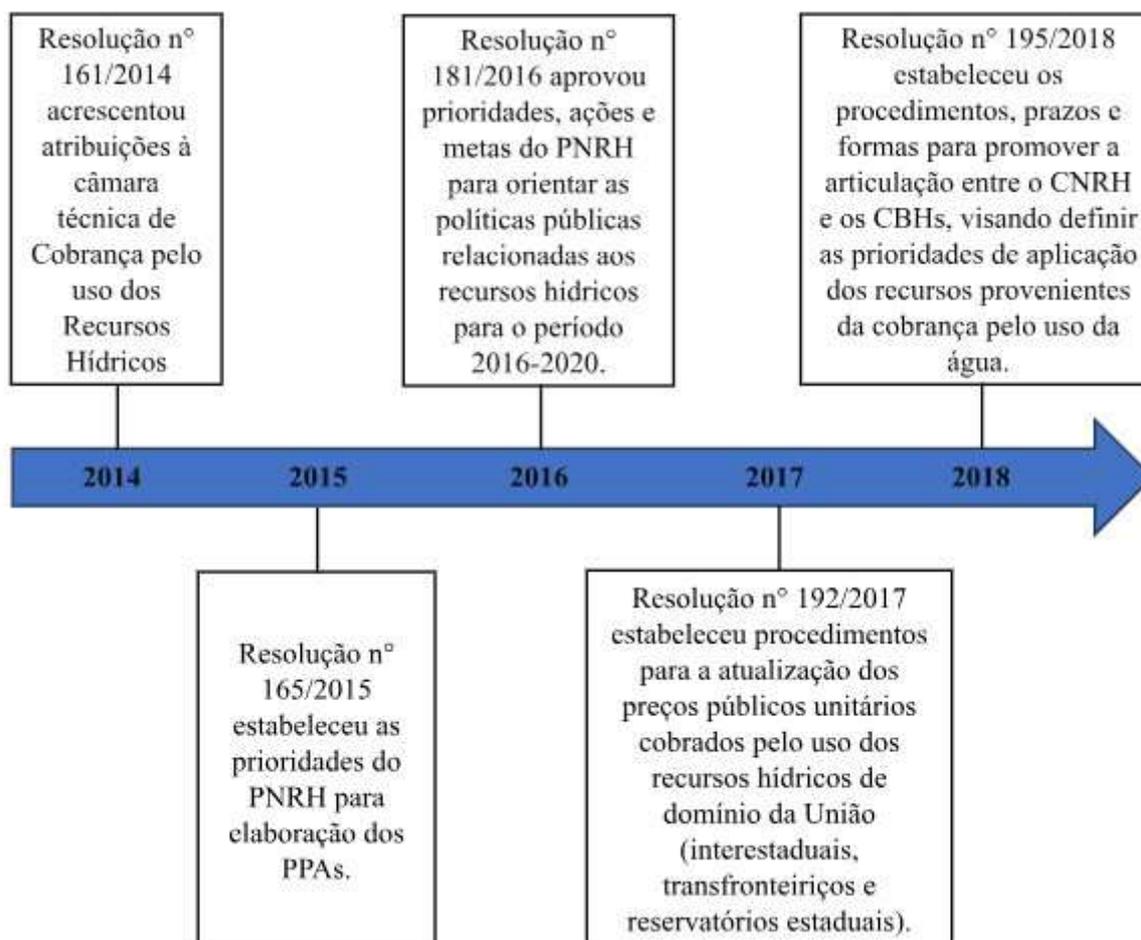
Na extensão da investigação para o monitoramento, foram encontradas algumas resoluções. Em 2014 foi publicada a Resolução nº 161 do CNRH (2014), na qual acrescentou atribuições à câmara técnica de Cobrança pelo Uso de Recursos hídricos. As atribuições acrescentadas a essa resolução foram:

- Acompanhar a aplicação dos recursos da cobrança pelo uso da água, referidos no inciso II do §1º do Art. 17 da Lei nº. 9.648, de 27 de maio de 1998 (Brasil, 1998), com a redação dada pelo Art. 28 da Lei nº. 9.984, de 17 de julho de 2000 (Brasil, 2000), em conformidade com as prioridades estabelecidas pelo CNRH.
- Elaborar e encaminhar relatório ao CNRH sobre a aplicação dos recursos e eventuais inconformidades verificadas no inciso anterior, após o recebimento das informações pertinentes a serem encaminhadas pela ANA.

A Resolução nº 165/2015 do CNRH (2015) estabeleceu as prioridades do Plano Nacional de Recursos hídricos (PNRH) para elaboração dos Planos Plurianuais – PPAs federal, estadual e distrital para o período de 2016 – 2019. A Resolução nº 192/2017 do CNRH (2017) estabeleceu procedimentos para a atualização dos preços públicos unitários cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União (interestaduais, transfronteiriços, e reservatórios estaduais). O Reservatório Epitácio Pessoa como já mencionado é federal, logo o documento o abrange. Ainda analisando os documentos, a Resolução nº. 195/2018 do CNRH (2018) alterou a Resolução nº. 70/2007 do CNRH (2007) que estabeleceu os procedimentos, prazos e formas para promover a articulação entre o CNRH e os Comitês de Bacia Hidrográfica, visando definir as prioridades de aplicação dos recursos provenientes da cobrança pelo uso da água.

Figura 5

*Linha do tempo das Resoluções do CNRH entre o período de 2014-2018*



Fonte: Autores.

### **Monitoramento do plano estadual de recursos hídricos e do plano diretor da bacia hidrográfica do rio Paraíba**

Segundo Silva (2014), o Plano Estadual de Recursos Hídricos só foi aprovado em 2011 através da Resolução n° 13/2011 do CERH (2011). Nesta mesma Resolução consta como ocorrerá a sua implementação. Segundo esse documento, no seu artigo 2°: A AESA, órgão gestor, deverá elaborar anualmente, bem como dar publicidade, ao relatório denominado “Relatório Anual sobre a situação dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba” e submetido ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Não foi publicada, entre 2011 e 2018, nenhuma resolução que tratasse sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos e sua revisão. Além disso, o Monitoramento do Açude Epitácio Pessoa é realizado com contribuição do Fundo Estadual.

O acompanhamento do PNRH entre os anos de 2014-2018 foi realizado através de dois mecanismos: os Informes do Sistema de Gerenciamento Orientado para Resultados do PNRH (Informes SIGEOR/PNRH) e os Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, desenvolvidos pela ANA. Em 2015 foi lançado um informe do CNRH sobre a implementação do PNRH 2012-2014 e perspectivas para 2015 (SRHU/MMA et al., 2015), no que diz respeito às contribuições dos programas e subprogramas realizados. No que diz respeito aos relatórios de conjuntura da ANA, que serve para auxiliar o monitoramento do Plano Nacional de Recursos Hídricos e a sua revisão, foram produzidos os seguintes relatórios ou informes:

- 2014: Informe especial sobre a crise hídrica (ANA, 2015a);
- 2015, 2016 e 2018: Informes (ANA, 2015b, 2016, 2018);
- 2017: Relatório de Conjuntura Pleno (ANA, 2017);

Deste modo, o Relatório de Conjuntura tem periodicidade quadrianual e apresenta o Estado da Arte e o Balanço dos últimos quatro anos, baseados nos Relatórios de Conjuntura de informes de periodicidade anual. Através da análise de experiências constatou-se que a ANA está contribuindo com o Monitoramento da Implementação da Política de Recursos Hídricos, com os informes e Relatórios quiadrienais disponibilizados (Silva, 2014). No informe disponibilizado pela ANA no ano de 2014, houve a preocupação com regiões afetadas pela crise hídrica. O Nordeste apresenta rios com criticidade quantitativa devido à baixa disponibilidade hídrica dos corpos hídricos. Neste informe especial, a ANA apresentou os volumes dos reservatórios do semiárido paraibano, dentre eles o Açude Epitácio Pessoa. Destaca-se que houve o devido monitoramento.

A Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos (CTPNRH) serve de suporte ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Em 2014, na ata da 81ª reunião da CTPNRH (2014a), houve o questionamento na necessidade de se revisar o PNRH a cada quatro anos e de estar sendo atendido com o documento “Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil”. Percebeu-se atrasos no lançamento das prioridades e metas do PNRH, o que agrava a orientação do Plano Plurianual – PPA (Silva, 2014).

Na 82ª reunião da ata da CTPNRH (2014b), percebeu-se uma duplicidade entre os Relatórios de Recursos Hídricos da ANA e da CTPNRH. Por isso, o SIGEOR, cujo sistema é parte do detalhamento do Programa XIII do PNRH - Gerenciamento Executivo e de Monitoramento e Avaliação da Implementação do PNRH, ainda causa muitas dúvidas. Em 2015, na 86ª reunião da ata da CTPNRH (2015) houve o questionamento de como a ANA

consegue estabelecer a interlocução com os Estados e outros membros do SINGREH para a coleta de dados e outras informações, para a elaboração do Relatório de conjuntura, ao passo que o CNRH não consegue obter este mesmo nível de informação. No Informe de 2015 do CNRH houve a descrição do panorama da situação da implementação das prioridades do PNRH pela ANA, pela SRHU/MMA e pelo CNRH. No entanto, as informações não contemplaram as ações desenvolvidas pelos Estados e nem por outros órgãos do Poder Executivo Federal que atuam em políticas com interface com a gestão dos recursos hídricos.

Portanto, o Monitoramento da Implementação da Política de Recursos Hídricos está falhando na gestão descentralizada, ao modo que apenas a ANA está cumprindo o monitoramento, através dos Relatórios ou Informes, também como concluído por Silva (2014). Para o período investigado, o monitoramento através do CNRH ocorre de modo incipiente, visto que só houve a participação nos processos de aprovação das revisões do PNRH.

### **Monitoramento do Plano Estadual de Recursos Hídricos e do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**

Em 2014 foi publicado o Relatório de Atividades da AESA (2014), que possui como competência a elaboração do Relatório anual sobre a situação dos Recursos Hídricos da Paraíba. Neste Relatório, há as especificações dos acontecimentos durante o ano de 2014. O Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), por ser monitorado com recurso do Fundo Estadual de Recursos Hídricos é mencionado. Algumas visitas, realizada pela gerência executiva de fiscalização da AESA, ocorreram no Boqueirão para monitoramento de poços e águas subterrâneas, além de reuniões com a associação de irrigantes do Açude em questão.

A partir de 2015 não houve mais Relatórios de Atividades disponibilizados no site da AESA, tendo como último o Relatório de Atividades de 2014. Diante desta crise hídrica, seria de responsabilidade da agência informar a sociedade a situação do Açude Epitácio Pessoa. Ademais, não houve durante esse período disponibilização do Relatório Hidrológico sobre a situação dos recursos hídricos da Paraíba. O último publicado foi no ano de 2009.

Na investigação da ata nº 36 do CERH (2015b), percebeu-se que a cobrança deveria ser feita numa parte do Açude Epitácio Pessoa, este assunto estava em discussão. Na ata do CERH nº 37 de 2016, as metas foram apresentadas, entre elas a disponibilização de um banco de dados no site da AESA para disseminação de informações aos usuários, ou seja, tentativa da implementação de um Sistema de Informação. Na ata nº 39 do CERH (2017), houve a apresentação das metas e prioridades a serem alcançadas para o PERH. A atualização do PERH

não ocorreu, porém houve a aprovação do Termo de referência, em 2018, para a atualização. Deste modo, foi identificado, através das atas das reuniões do CEHR, que este faz apenas o monitoramento do Plano de Aplicação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos, pois a Agência Estadual de Águas só pode receber recursos desse fundo se o seu plano de aplicação for aprovado pelo conselho.

Em relação ao Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, não houve atualização do Plano durante o período de 2014-2018, porém o Termo de Referência foi aprovado. Também não há câmaras técnicas. Deste modo, a implementação dos instrumentos de gestão sob governabilidade dos CBHs foi falha para o período estudado.

### **Considerações finais**

O artigo encontrou que apesar da diferença temporal para o período de investigação, 2014-2018, o comportamento do sistema socioecológico em relação a governança foi semelhante ao analisado por Silva (2014) e Silva et al. (2015), em que a crise hídrica ocorre além de questões climáticas, mas depende fortemente de questões relacionadas com a governança da água.

A partir da análise documental, entre o período de 2014 a 2018, da Política Nacional de Recursos Hídricos, foi possível corroborar com a existência da subsunção de tal instrumento normativo aos princípios institucionais propostos por Ostrom e expandidos por Huntjens para o exercício da governança do reservatório Eptácio Pessoa, conforme elucidado por Silva (2014). O que também se evidenciou, tomando, dessa vez, as atas das reuniões de diversas ordens realizadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba e pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, é que, na prática, nem sempre a PNRH e, conseqüentemente, os princípios de Ostrom e Huntjens são efetivados.

Mesmo com a transferência de recursos hídricos para o reservatório estudado, através do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), novas crises poderão surgir, se os aspectos que levam para a governança adequada não forem levados em consideração, e as lacunas relacionadas com a dominialidade das águas de reservatório federal em Bacia hidrográfica de rio principal estadual também é um desafio (Silva, 2014). A complexidade do sistema de governança do sistema socioecológico aumentará através das interações entre o Rio São Francisco e o reservatório Eptácio Pessoa – com a transposição do rio São Francisco, a interação entre o reservatório Eptácio Pessoa e o reservatório de Acauã, e a introdução do

Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte no sistema de gerenciamento das águas advindas da transposição.

A gestão do reservatório continua com falhas de descentralização e falta uma interação entre os conselhos de recursos hídricos e as agências de água, e esse problema poderá ser intensificado devido a nova complexidade estabelecida no sistema, com a transposição. Sobre o monitoramento da implementação da política nacional de recursos hídricos no SSE que envolve o reservatório Epitácio Pessoa, foram identificados a continuidade de falhas no monitoramento.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba destacou a necessidade de fortalecimento da agência de água do Estado para superar as dificuldades na fiscalização das concessões das outorgas de direito de uso dos recursos hídricos no Estado da Paraíba, bem como das renovações daquelas outorgas já concedidas. Forçoso, pois, o reconhecimento de que as causas para a grande crise hídrica que, ainda atualmente, assola a região do semiárido paraibano não possui causas de ordem meramente climática, de certo que os períodos de seca não são o único entrave a ser combatido pela governança das águas. Da análise das atas das reuniões, foi possível concluir que a devida aplicação em sua integralidade das políticas nacional e estadual relativas aos recursos hídricos garantiria a concretização dos princípios institucionais.

## Referências

Agência Executiva de Gestão das Águas. (2014). *Relatório de atividades anual 2014*.

[http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/relatorioAtividades\\_2014.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/relatorioAtividades_2014.pdf)

Agência Nacional de Águas. (2009). Nota Técnica n°. 08/2009/GEREG/SOF-ANA.

Agência Nacional de Águas. (2015a). *Conjuntura dos Recursos Hídricos: informe 2014*.

<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

Agência Nacional de Águas. (2015b). *Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015*.

<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

Agência Nacional de Águas. (2016). *Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016*.

<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

Agência Nacional de Águas. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:*

*relatório pleno*. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

Agência Nacional de Águas. (2018). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018:*

*informe anual*. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

Agência Nacional de Águas. (2020). Termo de Alocação de Água 2020/2021: Sistema

Hídrico Epitácio Pessoa (PB). <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/pb>

Agência Nacional de Águas. (2021). *Resolução nº. 98, de 20 de setembro de 2021.*

<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/ResolucaoANAn982021.pdf>

Agência Nacional de Águas, Agência Executiva de Gestão das Águas. (2015). *Resolução Conjunta ANA/ AESA nº. 960, de 17 de agosto de 2015.*

<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolucao-conjunta-ANA-AESA-nº-960-de-17-de-Agosto-de-2015.pdf>

Agência Nacional de Águas, Agência Executiva de Gestão das Águas. (2018). *Resolução Conjunta ANA/ AESA nº. 87, de 05 de novembro de 2018.*

<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2019/01/Resolucao-Conjunta-ANA-AESA-Nº-87-de-05-de-Novembro-de-2018.pdf>

Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.*

Brasil. (1997). *Lei nº. 9.433, em 8 de janeiro de 1997.*

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)

Brasil. (1998). *Lei nº. 9.648, de 27 de maio de 1998.*

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9648cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm)

Brasil. (2000). *Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.*

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm)

Brasil. (2002). *Projeto de Lei nº 6.979, de 2002.* <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/56638>

Agência Executiva de Gestão das Águas. (2015a). Ata 1ª Reunião Ordinária realizada em 08 de abril de 2015 em Campina Grande – PB. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/06/Ata-da-1ª-Reunião-Ordinária-do-CBH-PB-Ano-2015.pdf>

- Agência Executiva de Gestão das Águas. (2015b). Ata da 2ª Reunião Ordinária realizada em 15 de dezembro de 2015 em Campina Grande – PB. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2019/07/Ata-da-2ª-Reunião-Ordinária-do-CBH-PB-Ano-2015.pdf>
- Agência Executiva de Gestão das Águas. (2016). Ata 1ª Reunião Ordinária realizada em 24 de maio de 2016 em Campina Grande – PB. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/06/Ata-da-1ª-Reunião-Ordinária-do-CBH-PB-Ano-2016.pdf>
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos. (2011). Resolução n°. 13, de 13 de junho de 2011. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolução-nº-13-de-13-de-Julno-de-2011-CERH.pdf>
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos. (2015a). Ata da 35ª Reunião Ordinária realizada em 10 de março de 2015 em João Pessoa – PB. [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/Ata\\_35\\_RO.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/Ata_35_RO.pdf)
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos. (2015b). *Ata da 36ª reunião ordinária realizada em novembro de 2015 em João Pessoa – PB.* [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/Ata\\_36\\_RO.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/Ata_36_RO.pdf)
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos. (2016). Ata da 37ª Reunião Ordinária realizada em 17 de março de 2016 em João Pessoa – PB. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/04/Ata-da-37ª-Reunião-Ordinária.pdf>
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos. (2017). Ata da 39ª Reunião Ordinária realizada em 24 de março de 2017 em João Pessoa – PB. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/04/Ata-da-39-Reunião-Ordinária.pdf>
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2006). *Resolução n°. 58, de 30 de janeiro de 2006.* <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2058.pdf>
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2007a). Resolução n°. 69, de 19 de março de 2007. <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2069.pdf>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2007b). Resolução n°. 70, de 19 de março de 2007.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2014). Resolução n°. 161, de 15 de dezembro de 2014.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2015). Resolução n°. 165, de 29 de junho de 2015.  
<https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-cnrh-165-15.pdf>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2017). Resolução n°. 192, de 19 de dezembro de 2017. <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/resolucao-cnrh-192.pdf>

Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2018). Resolução n°. 195, de 08 de março de 2018.  
<https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/resolucao-cnrh-195.pdf>

Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos. (2014a). Ata da 81ª reunião da CTPNRH realizada em 21 e 22 de agosto de 2014 em Brasília.  
[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/81a\\_ctpnrh.zip/view](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/81a_ctpnrh.zip/view)

Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos. (2014b). Ata da 82ª reunião da CTPNRH realizada em 7 de outubro de 2014 em Brasília. [https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/82\\_ctpnrh.zip/view](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/82_ctpnrh.zip/view)

Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos. (2015). Ata da 86ª reunião da CTPNRH realizada em 7 e 8 de abril de 2015 em Brasília. [https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/86a\\_ctpnrh.zip/view](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/c/ctpnrh/86a_ctpnrh.zip/view)

Huntjens, P., Lebel, L., Pahl-Wostl, C., Camkin, J., Schulze, R., & Kranz, N. (2012). Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environmental Change*, 22(1), 67–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.015>.

- Ministério do Meio Ambiente. (2015). *Informe sobre a implementação do PNRH no Período 2012-2014 e perspectivas para 2015*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. [http://www.participa.br/articles/public/0027/9177/Informe\\_Implem\\_PNRH.pdf](http://www.participa.br/articles/public/0027/9177/Informe_Implem_PNRH.pdf)
- Oliveira, F. B., & Ambrozevicius, A. P. (2017). Açude Epitácio Pessoa – Boqueirão (PB) situação hídrica e perspectivas com a chegada da água da transposição do rio São Francisco. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press.
- Paraíba. (1996). *Lei n.º. 6.308, de 02 de julho de 1996*. [http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/lei\\_E\\_11.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/lei_E_11.pdf)
- Paraíba. (2022). *Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório executivo*. Agência Executiva de Gestão das Águas. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/plano-estadual/>
- Rêgo, J. C., Galvão, C. de O., Albuquerque, J. do P. T., & Ribeiro, M. M. R. (2017). A gestão de recursos hídricos e a transposição de águas do rio São Francisco para o açude Epitácio Pessoa – Boqueirão. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Rêgo, J. C., Ribeiro, M. M. R., Albuquerque, J. do P. T., & Galvão, C. de O. (2001). Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB. *Proceedings of the Fourth Inter-American Dialogue on Water Management*.
- Silva, A. C. S. (2014). *Análise institucional da governança da água para adaptação à variabilidade e mudança climática um caso no semiárido brasileiro (1997-2013)* [Tese (Doutorado em Recursos Naturais)]. Universidade Federal de Campina Grande.
- Silva, A. C. S. da, Galvão, C. de O., Silva, G. S. da, & Souza Filho, F. de A. de. (2013). *Ostrom's institutional design principles and reservoir management: a study on adaptation to climate variability and change*. In *Considering Hydrological Change in*

Reservoir Management (p. 1-6). IAHS, Sweden.

<https://www.iahs.info/uploads/dms/16018.362%20Abstract.pdf>

Silva, A. C. S., Galvão, C. O., & Silva, G. S. (2015). *Droughts and governance impacts on water scarcity: an analysis in the Brazilian semi-arid*. IAHS-AISH Publication, 369, 129-134. <https://piahs.copernicus.org/articles/369/129/2015/>

Silva, M. B. M. da, & Ribeiro, M. M. R. (2023). Análise da governança da água por meio do arcabouço de robustez: o caso do Reservatório Epitácio Pessoa, PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 28. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220023>

### **Agradecimentos**

Os autores do trabalho agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder as bolsas aos autores do trabalho. Os resultados apresentados neste artigo são produtos dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) Mudanças Climáticas Fase 2, e Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa.

---

ARTIGO

---

**Padrões Espaço Temporais de Episódios de Secas na Microrregião de Barreiras-BA**

**Spatiotemporal Patterns of Drought Episodes in the Microregion of Barreiras-BA**

Welinagila Grangeiro de Sousa<sup>1</sup>; Madson Tavares Silva<sup>2</sup>; Célia Campos Braga<sup>3</sup>; Mariana da Silva Siqueira<sup>4</sup>; Antônia Silânia de Andrade<sup>5</sup>; Santana Livia de Lima<sup>6</sup>.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6535>

**Resumo**

A seca é um fenômeno natural originado a partir da ausência de precipitação ao longo de certo período capaz de causar danos ao desenvolvimento de diferentes atividades da sociedade e denotam o tipo mais complexo e prejudicial de desastre natural e, vem afetando diversas regiões. Para analisar e monitorar esses fenômenos nas áreas mais susceptíveis e que são destaque no cenário agrícola nacional estão sendo utilizados diversos índices, dentre eles o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) considerado um dos mais difundidos no mundo, que permite a avaliação das secas em diferentes escalas de tempo. Portanto, objetivou-se através deste trabalho identificar a variabilidade espaço temporal de eventos de secas ocorridas na microrregião de Barreiras por meio de técnicas de análise de série temporais. Utilizou-se séries de dados históricos mensais de precipitação e temperatura do ar para o período de 1961 a 2018 provenientes das reanálises do CRU-TS-4.03. A caracterização da seca se deu através do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração-SPEI em distintas escalas temporais (3, 6, 12, 24 e 48 meses). Os testes de tendência não-paramétricos de Mann-Kendall e Sen's foram usados para verificar os padrões temporais para a região. Através da variabilidade das secas na região, foi possível observar o aumento progressivo de

---

<sup>1</sup> Bolsista de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, Brasil, [welinagilagrangeiro@gmail.com](mailto:welinagilagrangeiro@gmail.com).

<sup>2</sup> Ph.D., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, [madson.tavares@professor.ufcg.edu.br](mailto:madson.tavares@professor.ufcg.edu.br).

<sup>3</sup> Dra., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, [celia.braga@ufcg.edu.br](mailto:celia.braga@ufcg.edu.br).

<sup>4</sup> Bolsista de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, [silva.siqueira@estudante.ufcg.edu.br](mailto:silva.siqueira@estudante.ufcg.edu.br).

<sup>5</sup> Bolsista de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, [silaniaandrade21@gmail.com](mailto:silaniaandrade21@gmail.com).

<sup>6</sup> Bolsista de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, [livialima24s@gmail.com](mailto:livialima24s@gmail.com).

intensidade e frequência desse evento nas escalas temporais maiores, com destaque para os períodos mais recentes. A análises de tendências, possibilitou verificar que todas as escalas temporais analisadas apresentaram tendências decrescentes significativas, ou seja, aumento do fenômeno extremo das secas na região durante os anos avaliados.

**Palavras-chave:** SPEI. Variabilidade. Tendência.

### Abstract

Drought is a natural phenomenon arising from the absence of precipitation over a certain period, capable of causing damage to the development of different activities in society and denoting the most complex and harmful type of natural disaster and has been affecting several regions. To analyze and monitor these phenomena in the most susceptible areas and which are highlighted in the national agricultural scenario, several indices are being used, including the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI), considered one of the most widespread in the world, which allows the assessment of droughts. on different time scales. Therefore, the objective of this work was to identify the spatial and temporal variability of drought events occurring in the Barreiras microregion using time series analysis techniques. A series of monthly historical data on precipitation and air temperature were used for the period from 1961 to 2018 from CRU-TS-4.03 reanalyses. The drought was characterized using the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index-SPEI on different time scales (3, 6, 12, 24 and 48 months). The Mann-Kendall and Sen's non-parametric trend tests were used to verify temporal patterns for the region. Through the variability of droughts in the region, it was possible to observe the progressive increase in intensity and frequency of this event on longer temporal scales, with emphasis on more recent periods. Trend analysis made it possible to verify that all temporal scales analyzed showed significant decreasing trends, that is, an increase in the extreme phenomenon of droughts in the region during the years evaluated.

**Keywords:** SPEI. Variability. Trend.

### Introdução

A seca é um perigo natural em decorrência da falta de chuvas vindo a minimizar consequentemente o abastecimento de água. É um dos principais desastres naturais enfrentados pela sociedade humana, e que tem um grande impacto na produção de alimentos, na economia social, na saúde humana e no ecossistema (Ma et al., 2021; Schumacher et al., 2022, & Zhao et al., 2022). Com o crescente desenvolvimento da sociedade, esse fenômeno está se agravando, em decorrência da influência das atividades humanas (Zhang et al., 2022).

Devido à complexidade dos eventos de seca, não existe uma definição unificada de seca que se aplique a todos os cenários. As definições de seca geralmente são agrupadas em dois tipos: conceitual e operacional, onde a conceitual fornece descrições gerais sem especificar as propriedades quantitativas da seca e a operacional visa determinar e analisar quantitativamente a frequência, gravidade, início e duração com base em indicadores de seca selecionados dentro

de registros históricos. Assim o fenômeno extremo da seca pode ser configurado em quatro categorias: agrícola, hidrológica, meteorológica e socioeconômica, onde, cada uma das quais detecta diferentes tipos de seca (Zhang et al., 2023).

A seca meteorológica é tipicamente uma expressão do desvio da precipitação normal durante um período específico, a hidrológica refere-se a deficiências no abastecimento de água superficial e subterrânea com base em medições de vazões e níveis de lagos, reservatórios e lençóis freáticos, enquanto a seca agrícola ocorre quando não há umidade suficiente no solo para atender às necessidades de uma determinada cultura em um período específico, a deficiência de precipitação por um período prolongado, a socioeconômica ocorre quando a escassez física de água começa a afetar as pessoas, individual e coletivamente (Kamruzzaman et al., 2019).

Ao longo da história esse fenômeno vem sendo observado em praticamente todas as regiões do planeta. Contudo, nas últimas décadas tem-se verificado elevações em sua frequência e intensidade em diversas partes do globo terrestre, com destaque para as regiões semiáridas (Meza et al., 2020 & Blain et al. 2022).

É primordial destacar a região nordestina como a mais afetada por fenômenos de seca, cuja ocorrência deste evento climático juntamente aos inúmeros problemas socioambientais, acumulados ao longo da história do semiárido, pode resultar em perda agrícola decorrente de períodos de escassez de hídrica. Portanto, entende-se que para os estudos climáticos, compreender o comportamento relacionado à seca no semiárido do Brasil é de grande relevância para os desafios da segurança hídrica (Brito et al., 2022).

Sendo assim, a região Oeste da Bahia vem se destacando nas últimas décadas em decorrência do agravamento intensos dos processos de alteração no seu uso e ocupação do solo para o desenvolvimento da agricultura de grãos em larga escala (Santos et al., 2014). Esse processo de alteração no seu uso favorece o fenômeno extremo da seca, fato este que podem vir a impactar diretamente no setor econômico da região (Liu et al., 2016 & Zylstra et al., 2016.)

Portanto, para compreender as características de um período de seca faz-se necessário possuir um acervo de informações atuais e históricas a respeito das condições climáticas e hidrológicas de uma determinada região. Este entendimento se torna imprescindível para identificar as áreas propensas a esse evento, reconhecer as condições de seca emergente e antecipar informações sobre o estado hídrico das regiões (Gonçalves et al., 2021).

Representar as características de longo prazo dos eventos de seca, como a sua duração, intensidade, gravidade e extensão espacial é de grande relevância, e estão sendo exploradas através de índices baseados em dados de séries temporais (Sobhani & Zengir, 2020, &

Gonçalves et al., 2021). Sendo assim, dentre os diversos índices com essa funcionalidade destaca-se o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração - SPEI que é baseado na análise estatística de series de dados tanto atuais quanto históricos (Yang et al., 2017), e que permite comparações das condições de seca em distintas regiões climáticas em diferentes escalas de tempo (Mostafazadeh & Zabihi, 2016).

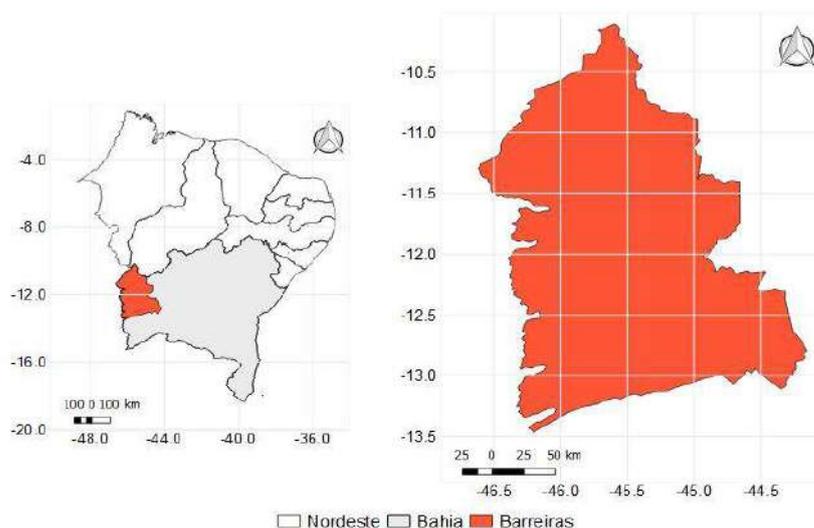
Todavia, destacam-se as análises de tendências que também contribuem no conhecimento do padrão das secas, favorecendo sua compreensão assim como variações futuras. Em relação às secas, os testes não paramétricos de Mann-Kendall e Sen's Slope são úteis para identificar e caracterizar as suas tendências em várias escalas de tempo (Mcgree et al., 2016; Dashtpgerdi et al., 2018, & Khan et al., 2018). Estas ferramentas podem ser utilizadas como parâmetros para gerenciar os riscos em períodos de ocorrência ou recorrência desses fenômenos extremos para a região desejada (Gonçalves et al., 2021).

Estudos a respeito do entendimento sobre o comportamento das secas é um trabalho de grande pertinência, uma vez que cria subsídios para o mapeamento de áreas susceptíveis a esse evento, além de ajudar no planejamento das atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos. Diante do exposto o presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espaço temporal de eventos de secas ocorridas na microrregião de Barreiras, no período de 1961 a 2018 mediante Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração- SPEI em diferentes escalas de tempo.

## **Material e Métodos**

A microrregião de Barreiras, situada no oeste do estado da Bahia (Figura 1), possui grande destaque no cenário agrícola nacional. A região faz parte da fronteira agrícola denominada MATOPIBA, criada com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Sendo uma microrregião com uma agricultura moderna e especializada, principalmente em áreas de cultivo de soja, milho e algodão herbáceo (Rubens et al., 2020).

Figura 1

*Localização da Área de Estudo*

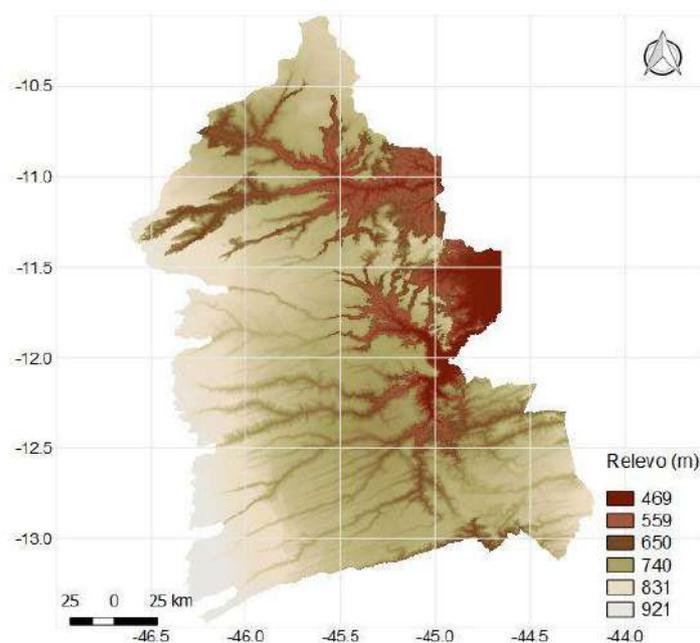
Fonte: própria autoria.

A microrregião de Barreiras possui aproximadamente 53.000 km<sup>2</sup>, cuja temperatura média anual varia de 22° a 27°C (Malheiros, 2016), sendo o clima classificado como do tipo Aw, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger (Álvares et al., 2013). O bioma da microrregião é o Cerrado, sendo caracterizado por possuir épocas do ano bem definidas, com chuvas de primavera/verão e período seco no outono/inverno, e o clima na maioria da extensão é tropical de caráter subúmido (Bastos et al., 2010).

O relevo da região caracteriza-se por suas elevadas altitudes, apresentando extensas serras com planaltos, estendendo-se em geral no sentido leste-oeste, com altitude média de 750m acima do mar (Figura 2). As principais serras são: da Bandeira, do Mimo, do Boqueirão, da Gameleira, da Ondina, de São Vicente e no extremo oeste na divisa com o Estado do Tocantins, a Serra Geral (Bastos et al., 2010).

Figura 2

*Relevo da microrregião de Barreiras.*



Fonte: própria autoria.

## Dados

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo constam dos valores históricos mensais de temperatura mínima e máxima (°C) e precipitação total (mm) para o período que compreende de janeiro de 1961 a dezembro de 2018. Esses dados são reformatados das reanálises do Climatic Research Unit - CRU-TS-4.03 (dados em pontos de grade com resolução espacial de 0,5°) pela Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia, usando o WorldClim 2.1 para correção de viés (Fick & Hijmans, 2017).

Os dados do CRU-TS-4.03 são produzidos usando a interpolação de ponderação de distância angular (ADW), fornecendo dados em campos de grade mensais baseados em valores observacionais mensais obtidos a partir de dados diários ou subdiários pelos Serviços Meteorológicos Nacionais e outros agentes externos (Harris & Jones, 2020).

Fez-se uso dos acumulados mensais de precipitação pluvial e médias mensais de temperatura do ar para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP), para em seguida dar procedimento a determinação dos valores do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) para as microrregiões que compõem a região do oeste baiano.

## Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)

O SPEI (Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração) desenvolvido por Serrano et al. (2010), permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, podendo ser aplicado a variados climas. Seu cálculo se dá pela diferença entre a precipitação pluvial ( $P$ ) e evapotranspiração potencial (ETP), estimando, assim, a descrição da severidade das condições de seca em determinadas regiões (Li et al., 2017).

A evapotranspiração potencial (ETP), é estimada a partir da equação de Thornthwaite, como descrito em (Ometto et al., 1981), conforme equações (1- 4):

$$ETP = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right) \quad (3)$$

$$m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,492 \quad (4)$$

em que: ETP é a evapotranspiração potencial;  $T$  é a temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I$  é o índice de calor, que é calculado como a soma de 12 valores mensais do índice ( $i$ );  $T_i$  é derivado da temperatura média mensal;  $K$  é um coeficiente de correção, calculado em função da latitude e mês, e  $m$  é um coeficiente baseado no índice de calor  $I$ ;  $NDM$  é o número de dias do mês e  $N$  é o número máximo de horas de Sol.

Portanto, a medida simples do excedente ou déficit de água para o período analisado é expressa pela diferença ( $D_i$ ) entre a precipitação pluvial ( $P_i$ ) e a evapotranspiração potencial (ETP $_i$ ) para o mês  $i$  obtido a partir da Equação (5):

$$D_i = P_i - ETP_i \quad (5)$$

Os valores de  $D_i$  calculados são agregados em diferentes escalas de tempo para detecção de padrões temporais da seca (Equação 6). Sendo assim, os valores SPEI são calculados para as escalas mensal, trimestral, semestral e anual (SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12, SPEI-24 e SPEI-48).

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1-i} - ETP_{n-1-i}), \quad n \geq k \quad ((6))$$

em que:  $n$  é a frequência de cálculo e  $k$  é a escala de tempo.

O balanço hídrico, expresso por  $D_i$  é então normalizado utilizando a função densidade de probabilidade da distribuição log-logística para calcular a série temporal do SPEI, como segue a Equação (7):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right)^{-2} \quad (7)$$

em que:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente, para valores de  $D$  no intervalo ( $\gamma > D < \infty$ ). A função de distribuição de probabilidade  $F(x)$  da série temporal do índice  $D_i$  é então definida mediante Equação (8):

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^\beta\right]^{-1} \quad (8)$$

O SPEI é obtido como os valores padronizados de  $F(x)$  segundo (Serrano et al., 2010; Li et al., 2015) a partir da Equação (9):

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (9)$$

em que:  $W = (-2\ln(p))^{0,5}$ , para  $p \leq 0,5$ , sendo  $p$  a probabilidade de exceder um valor  $D$  determinado,  $p = 1-F(x)$ . Se  $p > 0,5$ ,  $p$  é substituído por  $1-p$  e o sinal do SPEI resultante é invertido. As constantes são:  $C_0 = 2,515517$ ,  $C_1 = 0,802853$ ,  $C_2 = 0,010328$ ,  $d_1 = 1,432788$ ,  $d_2 = 0,189269$ ,  $d_3 = 0,001308$ .

A partir de então o SPEI torna-se uma variável padronizada (média 0 e o desvio padrão 1) podendo ser comparada com outros valores de SPEI ao longo do tempo e do espaço de acordo com as categorias de seca descritas pelo índice (Tabela 1) (Mckee et al., 1993, & Tan et al., 2015).

Tabela 1

*Classificação da seca com base no SPEI.*

Classificação da seca	SPEI
Sem seca	$\geq -0,5$
Seca suave	(-1,0; -0,5)
Seca moderada	(-1,5; -1,0)
Seca severa	(-2,0; -1,5)

Fonte: própria autoria.

### Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall foi derivado dos estudos propostos por Mann (1945) e Kendall (1945), sendo amplamente utilizado na análise de tendências de secas hidrológicas e meteorológicas (Yeh, 2019). Esse teste verifica a existência de uma tendência em uma determinada série temporal, identificando eventuais variações nas tendências ao longo do tempo.

A estatística usada é calculada dada uma série temporal  $t_1, t_2, \dots, t_n$  e sua sequência de dados correspondentes  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , sendo  $n$  o número de pontos de dados. A hipótese nula do teste indica uma amostra com variáveis aleatórias e identicamente distribuídas, enquanto a hipótese alternativa indica distribuições não idênticas para  $X_t$  e  $X_j$  (Kazemzade & Malekian, 2018), calculado como:

$$S = \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{j=1+i}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad (10)$$

em que:  $x_i$  e  $x_j$  são valores de dados para os anos;  $n$  o número de pontos de dados usados,  $i$  e  $j$  ( $j > i$ ), respectivamente, e  $\operatorname{sgn}(x_j - x_i)$  é a função do sinal, dada como:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (11)$$

A variância dessa distribuição é calculada pelas Equações 12 e 13:

$$\operatorname{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (12)$$

em que:  $p$  é o número de grupos empatados, o sinal de soma ( $p$ ) indica a soma de todos os grupos vinculados, e  $t_i$  é o número de valores no grupo (Piyooosh & Ghosh, 2017).

$$Z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{s}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{s}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

em que:  $Z$  caracteriza se existe tendência no teste para os dados utilizados. Os valores  $Z$  positivos indicam uma tendência crescente e os valores  $Z$  negativos indicam uma tendência decrescente. Se o valor de  $Z$  for 0, não há tendência.

O Tau Kendall (Kendall, 1938, Kendall, 1948) mede a força da relação monotônica entre  $x$  e  $y$ . O coeficiente de correlação tau de Kendall é dado por:

$$\tau = \frac{x_i - x_j}{i - j} \text{ for all } j < i \quad (14)$$

### Estimador de inclinação de Sen's slope (Sen)

O teste de inclinação não paramétrico de Sen foi desenvolvido por Sen (1968) cujo intuito é calcular a magnitude das tendências. Para o cálculo de Sen's slope, computam-se todas as curvaturas de todos os pares dos valores apresentados em determinada série temporal. É um método insensível a outliers e dados ausentes, sendo mais rigoroso do que a curvatura da regressão linear, provendo uma medida mais real das tendências em séries temporais (Silva et. al., 2015). A inclinação é obtida através da Equação (15):

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ for } i = 1, \dots, n \quad (15)$$

em que:  $x_j$  e  $x_k$  são os valores nos tempos  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente. Se houver  $n$  valores de  $x$  na série temporal, obtemos até  $N = n(n - 1) / 2$  estimativas de inclinação  $Q_i$ . Os valores  $N$  de  $Q_i$  são classificados do menor ao maior, e o estimador de inclinação de Sen é a mediana dos valores  $N$  de  $Q_i$ ; este valor é estimado conforme Equação (16):

$$= \begin{cases} Q\left(\frac{n+1}{2}\right) & \text{se } N \text{ for impar} \\ \frac{Q\left(\frac{n}{2}\right) + Q\left(\frac{n+2}{2}\right)}{2} & \text{se } N \text{ for par} \end{cases} \quad (16)$$

O sinal de  $Q_{med}$  retrata a tendência dos dados, sendo o valor a inclinação da tendência. Para determinar se a inclinação média é significativamente diferente de zero, o intervalo de confiança de  $Q_{med}$  deve ser obtido em uma probabilidade específica. Conforme Gilbert, (1987) o intervalo de confiança levando em conta a inclinação de tempo, pode ser calculado conforme Equação (17):

$$Ca = Z_{1 - \alpha/2} \sqrt{\text{var}(s)} \quad (17)$$

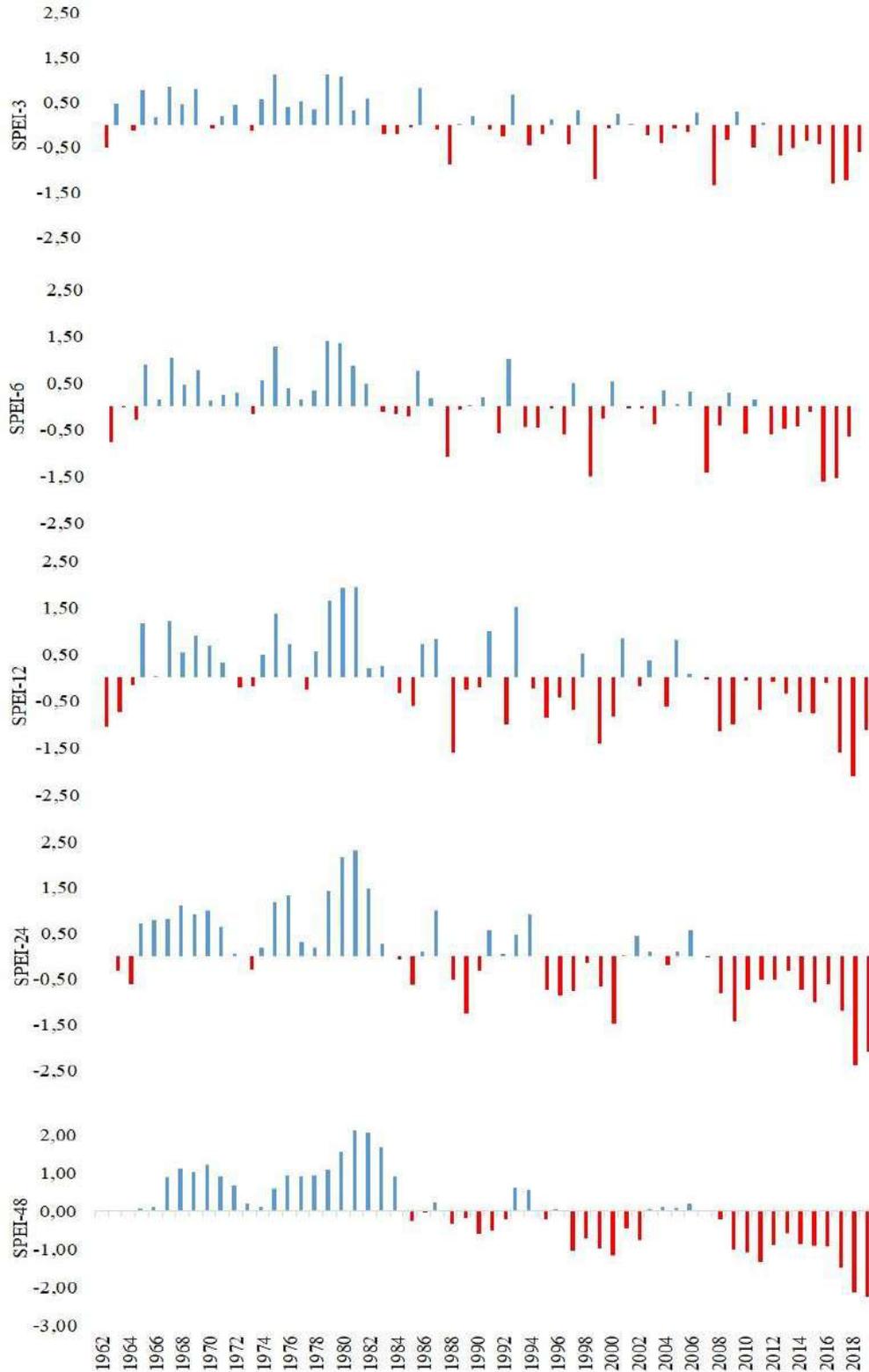
em que:  $Z_{1 - \alpha/2}$  é obtido por meio de uma tabela de distribuição normal padrão. Então, em seguida  $M1 = (n - C_\alpha) / 2$  e  $M2 = (n + C_\alpha) / 2$  são calculados. Os limites inferior e superior do intervalo de confiança,  $Q_{min}$  e  $Q_{max}$ , é o  $M1^o$  maior e  $(M2 + 1)$  o maior das estimativas de inclinação ordenada  $n$ , respectivamente (GILBERT, 1987). A inclinação  $Q_{med}$  é significativa diferente de zero se os dois limites ( $Q_{min}$  e  $Q_{max}$ ) tiverem sinais semelhantes.

## **Resultados e Discussão**

Conforme a Figura 3 é possível observar a variabilidade da seca mediante o SPEI em diferentes escalas de tempo (SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12, SPEI-24 e SPEI-48) na microrregião de Barreiras durante o período de 1961 a 2018. De maneira geral, é possível verificar a presença do fenômeno conforme o índice (valores  $\leq -0,5$ ) durante o período analisado, com grande similaridade entre o padrão das secas obtidos independentemente da escala temporal.

Figura 3

*Distribuição dos menores valores anuais do SPEI em diferentes escalas temporárias (3, 6, 12, 24 e 48 meses) para a microrregião de Barreiras no período de 1961 a 2018.*



Fonte: própria autoria.

É possível relatar que o SPEI-3 e SPEI-6 indicam variações sazonais a médio prazo de eventos de seca (pode estar associado a fluxos anômalos e níveis de reservatórios), e que o SPEI-12, SPEI-24 e SPEI-48 pode ser utilizado como um indicador para diminuição da recarga de reservatórios assim como da água subterrânea, onde, todos denotam uma maior magnitude e frequência do evento na região.

Verifica-se ainda de acordo com a Figura 3 que durante o período avaliado os maiores valores do SPEI (períodos úmidos) se deram no período que antecede a década de 80, e as maiores intensidades dos eventos secos se deram a partir dessa década em todas as escalas temporais, com maior severidade do fenômeno (menores valores do SPEI). De forma geral, os anos decorrentes dessa década destacaram-se quanto aos menores valores do SPEI em todas as escalas de tempo avaliadas cujos valores observados se deram em torno de -1,5.

Ao avaliar cada escala de tempo, para a microrregião de Barreiras, o ano de 2007 denotou o menor valor do SPEI-3 (-1,33). Para o índice na escala de tempo de seis meses (SPEI-6), o ano que deteve os menores valores do índice se deu em 2016 (-1,62). Ao que diz respeito ao SPEI-12, destaca-se o ano de 2017 como o mais seco em relação ao índice (-2,11). Nas escalas temporais maiores (SPEI-24 e SPEI-48) os anos de destaque para os menores valores dos índices foram 2017 e 2018, com valores de -2,38 e -2,10 para o SPEI-24 e -2,12 e -2,27 para o SPEI-48. O semiárido Baiano é uma das regiões que foram altamente impactada pela influência da seca, nos recentes episódios destes eventos climáticos (São José et al., 2020a, São José et al., 2020b; São José et al., 2021a, & São José et al., 2021b).

É válido ressaltar que nas secas de curto prazo (SPEI-3 e SPEI-6), percebe-se que os valores SPEI tendem a variar com mais frequência entre valores positivos e negativos no decorrer do tempo havendo quebras na continuidade dos eventos secos e úmidos (Figura 3), característica também relatada por Santos et al. (2017). Nesse sentido, destaca-se que os índices de menor escala temporal apresentam maior sensibilidade à ocorrência de eventos extremos. Verifica-se que nessas duas escalas temporais houve alguns eventos úmidos em meio a uma sequência consecutiva de períodos secos, a exemplo do ano de 2011.

Marengo et al. (2016) em estudo sobre secas passadas e presentes no Nordeste Brasileiro-NEB, observaram que 2010 já foi um ano seco, e que no período 2010-15, apenas 2011 deteve chuvas significativas, porém foi seguido pelos déficits de precipitação mais graves em 2012, o que pode vir a explicar o ocorrido na região. Vários estudos têm indicado que a maior parte do NEB tende a receber mais precipitação durante episódios La Niña, mas o ano de 2012 não seguiu o padrão. Durante o evento La Niña de 2012, o NEB declarou estado de emergência devido a uma seca considerada a mais grave nas recentes décadas. O estado da

Bahia foi o estado nordestino mais impactado pela seca de 2012, onde a maioria dos municípios decretaram estado de emergência (Brasil, 2018 & São José et al., 2021b).

São José et al. (2022) ao analisar a distribuição espacial do risco de seca à atividade agrícola nas mesorregiões do Vale São-Franciscano e do Centro-norte, região do semiárido da Bahia, constataram que até o ano de 2011, a média anual da precipitação na região era de 681,83mm e, a partir de 2011, a média passou a ser de 473,94mm, indicando uma redução de precipitação pluviométrica para esta região, ocasionando estiagens e diversos danos.

Por meio da aplicação do Índice Padronizado de Precipitação-SPI os autores Cunha et al. (2018) confrontaram o padrão espacial de episódios de seca severa do período de 1982 a 2013 (30 anos) na região Nordeste, e seus resultados permitiram verificar que uma característica bastante particular pertencente a seca é a sua capacidade de tornar-se mais evidente perante ocorrências de eventos de El Niño.

Observa-se que os eventos de seca (Figura 3) nas escalas maiores (SPEI-12, SPEI-24 e SPEI-48) SPEI-12 (1987, 1998, 2007, 2016, 2017 e 2018); SPEI-24 (1999, 2008, 2016, 2017 e 2018) e SPEI-48 (1999, 2010, 2016, 2017 e 2018), estão de acordo com secas históricas na região do Nordeste (Marengo et al., 2017). Nobre et al. (2016), afirmam que os períodos de seca na escala de 6-12 meses foram mais frequentes durante os intervalos de 1961 a 2015 no Brasil. A CGEE (2016) retrata que ao longo da história, foram registrados vários eventos, a exemplo, 1969-83, 1987, 1990, 1992-93, 1997-99, 2002-03, 2007, 2011-2018, corroborando assim com o que foi encontrado no estudo. Sendo possível notar uma maior incidência nos eventos de seca durante as últimas décadas.

Ainda a respeito da Figura 3, percebe-se que o fenômeno é mais intensificado durante o intervalo de 2015 a 2018 (menores valores de SPEI) em todas as escalas temporais, com destaque o intervalo de 2016 e 2018, cujos valores do índice registraram eventos de até -2.38 (SPEI-24), sendo, portanto, os anos com ocorrências de secas variando da categoria de severa a extremas da série temporal avaliada. Uma característica importante da seca verificada é sua propensão a se tornar mais acentuada durante fortes eventos de El Niño, exemplo do período de 2015–2018 (Lee et al., 2020).

Ao que diz respeito aos impactos ocasionados pela seca, destaca-se elevações significativas na ocorrência dessa adversidade principalmente meses chuvosos, fato que merece atenção devido à importância desses períodos na recarga de reservatórios hídricos. Sendo assim, a crise hídrica que assolou durante o período de 2012 a 2018, que foi uma das mais severas desde a década de 60, afetando a população e a economia em diversas regiões (Nobre et al. 2016). Os resultados observados nesse estudo e em Armani et al. (2022), aliados à crescente

demanda por água, evidenciam a importância do planejamento e gestão dos recursos hídricos de áreas com elevada vulnerabilidade às crises hídricas (Nobre et al. 2016).

Entretanto, resultados publicados recentemente, baseados em dados de medição, confirmam o aumento dos padrões de temperatura e a diminuição dos padrões de ET e precipitação em regiões tropicais sujeitas a supressão da cobertura da vegetação nativa, revelando ainda que as épocas de seca podem se tornar mais frequentes mediante conversão do bioma (Perugini et al., 2017; Casagrande et al., 2018, & Teixeira et al, 2021).

Os eventos de seca na América do Sul podem de fato sofrer elevações em sua frequência e intensidade devido ao potencial dessa região em responder drasticamente às condições secas excessivas e à elevação da temperatura atmosférica (Erfrain et al., 2017 & Marengo et al., 2017). Em adição, autores como Pereira et al. (2018) observaram elevações na frequência de eventos de seca desencadeadas por déficits de chuva podem ser prejudiciais às atividades agrícolas em diversas regiões.

Partindo desse pressuposto, optou-se por avaliar as tendências do evento extremo de seca para a microrregião de Barreiras-BA. Com base nos resultados do teste não paramétrico de Mann-Kendall, complementado pelo estimador de declive Sen's slope aplicado a diferentes escalas temporais do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração-SPEI de acordo com a Tabela 2, foi possível identificar as tendências de aumento ou redução das secas para o período analisado, assim como as significâncias estatísticas.

Tabela 2

*Resultado do teste não-paramétrico de Mann-Kendall aplicado a microrregião de Barreiras para diferentes escalas de tempo do SPEI no período de 1961-2018.*

SPEI	Tau de Kendall	Sen's slope	p-valor
3	-0,290	-0,016	0,001
6	-0,322	-0,018	0,000
12	-0,310	-0,024	0,001
24	-0,454	-0,036	< 0,0001
48	-0,551	-0,040	< 0,0001

Fonte: própria autoria.

Dos resultados da aplicação do teste Mann-Kendall verificou-se conforme tabela acima que todas escalas temporais do SPEI avaliadas denotaram tendência decrescente

estatisticamente significativa, ou seja, evidenciando um aumento dos eventos de seca ao longo do período estudado.

Na Tabela 2 observa-se também, os valores dos coeficientes de declividade de Sen's slope, com destaque para a magnitude de tendência nas diferentes escalas temporais do SPEI, onde todas possuem tendência temporal negativa estatisticamente significativa ao mesmo nível de significância adotado no teste Mann-Kendall (p-valor <0,05) complementando-o.

Essas tendências evidenciadas representam de acordo com o estimador, uma redução no índice de SPEI entre -0,016 e -0,04 ao longo dos 57 anos de estudo. A maior redução retratada conforme Sen's slope diz respeito ao SPEI-48 (-0,04), sendo este a maior escala de tempo avaliada.

Yao et al. (2018) em estudo semelhante aplicaram o teste não paramétrico de Mann-Kendall aos índices SPI e SPEI para investigar a significância da tendência de seca na província de Xinjiang, localizada no noroeste da China. Os resultados obtidos mostraram tendências negativas, onde o SPI demonstrou aumento nas condições de seca em 47,1% das estações, e o SPEI em 70,5%.

Além disso, nota-se que os valores da estatística diminuem à medida que a escala de tempo aumenta, o indicando uma maior frequência de ocorrência de períodos secos nos últimos anos (Koudahe et al., 2017). De acordo com Azua (2015), a ligeira tendência de aumento e diminuição concorda com o fato de que longas escalas de tempo do índice respondem lentamente e estavelmente à variação na precipitação diária.

A região do NEB é sensível à variabilidade climática, e o cenário das mudanças climáticas indica que essa área poderá ser afetada pelo déficit de chuvas e o aumento da aridez já em um futuro bem próximo (Marengo, Bernasconi, 2015, & Vieira et al., 2010). Se essas mudanças forem significativas em âmbito regional, poderão causar sérios impactos socioeconômicos e ambientais.

### **Conclusões**

Mediante resultados obtidos, identificou-se uma variabilidade nos episódios de seca na microrregião de Barreiras de acordo com as diferentes escalas de tempo utilizadas do SPEI, com aumento na sua intensificação e ocorrências nas escalas temporais maiores, diferindo na magnitude e frequência do evento, observando-se que existe uma associação entre as intensas secas de anos antecedentes com as recentes.

Em relação a análises de tendências, os resultados a partir da aplicação dos testes não paramétricos, possibilitou verificar que todas as escalas temporais analisadas para a micro de

Barreiras denotaram tendências decrescentes significativas, ou seja, aumento do fenômeno extremo das secas durante todo o período avaliado.

Portanto, pode ser conjecturado mediante estudo que a microrregião avaliada vem passando por aumentos significativos do fenômeno da seca, sendo então necessário o aprimoramento em estudos voltados ao conhecimento e proteção dessa região cujo intuito, seria tentar amenizar os avanços causados por esse evento extremo.

## Referências

- Álvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. *Meteorologische Zeitschrift, Brasília*, 22(6), 711-728. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Armani, G., Lima, N. G. B., Garcia, M. F. P., & Carvalho, J. L. (2022). Regional climate projections for the State of São Paulo, Brazil, in the 2020 - 2050 period. *Derbyana*, 43(773). <https://doi.org/10.14295/derb.v43.773>.
- Azua, S. (2015). Analysis of Rainfall Variability and the Trends of Wet and Dry Periods in Makurdi and Environs Using Standardised Precipitation Index. In: 6th *International Conference and Annual General Meeting Meeting of Nigeria Association of Hydrological Sciences (NAHS)* "ABU, pp. 1-11.
- Bastos, L. A., & Ferreira, I. M. (2010). Composições fitofisionômicas do bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de Vereda. *Espaço em Revista, Catalão*, 12(1).
- Blain, G. C., Sobierajski, G. R., Weight, E., Martins, L. L., & Xavier, A. C. F. (2022). Improving the interpretation of standardizes precipitation index estimates to capture drought characteristics in changing climate conditions. *International Journal of Climatology*, 42(11), 5586-5608. <https://doi.org/10.1002/joc.7550>.
- Brasil. Superintendência do desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). (2018). *Delimitação do semiárido*. <http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>.
- Casagrande, E., Recanati, F., & Paco Melià, P. (2018). Assessing the Influence of Vegetation on the Water Budget of Tropical Areas. - *IFAC Papers On Line*, 51, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.190>.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2016). *Secas no Brasil: política e gestão proativas*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

- Cunha, A. P. M. A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G. G., Brown, M., Garcia, S. R., Brito, S. B., & Carvalho, M. A. (2019). Changes in the spatial – temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, 19(10).  
<https://doi.org/10.1002/asl.855>.
- Dashtpajardi, M. M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E., & Ahani, H. (2018). An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1231–1244.  
doi: 10.1007/s12665-014- 3477-1.
- Erfrain, A., Wang, G., & Fomenko, L. (2017). Unprecedented drought over tropical South America in 2016: significantly underpredicted by tropical SST. *Nature: Scientific Reports*, 7(5811). <https://doi.org/10.1038/s41598-017- 05373-2>.
- Gilbert, R. O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Kamruzzaman, M., Hwang, S., Cho, J., Min-Won Jang, M., & Jeong, H. (2019). Evaluating the Spatiotemporal Characteristics of Agricultural Drought in Bangladesh Using Effective Drought Index. *Water*, 11. <https://doi.org/10.3390/w11122437>.
- Kazemzadeh, M., & Malekian, A. (2018). Changeability evaluation of hydro-climate variables in Western Caspian Sea region, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7305-x>.
- Kendall, M. G. (1945). *Rank correlation measures*. London: Charles Griffin.
- Kendall, M. G. (1948). *Rank Correlation methods*. United States of America: Charles Griffin.
- Khan, M. I., Liu, D., Fu, Q., Fai, & M. A. (2018). Detecting the persistence of drying trends under changing climate conditions using four meteorological drought indices. *Meteorological Applications*, 25, 184–194. Doi:10.1002/met.1680.
- Koudahe, K., Kayode, A. J., Samson, A. O., Adebola, A. A., & Djavan, K. (2017). Trend analysis in standardized precipitation index and standardized anomaly index in the context of climate change in Southern Togo. *Atmospheric and Climate Sciences*, 7.  
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17458>

- Lee, C.W., Yu-Heng, T., Chung-Hsiung, S., Zheng, F., & Erh-Tung, W. (2020). Characteristics of the prolonged El Niño events during 1960–2020. *Geophysical Research Letters*, 47(12). <https://doi.org/10.1029/2020GL088345>
- Liu, W., Wang, L., Zhou, Y., Wang, S., Zhu, J., & Wang, F. (2016). A comparison of forest fire burned area indices based on H. J. satellite data. *Nat. Hazards*, 81, 971-980. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2115-x>
- Ma, N., Szilagyi, J., & Zhang, Y. Q. (2021). Calibration-free complementary relationship estimates terrestrial evapotranspiration globally. *Water Resources Research*, 57, <https://doi.org/10.1029/2021WR029691>.
- Malheiros, R. (2016). A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no Bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Climatologia*, 19, 113-128. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48876>
- Mann, H. B. (1945). Econometrica. *The econometric society*, 13, 245-259, <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvala, R., Cunha, A. P., Brito, S., & Moraes, O. L. (2017). Características climáticas da seca de 2010-2016 na região semiárida do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 1973-1985.
- Marengo, J., Cunha, A. P., & Alves, L. (2016). A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Climanálise*, 4.
- Marengo, J. A., & Bernasconi, M. (2015). Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, 129, 103-115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>.
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129, 1189-1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.
- Mcgree, S., Schreider, S., & Kuleshov, Y. (2016). Trends and Variability in Droughts in the Pacific Islands and Northeast Australia. *Journal of Climate*, 23.

- Meza, I., Siebert, S., Döll, P., Kusche, J., Herbert, C., Eyshi Rezaei, E., Nouri, H., Gerdener, H., Popat, E., Frischen, J., Naumann, G., Vogt, J.V., Walz, Y., Sebesvari, Z. E., & Hagenlocher, M. (2020). Global drought risk assessment for agricultural agricultural systems. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 695–712. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-695>.
- Mostafazadeh, R., & Zabihi, M. (2016). Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*, 3.
- Nobre, C. A., Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cuartas, L. A., & Alves, L. M. (2016). Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(2), 252-262. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>.
- Pereira, V. R., Blain, G. C., Avila, A. M. H., Pires, R. C., & Pinto, H. S. (2018). Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in southern Brazil. *Bragantia*, 77, 201-211. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017007>.
- Perugini, L., Caporaso, L., Marconi, S., Cescatti, A., Quesada, B., Noblet-Ducoudré, N. de, House, J. I., & Arneth, A. (2017). Biophysical effects on temperature and precipitation due to land cover change. *Environmental Research Letters*, 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6b3f>.
- Piyooosh, A. K., & Ghosh, S. K. (2017). Effect of autocorrelation on temporal trends in rainfall in a valley region at the foothills of Indian Himalayas. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31, 2075–2096. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1347-y>.
- Rubens Júnior, F., Barbosa, S. R., Cedro, T., Valério, R., Dias, E., & Santos, J. Y. (2020). Queimadas em áreas do Cerrado brasileiro. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11, 587-601. Doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0046.
- Santos, C. D., & Chaves, M. L. J. (2014). Difusão do agronegócio e urbanização no Nordeste: as regiões produtivas do agronegócio da soja no oeste da Bahia e da fruticultura no

baixo curso do rio Açú/Jaguaribe (CE/RN). *Geografia Ensino & Pesquisa*, 18.  
<https://doi.org/10.5902/2236499413277>

- Santos, C. A. G., Brasil Neto, R. M., Passos, J. S. A., & Silva, R. M. (2017). Drought assessment using a TRMM-derived standardized precipitation index for the upper São Francisco River basin, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 250–270. Doi: 10.1007/s10661-017-5948-9.
- São José, R. V., Coltri, P. P., Greco, R., Souza, I. S., Torres, G. A. L., Charles, R., & Santos, K. A. (2020a). Avaliação de vulnerabilidade agrícola à seca: um estudo de caso no semiárido do estado da Bahia. *Caminhos de Geografia*, 21, 96-110.  
<https://doi.org/10.14393/RCG217752133>.
- São José, R. V., Coltri, P. P., Greco, R., & Souza, I. S. (2020b). Seca no Semiárido Baiano e o Hidrometeoro (Chuva) no Contexto da Mídia Impressa do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 249-255. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p249-255>.
- São José, R. V., Coltri, P. P., Greco, R., Souza, I., & Souza, A. P. S. (2022). Hazard (seca) no semiárido da Bahia: Vulnerabilidades e Riscos climáticos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(4), 1978-1993. Doi: 10.26848/rbgf.v15.4.p1978-1993.
- São José, R. V., Coltri, P. P., Greco, R., Santos, K. A., Souza, I. S., Torres, G. A. L., & Charles, R. (2021a). Cobertura jornalística do perigo climático (seca) 2012-2015 na Bahia: entre o combate e a convivência com a seca. *Caminhos De Geografia*, 22(84), 136–153. <https://doi.org/10.14393/RCG228456771>.
- São José, R. V., Coltri, P. P., Greco, R., Melo, H. L. S., Santos, K. A., & Souza, I. S. (2021b). Seca extrema de 2012 no semiárido baiano e seus impactos: informações climáticas difundidas pela mídia. *Revista Brasileira de Climatologia*. 29.
- Schumacher, D. L., Keune, J., Dirmeyer, P., & Miralles, D. G. (2022). Drought self-propagation in drylands due to land-atmosphere feedbacks. *Nature Geoscience*, 15. Doi:10.1038/s41561-022-00912-7.

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.

<https://www.jstor.org/stable/2285891>.

Silva, W. L., Dereczynski, C., Chang, M., Freitas, M., Machado, B. J., Tristão, L., & Ruggeri, J. (2015). Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130622>.

Sobhani, B., & Zengir, V. S. (2020). Modeling, monitoring and forecasting of drought in south and southwestern Iran. *Model. Earth Syst. Environ.*, 6(1), 63-71.

Doi:10.1007/s40808-019-00655-2.

Teixeira, R. L. P., Pessoa, Z. S., Dias, E. M. S., & Alves, E. P. Q. (2021). Mudanças climáticas, capacidade adaptativa e sustentabilidade: reflexões a partir das cidades da região semiárida brasileira. *Revista Geotemas*, 11.

Vieira, J. P. G., Souza, M. J. H., Teixeira, J. M., & Carvalho, F. P. (2010). Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(7), 762-767.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700012>.

Yang, H., Wang, H., Fu, G., Yan, H., Zhao, P., & Ma., M. (2017). A modified soil water deficit index (MSWDI) for agricultural drought monitoring: Case study of Songnen Plain China. *Agr. Water Manage.*, 194, 125-138. Doi: 10.1016/j.agwat.2017.07.022.

Yao, J., Zhao, Y., & Yu, X. (2018). Spatial-temporal variation and impacts of drought in Xinjiang 159 (Northwest China) during 1961-2015. *Peer J.*, 6(4926).

Zhang, B., Fatima K., Salem, A., Hayes, M. J., Smith, K. H., Tadesse, T., & Wardlow, B. D. (2023). Explainable machine learning for the prediction and assessment of complex drought impacts. *Science of The Total Environment*, 898.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165509>.

Zhang, X., Yu, J., Li, L. Z. X., & Li, W. (2022). Role of anthropogenic climate change in autumn drought trend over China from 1961 to 2014. *J. Meteorological Res.* 36, 251–260. Doi:10.1007/s13351-022-1178-3.

Zhao, M., Geruo, A., Liu, Y. L., & Konings, A. G. (2022). Evapotranspiration frequently increases during droughts. *Nature Climate Change*, 12, 1024–1030, Doi:10.1038/s41558-022-01505-3.

Zylstra, P., Bradstock, R. A., Bedward, M., Penman, T. D., Doherty, M. D., Weber, R. O., Gill, A. M., & Cary, G. J. (2016). Biophysical mechanistic modelling quantifies the effects of plant traits on fire severity: species, not surface fuel loads, determine flame dimensions in Eucalypt forests. *Plos One*, 11(8).  
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0160715>.

### **Agradecimentos**

A Universidade Federal de Campina Grande, pela contribuição no ensino e estrutura. Ao apoio do Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

---

ARTIGO

---

**Vulnerabilidade Socioambiental a partir de uma Análise Espacial no Município do Recife (PE)**

**Socio-environmental vulnerability from a spatial analysis in the Municipality of Recife (PE)**

Aline Mariana Ferreira da Silva<sup>1</sup>; Gabrielly Gregório da Luz<sup>2</sup>; José Vinícius de Sousa Florêncio<sup>3</sup>.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6537>

**Resumo**

Recife, uma das cidades mais emblemáticas do Nordeste brasileiro, destaca-se não apenas por sua rica história e cultura, mas também pelos desafios significativos relacionados à vulnerabilidade social e ambiental. Este estudo explora a possibilidade de que, se Recife fosse redesenhado com base em sua realidade contemporânea, seu novo cartão postal poderia ser representado pela integração dessas duas dimensões. A vulnerabilidade social em Recife é evidente na forma de desigualdades persistentes, com comunidades marginalizadas enfrentando dificuldades no acesso a serviços básicos, educação de qualidade e oportunidades econômicas. Além disso, a vulnerabilidade ambiental é protegida devido aos desafios relacionados ao aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos e profundidades de encostas. A cidade é suscetível a inundações frequentes e à perda de áreas verdes, o que afeta diretamente a qualidade de vida dos habitantes, especialmente aqueles que residem em morros e vielas. Esta pesquisa envolveu uma análise qualitativa e quantitativa, utilizando dados do MapBiomias para investigar o uso e ocupação do solo. Além disso, foi adotado uma abordagem empírica, com a utilização de fotografias que retratam a realidade das encostas do Recife, além de outras áreas passíveis a riscos. Como resultado, comprovando-se a progressiva urbanização e ocupação em áreas de risco, identificando, por meio das imagens, as áreas mais suscetíveis a vulnerabilidades socioambientais. Por fim, este estudo sublinha a importância do monitoramento e da análise da dinâmica urbana como fatores essenciais para embasar decisões informadas e melhorar as condições de vida de todos os habitantes do Recife.

**Palavras chave:** Mapbiomas. Urbanização. Uso e ocupação do solo.

---

<sup>1</sup> Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: [aline.mfsilva@ufpe.br](mailto:aline.mfsilva@ufpe.br).

<sup>2</sup> Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: [gabrielly.gregorio@ufpe.br](mailto:gabrielly.gregorio@ufpe.br).

<sup>3</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: [vinicius.florencio@ufpe.br](mailto:vinicius.florencio@ufpe.br).

**Abstract**

Recife, one of the most emblematic cities in the Brazilian Northeast, stands out not only for its rich history and culture, but also for the significant challenges related to social and environmental vulnerability. This study explores the possibility that, if Recife were redesigned based on its contemporary reality, its new postcard could be represented by the integration of these two dimensions. Social vulnerability in Recife is evident in the form of persistent inequalities, with marginalized communities facing difficulties in accessing basic services, quality education and economic opportunities. Furthermore, environmental vulnerability is protected due to challenges related to sea level rise, extreme weather events, and slope depths. The city is susceptible to frequent flooding and the loss of green areas, which directly affects the quality of life of inhabitants, especially those who live on hills and alleys. This research involves a qualitative and quantitative analysis, using data from MapBiomas to investigate land use and occupation. Furthermore, an empirical approach was adopted, using photographs that portray the reality of Recife's slopes, as well as other areas subject to risk. As a result, the progressive urbanization and occupation in risk areas was confirmed, identifying, through images, the areas most susceptible to socio-environmental vulnerabilities. Finally, this study highlights the importance of monitoring and analyzing urban dynamics as essential factors to support informed decisions and improve the living conditions of all residents of Recife.

**Keywords:** MapBiomas. Urbanization. Land use and occupation.

**Introdução**

A relação entre industrialização e urbanização historicamente encontra-se no fato de que a dinamização da sociedade está diretamente associada ao processo industrial, no qual em conjunto com a crescente demanda de mão-de-obra, atraindo migrantes em busca de avanços técnicos- científicos e desenvolvimento socioeconômico, ocasiona um alargamento populacional. (Santos et al., 2023 & Song et al., 2021). Tal processo ocorre no Brasil de maneira desordenada, concentrando-se no século XX, obtendo intensificação entre os anos 1940 e 1980, onde o Brasil passa a ter uma população urbana superior à população rural, seguindo assim um modelo organizacional centro- periferia, como afirma Milton Santos.

“(…) problemas de transporte, extroversão e periferização da população, gerando, graças às dimensões da pobreza e seu componente geográfico, um modelo específico de centro-periferia. Cada qual dessas realidades sustenta e alimenta as demais e o crescimento urbano, é, também, o crescimento sistêmico dessas características” (Santos, 2005).

Santos (2005) ainda afirma que as frações territoriais munidas de informação “competem vantajosamente com as que deles não dispõem”. Sendo assim, os conceitos de território opaco e território luminoso, trazidos pelo autor, são esclarecedores da dinâmica

territorial e organizacional que se deu nas cidades brasileiras. Os territórios opacos possuem demanda de serviços e técnicas de interesse coletivo, porém apresentam uma opacidade, ou seja, está distante dessas características que o território luminoso possui (alta densidade técnica e tecnológica), o que vai ocasionar numa exclusão socioespacial.

Todo esse movimento é acompanhado por desigualdade social, segregação territorial e impactos ao meio ambiente (Maricato, 2003). Estudos como de Soares et al., 2006; Deparis, 2014, & Monteiro et al., 2020, indicam que a ocupação desordenada em áreas de risco contribui significativamente para a degradação ambiental, além dos riscos que eventos climáticos extremos podem trazer para essas populações.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo no Brasil é uma ferramenta fundamental para o ordenamento territorial e o planejamento urbano nas cidades do país (Aragão et al., 2022). A lei estabelece diretrizes específicas para a ocupação do espaço urbano, visando promover um desenvolvimento sustentável, a melhoria da qualidade de vida da população e a proteção dos recursos naturais. Os principais parâmetros dessa legislação incluem definições sobre zonas de uso (residencial, comercial, industrial), limites de ocupação, taxa de ocupação, índices de permeabilidade do solo, entre outros.

No Município do Recife, a Lei de Uso e Ocupação do Solo é aplicada de acordo com a sua realidade local e demandas específicas. O objetivo principal é regular o crescimento urbano e garantir a organização espacial da cidade. No entanto, é importante destacar que a aplicação efetiva da lei muitas vezes enfrenta desafios, como a falta de fiscalização adequada e a pressão por parte dos interesses do setor imobiliário.

Ao considerar os mecanismos contemporâneos de produção do espaço urbano, o processo de adensamento e gentrificação está diretamente ligado à periferização urbana que leva à ocupação das áreas de risco. Maricato, em suas análises urbanísticas, ressalta ainda que a falta de efetivação das políticas de uso do solo contribui para essa expansão desordenada das cidades, levando a ocupação de áreas de risco, como encostas de morros e margens de rios (Santos et al., 2017 & Maricato, 2003, 2017). Isso tem consequência direta nos impactos ambientais negativos e risco de desastres.

Diversos estudos indicam que a retirada e supressão da vegetação, o recorte de taludes e lançamentos de resíduos nas encostas colaboram com os deslizamentos nas cidades. (Carvalhais et al., 2019; Nascimento et al., 2020, & Santos et al., 2023). Recife se apresenta com risco significativo ao analisar áreas de encostas suscetíveis a deslizamentos. O Plano Diretor (Lei Complementar N° 2 de 23 de abril de 2021) e a Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas e Estratégia de Adaptação do Município do Recife -PE (2019)

são estudos propostos pela prefeitura do Recife que mostram a vulnerabilidade e desafios com o aumento da a incidência de ocupações nas áreas de morros da cidade.

Além disso, Recife também enfrenta desafios significativos relacionados ao risco de inundação. As principais causas desse risco incluem sua topografia baixa e plana, a elevação do nível do mar devido às mudanças climáticas, bem como o rápido crescimento urbano e a ocupação desordenada das áreas de manguezais e encostas. As inundações frequentes têm impactos socioambientais graves, afetando principalmente as comunidades mais vulneráveis que residem em áreas de risco (Moreira et al., 2014).

A correlação entre fatores físicos e socioeconômicos se apresenta como uma ferramenta para gestão territorial e urbana, sendo fundamental para diagnosticar e auxiliar nas tomadas de decisões governamentais. Sendo assim, a presente pesquisa analisou e quantificou o uso e ocupação do solo no Município do Recife para identificar o processo de urbanização, além de visualizar o processo de ocupação áreas de vulnerabilidade socioambiental, fazendo um estudo integrado entre fatores socioespaciais.

Nesse contexto, este estudo busca contribuir para uma compreensão aprofundada da dinâmica urbana em Recife, destacando a interconexão entre a urbanização desordenada, a vulnerabilidade socioambiental e os desafios enfrentados pela cidade. A análise espacial e a avaliação dos padrões de uso e ocupação do solo servirão como base para identificar áreas críticas e promover uma reflexão sobre a importância do planejamento urbano sustentável e da efetivação das políticas de uso do solo na busca por soluções que mitiguem os riscos e impactos associados a esse cenário complexo.

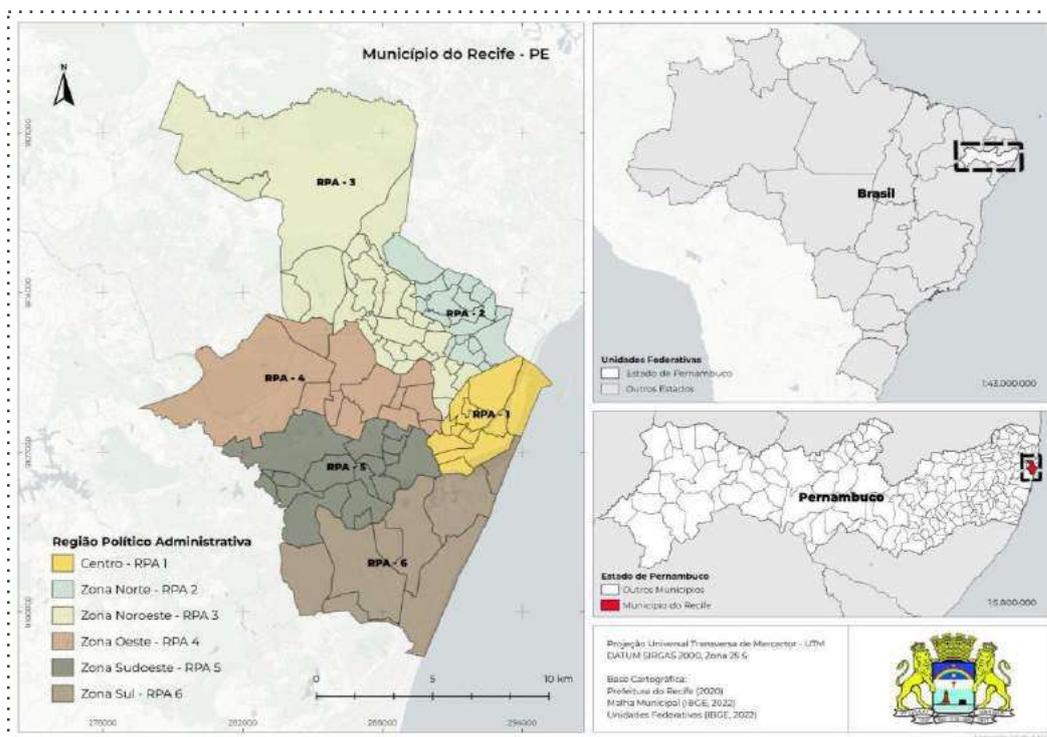
## **Metodologia**

### **Caracterização da área de estudo**

O Município do Recife está localizado no litoral pernambucano, tendo as coordenadas geográficas latitude 8° 04' 03'' s e longitude 34° 55' 00'' w (Figura 1). Recife é a capital do estado, possuindo uma extensão territorial de aproximadamente 218,843 km<sup>2</sup>. Os municípios limítrofes a Recife está situada, ao Norte com o Município de Paulista, ao Sul com o Município de Jaboatão dos Guararapes, a Oeste com os Municípios de Camaragibe e São Lourenço da Mata, ao Noroeste com o Município de Abreu e Lima, ao Nordeste com o Município de Olinda, além de a Leste está adjacente com o Oceano Atlântico.

Figura 1

*Mapa de localização do Município do Recife (PE).*



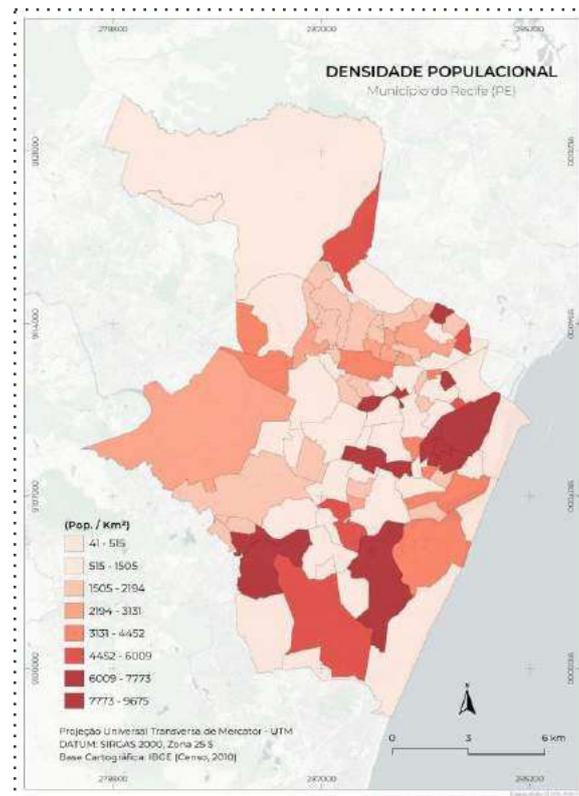
Fonte: Autores (2023).

A cidade possui 94 bairros, sendo subdivididos em 6 Regiões Político Administrativas (RPA). Sendo RPA 1 - Centro; RPA 2 - Zona Norte; RPA 3 - Zona Noroeste; RPA 4 - Zona Oeste; RPA 5 - Zona Sudoeste; RPA 6 - Zona Sul (Prefeitura do Recife, 2021).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Município possui uma estimativa de 1.488.920 habitantes. A capital pernambucana obteve uma redução de 3,7% em relação ao recenseamento demográfico anterior (2010), com perda de 48.784 habitantes em números absolutos. No entanto, essa redução populacional não se reflete na concentração urbana, que permanece sendo a cidade com maior número de habitantes do Estado de Pernambuco (IBGE, 2022). Na figura 2, é possível observar a distribuição da densidade populacional por bairros, onde concentra-se na região central (RPA - 2) e região sul (RAP - 6).

Figura 2

*Dinâmica da densidade populacional para o Município do Recife (PE); Censo 2010.*



Fonte: Autores (2023).

### *Aspectos Físicos*

A capital pernambucana, assim como diversos setores da faixa costeira do Estado pernambucano, caracteriza-se pela ocorrência de áreas planas a suavemente inclinadas constituída por depósitos quaternários fluviais e marinhos, formando uma planície que antecede os morros da Formação Barreiras, sendo estes estruturados por sedimentos argilo-arenosos do Neógeno. (Galvão, 2014).

Os sedimentos que compõem os solos da Formação Barreiras são de material de origem pré- intemperizado, retrabalhado e que sofreu a influência de mudanças climáticas durante a pedogênese, sendo predominantemente constituídos por solos de classe Argissolos e Latossolos, genericamente denominados “solos de tabuleiros”, devido à sua ocorrência sob formas geomorfológicas típicas com encostas convexas e topo plano, características de ambientes de clima úmido com processos de rastejo lateral de material. (Galvão, 2014). O espaço que o Recife está localizado surge como uma forma de anfiteatro, onde sua parte alta, localizada principalmente na zona Norte e Oeste, composta pela Formação Barreiras, tem predisposição a deslizamentos, pois apresenta uma diferença textural bastante abrupta entre os horizontes A e B no solo, gerando um grave problema de infiltração da água em

subsuperfície (Galvão, 2014).

A cobertura vegetal do Recife é constituída pela vegetação nativa de mata atlântica úmida e dos manguezais, bem como pela vegetação cultivada, pública ou privada. A maior parcela da vegetação do Recife consiste em remanescentes da vegetação nativa em diferentes estágios de conservação, como o parque dos manguezais no Pina e as Matas de Dois Irmãos, Várzea, Curado; ora assumindo o caráter de Matas secundárias, como as da Guabiraba e de Pau Ferro; outras já bastante atingidas pela ação humana, como no caso do engenho Uchôa; e finalmente citam-se aquela área sujeita a um grave senão irreversível processo de devastação, visível na Caxangá e Iputinga ou ainda na faixa estuarina. Além disso, as áreas ribeirinhas, as várzeas dos rios, as depressões e os sangradouros de represas ou açudes incluem-se como espaços vegetados, com presença de gramíneas e inúmeras espécies invasoras, arbustivas e herbáceas (Vasconcelos, 2000).

Com uma localização latitudinal na zona intertropical, onde se dá a maior incidência solar do planeta e observam-se variações de temperatura praticamente estáveis entre os meses de verão e inverno, Recife e sua região metropolitana sofre influência na maior parte do ano, da massa Tropical Atlântica, caracterizada como uma massa tropical quente e úmida (características relacionadas à sua área de origem sobre o Atlântico Sul). Nos meses mais chuvosos (Junho e Julho), é verificada uma mudança na influência sobre os padrões de tempo da RMR, causada pelo avanço da Frente Polar Atlântica e principalmente pelas instabilidades oriundas das ondas de leste, proporcionando assim chuvas moderadas a fortes que duram em média de dois a três dias. São essas chuvas que, mormente, precedem os deslizamentos no Recife e em cidades vizinhas. O tipo climático atuante no Litoral de Pernambuco é de regularidade bastante úmida e bem distribuída, porém, quando ocorrem chuvas com alta intensidade e índice pluviométrico, incrementa ao desequilíbrio das encostas ocupadas irregularmente na cidade do Recife a energia de um evento geomorfológico natural já modificado pela ação humana (Galvão, 2014 & Girão, Corrêa, & Guerra, 2006).

### **Procedimentos metodológicos**

Para elaboração dos mapas, foi utilizado o *software* QGIS (*Quantum Geographic Information System*), versão 3.28.8.

### *Densidade demográfica*

Os dados obtidos para o mapa de densidade demográfica foram adquiridos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Através do Censo Demográfico (2010), foi possível quantificar o adensamento populacional. Para isso, foram interpolados os dados fornecidos pelo IBGE nos arquivos de formato *shapefile* dos bairros fornecidos pela Prefeitura do Recife, com objetivo de visualizar a dinâmica da densidade populacional presente no Município.

### *Uso e ocupação*

As imagens utilizadas para classificação de uso e ocupação do solo foram adquiridas do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil – MapBiomias. O projeto oferece imagens tratadas pixel a pixel do conjunto de satélites Landsat, Sensor TM (*Thematic Mapper*) de sete bandas espectrais e resolução de 30 MT com objetivo de melhorar os resultados de classificação de uso e cobertura do solo. Ideal para áreas com alta cobertura de nuvem (MapBiomias, 2020).

Para esse estudo, foi escolhida a coleção 8 do projeto do MapBiomias, no qual cobre o período de 1985 a 2022. Para fazer a análise em escala temporal, optou-se pelas imagens correspondentes aos anos de 1985, 2000, 2010 e 2022, fazendo assim uma escala temporal de 37 anos. Após fazer a reprojeção dos dados para o sistema de coordenadas planas, foi possível classificar o uso e ocupação do solo de acordo com a legenda fornecida pelo projeto (Tabela 1).

Tabela 1

*Classes de uso e ocupação do solo e Identificadores (ID).*

Classes	ID
Formação Florestal	3
Formação Savânica	4
Mangue	5
Campo Alagado	11
Formação Campestre	15
Cana	20
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21
Praia, Duna e Areal	23
Área Urbana	24
Outras Áreas Não Vegetadas	25
Mineração	30
Rio, Lago e Oceano	33

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2020).

### *Método quantitativo*

Utilizando o QGIS, foi possível fazer a re-projeção das imagens para o sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o DATUM oficial do Brasil, o SIRGAS 2000, zona 25 Sul. Após o recorte do vetor para a área de interesse, foi realizada a definição de classes na aba *Symbolology* do QGIS, de acordo com Identificadores (ID), assim como os códigos de paleta de cores RGB para cada classe da legenda, obtidos na plataforma do MapBiomias, 2020.

Após determinar as áreas correspondentes a cada classe de uso e ocupação do solo dentro da bacia, com o auxílio da ferramenta *r.report* na aba de processamento do QGIS, foi possível quantificar as mudanças ocorridas em cada ano analisado. O *software Microsoft Excel* foi utilizado para sintetizar e calcular o percentual de mudança ocorrido em cada classe na janela de 37 anos.

### *Hipsometria e declividade*

Para os mapas hipsométrico e de declividade do terreno, foram obtidas imagens do Nasa DEM (*Digital Elevation Model*), que é o re-processamento das imagens da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), projeto com finalidade de melhorar a precisão altimétrica e corrigir falhas (Nasa, 2020).

A classificação de declividade foi gerada através dos parâmetros adotados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), frequentemente utilizado

em estudos ambientais, no qual determina o tipo de relevo em percentual (Tabela 2).

Tabela 2

*Classes e faixas de declividade, conforme EMBRAPA (1979).*

Classes de Declividade	Faixa de Declividade
Plano	0-3%
Suave Ondulado	3-8%
Ondulado	8-20%
Forte Ondulado	20-45%
Montanhoso	45-75%
Escarpado	>75%

Fonte: Autores (2023).

### *Método empírico*

Para realização da presente pesquisa, buscou-se utilizar de um recurso importante e valioso a ciência geográfica, o registro de imagens fotográficas, cujo Gomes e Berdolay (2018) julgam fundamental para o desenvolvimento do conhecimento científico geográfico. Sendo assim, foi realizada uma pesquisa de campo no dia 10/09/2023, que contou com duração de aproximadamente 2 horas de registros fotográficos do bairro Ibura, na cidade do Recife (PE). As imagens foram averiguadas e escolhidas conforme parâmetros pré-definidos, sendo escolhidas as imagens que detinham medidas de contenção, ou seja, lonas ou muros de arrimo. A área escolhida se deu pelo fato do bairro está ranqueando as áreas de maior risco e vulnerabilidade, segundo o estudo *Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas e Estratégia de Adaptação do Município do Recife -PE (2019)*. Partindo da premissa de que “ver é compreender” (Arnheim), a utilização desse instrumento metodológico busca evidenciar as abordagens de maneira mais clara e objetiva através das fotografias. Dito isso, também foram utilizadas imagens geradas a partir do *Google Earth* para averiguar as áreas de morros e os riscos ambientais a partir de uma nova perspectiva. Foram selecionados os seguintes pontos: Macaxeira, Alto José Bonifácio e Alto do Mandú. Os três pontos fazem parte de diferentes regiões da cidade, que possuem vulnerabilidade socioambiental.

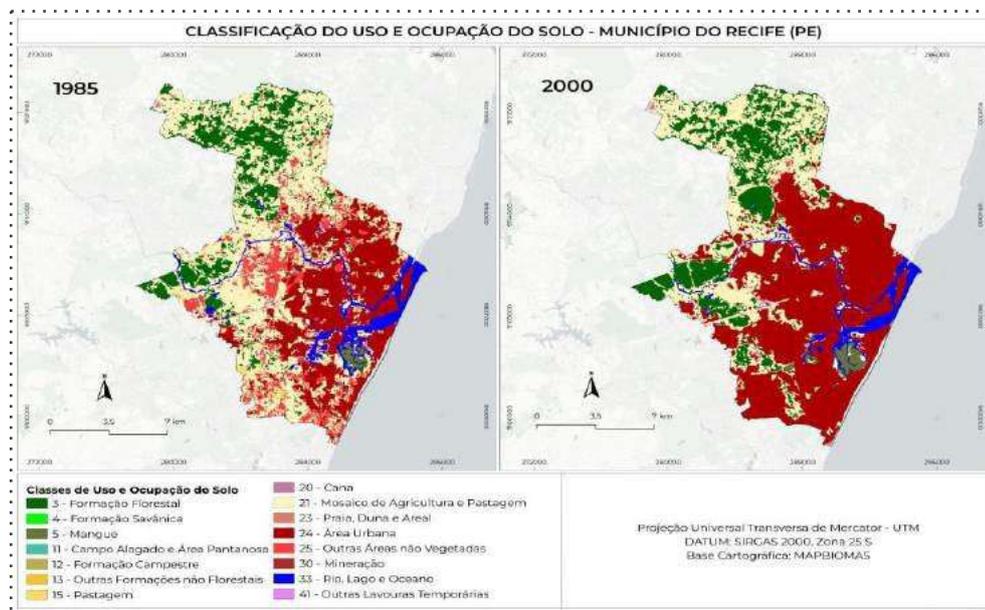
## **Resultados e discussão**

### **Análise espaço-temporal**

A partir das imagens obtidas do MapBiomias, foi possível fazer a classificação dinâmica de uso e ocupação do solo do Município do Recife para os anos 1985, 2000, 2010 e 2022, respectivamente representadas nas figuras 3 e 4. Em 1985, a cidade do Recife começava com seu processo de urbanização mais intensificada, com poucas áreas de formação florestal e uma considerável amostragem de mosaico de agricultura e pastagem (Figura 3 - 1985) em relação ao período analisado de uso. Foi possível observar uma mudança significativa em todo território recifense, que em 2023 Recife é considerada uma cidade 100% urbanizada (Portal do Território da cidade do Recife, 2023).

Figura 03

*Mapa de Uso e Ocupação do Solo no Município do Recife (PE) para os anos de 1985 e 2000.*

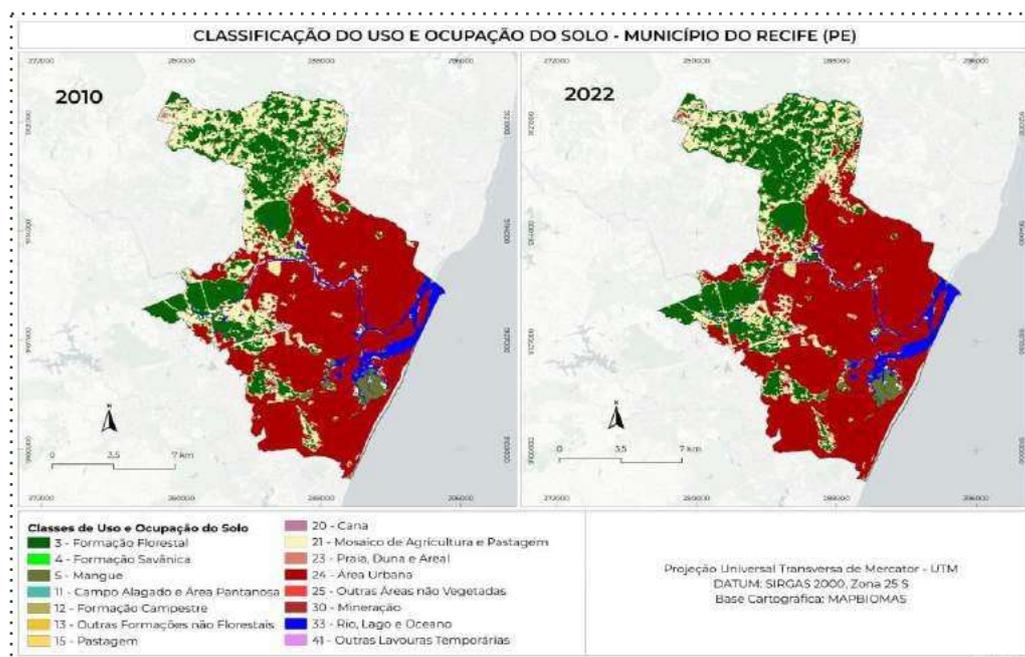


Fonte: Autores (2023).

Nos anos 2000 observa-se que o mosaico de agricultura e pastagem foi dando lugar as áreas de urbanização, principalmente nas regiões central e sul. Recife enfrenta questões urbanas complexas com consequências diretas sobre a qualidade de vida de seus habitantes e, por conseguinte, o desenvolvimento sustentável. A normativa urbanística vigente, tanto em nível nacional quanto local, fomentou a verticalização das áreas urbanas, gerando distinções paisagísticas notáveis (Medina, 1997). Saliente-se que o processo de urbanização frequentemente se associa à supressão de áreas naturais, como corpos hídricos e vegetação arbórea, em prol do desenvolvimento edificado (Barbosa et al., 2011). Tal fenômeno acarreta irreversíveis impactos ambientais e sujeita as populações a crescentes graus de vulnerabilidade, os quais se intensificam ao longo do tempo.

Figura 4

*Mapa de Uso e Ocupação do Solo no Município do Recife (PE) para os anos de 2010 e 2022.*



Fonte: Autores (2023).

No entanto, as áreas de vegetação concentram-se nos parques da cidade. O estudo realizado por Silva, Gregório e Carneiro (2016), evidenciou o uso do solo nas atividades como setor comercial e residencial, no entorno do parque urbano da Macaxeira, que apesar da concentração verde sofre com a má distribuição da infraestrutura. Recife cresceu de

maneira desenfreada e sem planejamento urbano adequado, isso afeta a vida das pessoas desde 1985 até os dias atuais. Entre os anos estudados foi possível observar uma perda de rio, principalmente de 2010 a 2022, é importante salientar que Recife é conhecida como a “Veneza” brasileira, por conta da sua topografia e a presença de inúmeros rios, riachos e canais que cortam a cidade.

Fundamentado nos dados a partir da classificação de uso e ocupação do solo (Figura 3 e 4), foi possível produzir a tabela 3, da qual apresenta a quantificação das classes de uso e ocupação em km<sup>2</sup> e porcentagem (%). Percebe-se que no primeiro ano de variação observado – 2000, a classe de ‘área urbana’ obteve um aumento de 106,07% em relação ao primeiro ano observado, isso compreende um aumento de 55,28 km<sup>2</sup>, ou seja, a mancha urbana dobrou em 15 anos, somado ao aumento de 5,14% entre 2010 – 2022, a infraestrutura urbana chega a um ganho de aproximadamente 111,21% de extensão de área na cidade, comprovando assim o adensamento populacional desordenado aqui discutido.

Tabela 3

*Cálculo de áreas das classes de uso e ocupação do solo no Município do Recife (PE) para os anos de 1985 – 2000 e 2010 – 2022.*

Classes	Variação Temporal das Classes de Uso e Ocupação do Solo							
	Área (Km <sup>2</sup> )		Variação		Área (Km <sup>2</sup> )		Variação	
	1985	2000	Km <sup>2</sup>	%	2010	2022	Km <sup>2</sup>	%
<b>Formação Florestal</b>	30,718083	36,357634	5,640	18,36	43,218099	49,216577	5,998	13,88
<b>Formação Savânica</b>		0,013289	NULL	NULL	0,013289	0,013289	0	0
<b>Mangue</b>	1,589981	2,874769	1,285	80,81	3,112192	2,932353	-0,180	-5,78
<b>Campo Alagado</b>	0,487478		NULL	NULL	0,000886	0,056698	0,056	6299,3
<b>Formação Campestre</b>	2,528244	0,274631	-2,254	-89,14	0,384484	1,217237	0,833	216,59
<b>Cana</b>	1,801396	1,358096	-0,443	-24,61	1,27925	1,078149	-0,201	-15,72
<b>Mosaico de Agricultura e Pastagem</b>	90,960888	58,924349	-32,037	-35,22	47,342884	36,437365	-10,906	-23,04
<b>Praia, Duna e Areal</b>	0,077752	0,042524	-0,035	-45,31	0,067329	0,024805	-0,043	-63,16
<b>Área Urbana</b>	52,118178	107,40208	55,284	106,07	112,932799	118,733719	5,801	5,14
<b>Outras Áreas Não Vegetadas</b>	25,710516	0,975384	-24,735	-96,21	0,807062	0,555464	-0,252	-31,17
<b>Mineração</b>	0,01922	0,041638	0,022	116,64	0,042524	0,042524	0	0

<b>Rio, Lago e Oceano</b>	11,853221	9,308227	-2,545	-21,47	8,378911	7,282158	-1,097	-13,09
---------------------------	-----------	----------	--------	--------	----------	----------	--------	--------

Fonte: Autores, 2023.

Formação Savânica que corresponde a áreas composta por árvore e arbustos espalhados sem dossel contínuo começou a aparecer em Recife no ano 2000, conforme a tabela 3, áreas como estas são comuns em regiões de clima tropical e subtropical, onde há uma estação seca bem definida, seguida por uma estação chuvosa. Além disso, outra classe a ser destacada são as áreas de mangue, nas quais obtiveram um aumento de 1,101 km<sup>2</sup>, somando uma elevação de 80,81% em relação ao primeiro ano observado. Nos anos seguintes, foi observado uma pequena redução da mesma classe, com perda de 5% de extensão de área.

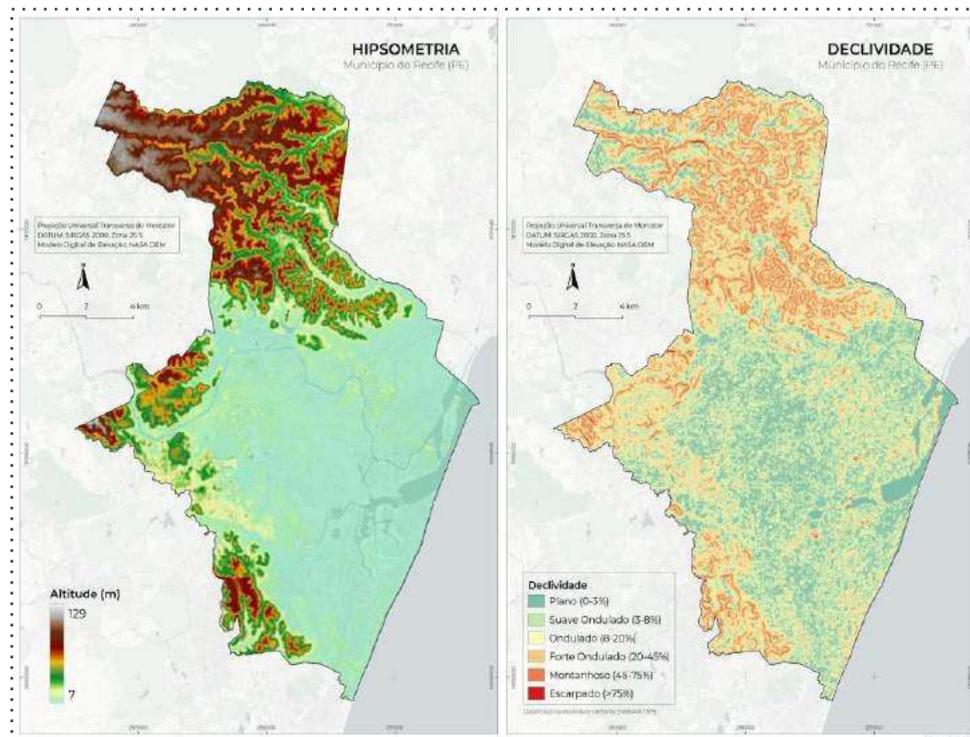
Apesar de substancial elevação da infraestrutura urbana, a classe correspondente a formação florestal adquiriu um ganho de 18,36% entre os anos 1985 – 2000, e de 13,88% entre os anos 2010 – 2022. Isso pode estar relacionado com o fato de que os mecanismos de produção do espaço urbano foram sendo alterados ao longo dos anos, aumentando cada vez mais a lógica industrial de produção, consequentemente levando a uma diminuição das atividades agrícolas, que pode ser interpretado com a conversão da classe mosaico de agricultura e pastagem em formação florestal, principalmente na parte norte da cidade.

### **Análise física**

Com o mapa de hipsometria e declividade (Figura 5), observa-se que as áreas mais suscetíveis a riscos de deslizamentos encontram-se nas faixas de forte ondulado (20-45%) e montanhoso (45- 75%) de declividade, com altitudes variando entre 70 e 100 metros acima do nível do mar. Ressalta-se, então, que as áreas com riscos de deslizamentos são justamente as áreas de concentração da população periférica da cidade, bairros como: Alto do Mandú, Alto José Bonifácio, Alto José do Pinho, Brejo da Guabiraba, Córrego do Genipapo, Macaxeira, Nova Descoberta, Sítio dos Pintos, Vasco da Gama, Dois Unidos, Linha do Tiro, Campo Grande. Para realização da caracterização desses bairros e dos demais que estão suscetíveis a sofrer com deslizamentos em Recife é extremamente importante estudar o balanço hídrico como mostra Melo et al. (2023).

Figura 5

Mapa hipsométrico e de declividade do terreno no Município do Recife (PE).

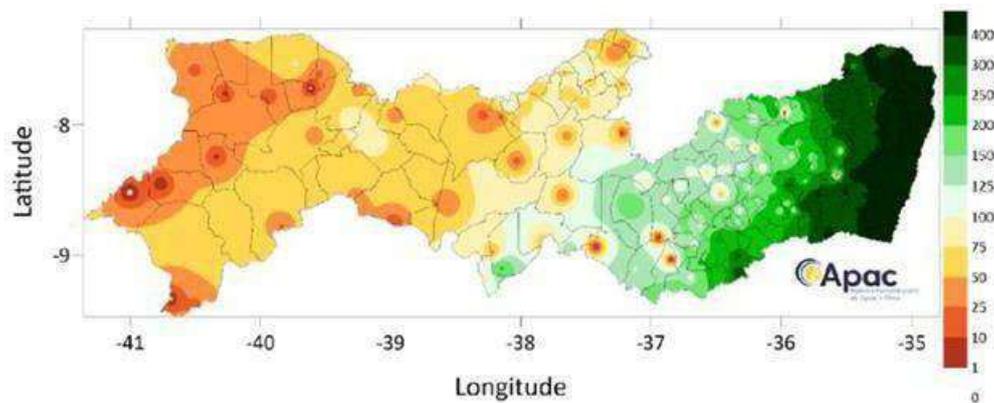


Fonte: Autores, 2023.

O crescimento desordenado da cidade resultou na ocupação de áreas de encostas e morros como mostra Bezerra (2022), muitas vezes sem planejamento adequado. A supressão da vegetação natural para dar lugar a construções instabiliza o solo, criando assim áreas de risco. Paralelo a esses acontecimentos, a cidade também possui uma instabilidade em relação aos meses chuvosos, devido aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL). Em maio de 2022, a cidade do Recife registrou um alto acúmulo de chuvas (Figura 06), devido aos fortes índices pluviométricos, houve deslizamentos em várias partes da cidade além dos alagamentos. Foram registrados 128 óbitos em diversas cidades da Região Metropolitana do Recife (RMR), as vítimas moravam em áreas de riscos e perderam suas vidas devido aos deslizamentos de terra (Souza et al., 2023 & Machado et al., 2012).

Figura 6

*Índice de acúmulo de chuva em Pernambuco no mês de maio de 2022.*



Fonte: APAC, 2022.

### **Análise empírica**

Recife é reconhecida como a cidade dos manguezais, que se traduz em sua extensa área de mangue que se estende ao longo de sua costa, englobando as margens dos rios Capibaribe e Beberibe. Esses ecossistemas costeiros desempenham uma função ecologicamente vital na região, atuando como berçários para diversas espécies marinhas, contribuindo para a filtragem e purificação da água, além de servirem como barreiras naturais contra a erosão costeira (Moura & Mota, 2022). Paralelamente, essas áreas de manguezais também são habitadas por comunidades locais, onde muitas famílias encontram moradia e fontes de sustento (Figura 7). A preservação desses manguezais é de interesse não apenas pela conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que fornecem, mas também pela manutenção da qualidade de vida das comunidades que deles dependem.

Na fotografia escolhida, é possível observar as estruturas desiguais que atuam na cidade do Recife. Ao fundo das palafitas encontram-se os prédios comerciais que estão concentrados na parte central da cidade, desempenhando um poder de pressão imobiliária que leva muitas famílias a se deslocar para as áreas de riscos. Vale ressaltar que um dos principais problemas que norteiam as cidades brasileiras se diz respeito à instalação de

moradias em locais de risco de deslizamentos e inundações (Santana, 2019).

Figura 7

*Projeto mãos solidárias realiza doação de alimentos para famílias que vivem em situação de vulnerabilidade na cidade.*



Fonte: Mãos Solidárias, 2021.

Além disso, as ocupações em morros na cidade representam um fenômeno urbano complexo e multifacetado. Morros e encostas em áreas urbanas, são territórios ocupado predominantemente pela população de baixa renda, que pelo fenômeno do crescimento urbano procurou moradia acessível. No entanto, essas ocupações estão associadas a desafios significativos, como já discutido anteriormente (Santos et al., 2017).

O processo de ocupação em áreas de colina na cidade ocorreu no início da década de 40, quando as pessoas que viviam em áreas de planícies alagáveis, tiveram suas “casas” erradicadas. A falta de moradias acessíveis em áreas urbanas leva muitas famílias a buscar alternativas em morros e encostas, a desigualdade econômica é um fator central, impulsionando as ocupações em morros, pois a falta de recursos os impede de viver em áreas mais seguras e legalmente estabelecidas (Silva, 2023 ).

O bairro da Macaxeira (RPA – 03), sendo caracterizado por uma densidade populacional significativa e uma área de 125 ha, se destaca por estar inserido numa região

de relevo predominantemente acidentado, apresentando o declive fortemente ondulado (Figura 8). A topografia irregular da área traz desafios adicionais em relação ao planejamento urbano e à gestão do uso do solo, requerendo estratégias específicas para mitigar riscos e garantir a qualidade de vida dos residentes (Santos et al., 2023). Na figura 8, é possível identificar essas características anteriormente

apresentas, facilitando a compreensão e evidenciando os possíveis desafios para gestão urbana do Município.

Figura 8

*Bairro da Macaxeira, visualização espacial via Google Earth, 2023.*



Fonte: Google Earth, 2023.

Semelhantemente, o bairro Alto do Mandú (Figura 9) fica localizado na RPA – 03, zona noroeste do Recife, com área de aproximadamente 25 ha. Uma característica notável do Alto do Mandu é sua topografia, que apresenta desníveis acentuados e colinas íngremes (Prefeitura do Recife, 2008), acrescentando complexidade à sua paisagem urbana. Essa topografia peculiar influencia diretamente a ocupação e o planejamento urbano da região, demandando medidas de contenção e estabilidade para enfrentar os desafios associados a encostas e morros (Santos et al., 2023 & Girão, Corrêa & Guerra, 2007).

Figura 9

*Bairro Alto do Mandú, visualização espacial via Google Earth.*



Fonte: Google Earth, 2023.

O bairro Alto José Bonifácio, também localizado na RPA – 03, possui, semelhantemente aos anteriores, uma topografia complexa que desafia as ocupações existentes, trazendo uma característica de áreas de risco para seus moradores (Figura 10). É importante salientar que esse fenômeno de periferização decorre muitas vezes de um processo de gentrificação, segregando socioespacialmente as populações menos favorecidas (Maricato, 2017 & Santos et al., 2017).

Figura 10

*Bairro Alto José Bonifácio, visualização espacial via Google Earth.*



Fonte: Google, Earth, 2023.

### **Análise em campo**

Por todo o exposto, os deslizamentos de morros e encostas representam uma ameaça significativa para comunidades que residem em áreas de relevo acidentado. Para lidar com esse desafio, foi percebido diversas técnicas de contenção que têm sido desenvolvidas e implementadas ao longo dos anos pela Prefeitura da cidade, também evidenciadas e localizadas no bairro do Ibura, RPA – 6 (Figura 11 e 12).

Figura 11

*Mapa destaque para o bairro Ibura (RPA - 6) no Município do Recife (PE).*



Fonte: Autores, 2023.

Neste contexto, as lonas se destacam como uma abordagem eficaz e economicamente viável para prevenir e mitigar possíveis deslizamentos em áreas de risco. As lonas, muitas vezes fabricadas a partir de materiais geossintéticos, desempenham um papel crucial na contenção de deslizamentos em morros e encostas. É importante lembrar que esses materiais são escolhidos devido às suas propriedades de resistência, durabilidade e capacidade de estabilização do solo. Outrossim, as lonas geossintéticas podem ser usadas em diferentes configurações, como mantas ou geomembranas, essa variação será realizada de acordo com o contexto local.

Figura 12

*Área de risco no bairro do Ibura.*



Fonte: Autores, 2023.

Outra medida de contenção realizada pela prefeitura na cidade do Recife é o muro de arrimo, proveniente de uma estrutura construída para suportar a pressão do solo ou da água e, assim, evitar deslizamentos de terra ou erosão em áreas inclinadas. Esses muros são comumente usados em terrenos com declives acentuados, encostas íngremes ou áreas suscetíveis a deslizamentos (Figura 13). Na contenção de deslizamentos de terras o muro de arrimo desempenha um papel importante, protegendo vidas, propriedades e infraestruturas em áreas propensas a movimentos de terra.

Figura 13

*Área de risco no bairro do Ibura, ao lado esquerdo uma medida de contenção de lona e no direito um muro de contenção.*



Fonte: Autores, 2023.

A percepção dessas complexas interações entre urbanização e ocupações em áreas de risco foi alcançada pela utilização das imagens, fornecendo uma visão autêntica da realidade (Figura 14), podendo ser instrumento de administração da gestão urbana na cidade do Recife – PE. Apesar da Prefeitura implementar formas de contenção para essas áreas, o problema da ocupação em áreas de risco possui várias camadas sociais muito mais profundas e complexas que merecem atenção.

Figura 14

*Área de risco no bairro do Ibura.*



Fonte: Autores, 2023.

## Considerações Finais

Em síntese, a presente pesquisa lança luz sobre a intrincada relação entre urbanização, vulnerabilidade socioambiental e planejamento urbano no Município do Recife. A análise espacial revelou padrões de uso e ocupação do solo que evidenciam a expansão desordenada da cidade, especialmente em áreas de risco, o que tem implicado em significativos impactos ambientais e sociais. Os desafios enfrentados pelo município, incluindo riscos de deslizamentos e inundações, tornam-se mais prementes em um contexto de mudanças climáticas globais.

Dessa forma, a metodologia de análise espaço-temporal do uso e ocupação se mostrou eficaz em demonstrar como o crescimento urbano cresceu de maneira desordenada com aumentos substanciais em uma janela de 37 anos, sendo os 15 primeiros anos mais cruciais para essa urbanização com um aumento de mais de 105% de infraestrutura urbana em relação ao primeiro ano observado.

Além disso, com o mapa hipsométrico e de declividade, foi possível fazer uma análise mais robusta, possuindo um nível de detalhamento importante para espacializar e mostrar as áreas de morro da cidade, conseqüentemente informando os riscos de habitação das mesmas.

A metodologia empírica também se mostrou fundamental para compreensão e documentação da vulnerabilidade socioambiental na cidade do Recife. A utilização dessas imagens não apenas enriqueceu o entendimento, mas também destacou a importância das representações visuais na pesquisa geográfica e na formulação de políticas urbanas mais eficazes, além de validar as informações fornecidas no estudo.

Nesse sentido, os resultados deste estudo reforçam a necessidade urgente de políticas públicas efetivas de ordenamento territorial e uso do solo, bem como de estratégias de adaptação às mudanças climáticas. É imperativo que a cidade de Recife promova uma abordagem mais sustentável para o desenvolvimento urbano, incorporando princípios de resiliência e equidade socioespacial em seu planejamento urbano. Além disso, a análise integrada de fatores físicos e socioeconômicos demonstra a relevância de abordagens multidisciplinares na gestão territorial e urbana. Os resultados deste estudo podem servir como subsídio valioso para formuladores de políticas, pesquisadores e demais interessados na busca por soluções que promovam um ambiente urbano mais seguro, justo e sustentável

em Recife.

Por fim, é fundamental destacar que esta pesquisa representa um ponto de partida, e a continuidade do monitoramento e análise da dinâmica urbana da cidade é essencial para a tomada de decisões informadas e o aprimoramento das condições de vida para todos os habitantes de Recife.

## Referências

- Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2022). *Acumulado mensal de precipitação*. <https://www.apac.pe.gov.br/uploads/MAIO-2022-.pdf>.
- Aragão, A. A. et al. (2022). Impactos da Lei de uso e ocupação do solo nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade às atividades em Fortaleza. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 14, e20210062. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210062>
- Barbosa, W. B. et al. (2011). Análise espaço-temporal por fotointerpretação do uso e ocupação do solo de um trecho do setor leste do Parque dos Manguezais, Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30, p. 7007-7014.
- Carvalhais, R. M. et al. (2019). Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. *Brazilian Journal of Development*, 5(7), 9765-9772.
- Bezerra, J. M. V. (2022). O processo de urbanização e adensamento populacional no Recife – PE e o direito à moradia na Ilha de Deus. *Revista Brasileira de Estudos Organizacionais*, 9(2), 351368.
- Deparis, S. (2014). *Implicações no meio ambiente decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do Município de Concordia/SC*. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Universidade Tecnológica do Paraná.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979). *Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos* (18 p.). Rio Janeiro.
- Galvão, D. C. (2014). Uma contribuição para o entendimento dos fatores que provocam deslizamentos nos morros do Grande Recife: o relevo, a ocupação e o clima. *Revista Hum@nae*, 8(2).

- Girão, O., Corrêa, A. C. B., & Guerra, A. J. T. (2006, jan/abr). Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. *Revista de Geografia*, 23(1), 3-41.
- Gomes, P. C. C., & Berdolay, V. (2018). Imagens na geografia: importância da dimensão visual no pensamento geográfico. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2), 356-371. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.65165.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo 2022: panorama*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>.
- Machado, C. C. C. *et al.* (2012). Distúrbio Ondulatório de Leste como condicionante a eventos extremos em Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 11. <https://doi.org/10.5380/abclima.v11i0.28699>
- MapBiomias. (2020). *Visão geral da metodologia*. <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>
- MapBiomias. (2020) *ATBD – Entenda Cada Etapa*. <https://mapbiomas.org/atbd---entenda-cada-etapa>.
- Maricato, E. (2003). Metrópole, Legislação e Desigualdade. *Estudos Avançados*, 17, 151-166, <https://doi.org/10.1590/S0103-40142003000200013>
- Maricato, E. (2017). *O impasse da política urbana no Brasil*. Editora Vozes Ltda.
- Medina, L. L. (1997). A Legislação de uso e ocupação do solo do Recife. *Anais do 7o Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional–ANPUR*, p. 540-566.
- Melo, C. R. *et al.* (2023). Análise do balanço hídrico no solo, em relação aos deslizamentos de 28/05/2022, em Jardim Monte Verde, PE. *III Encontro Nacional de Desastres*.

- Monteiro, E. Z. et al. (2020). O estudo da morfologia urbana na Região Metropolitana de Campinas urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12, e20190260.  
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190260>
- Moura, C. H. R. et al. (2022). A negação das frentes d'água do Recife à ocupação popular: Discutindo os casos das comunidades Arlindo Gouveia, José de Holanda e Brasília Teimosa. *ARCHITECTON- Revista de Arquitetura e Urbanismo*, 7(11).
- Moreira, M. M. et al. (2014). Carta Geotécnica do Município de Natal-RN: Áreas de Risco de Deslizamentos e Inundações. In *XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/VII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia/VI Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/VI Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos*, Goiânia.
- Nasa. (2020). *Creating a New NASA Digital Elevation Model and Associated Products*. NASA. <https://www.earthdata.nasa.gov/esds/competitive-programs/measures/nasadem>.
- Nascimento, L. A. do et al. (2020). Urbanização desordenada e degradação ambiental associados a escorregamentos: Uma abordagem metodológica para análise temporal de ocupações subnormais. *Ciência e Natura*, 42, e81.  
<https://doi.org/10.5902/2179460X41198>
- Pernambuco. Recife. Lei Complementar nº 2 de 23 de abril de 2021. *Plano Diretor da Cidade*. <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-recife-pe>
- Prefeitura do Recife. (2023). *Perfil do território dos bairros*. <https://www2.recife.pe.gov.br/servico/alto-do-mandu?op=NTI4Mg==>
- Prefeitura do Recife. (2023). *Portal do Território da cidade do Recife*. <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>

Registros do barco da Solidariedade chegando nas Palafitas da Comunidade do Bode. (2023).

*Mãos Solidárias Instagram*, 16 de abril de 2021.

[https://www.instagram.com/maos.solidarias.pe/?img\\_index=1](https://www.instagram.com/maos.solidarias.pe/?img_index=1)

Santana, J. K. R. (2019). Análise evolutiva da ocupação dos morros da cidade do Recife.

*Anais do XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana-XVI SIMPURB*, v. 1, p. 3754-3768.

Santos, A. et al. (2017). O lugar dos pobres nas cidades: exploração teórica sobre

periferização e pobreza na produção do espaço urbano Latino-Americano. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*. 9(3), 430-442.

Santos, I. S. S. et al. (2023). Avaliação espaço-temporal do processo de uso e ocupação de uma encosta no bairro de Macaxeira - Recife/PE. *Revista de Geografia*, 40(1).

Santos, M. (2005). *A Urbanização Brasileira*. São Paulo: EDUSP.

Silva, D. L. et al. (2016). Gestão ambiental de parques urbanos: O caso do uso e ocupação do solo do parque urbano da Macaxeira, Recife-PE. 4. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*.

Silva, G. F. (2023). *Identificação da vulnerabilidade socioambiental e percepção de risco no bairro de Nova Descoberta, Recife-PE*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Soares, T. S. et al. (2006). Impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do município de Viçosa, estado de Minas Gerais. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, 4(8), 1-14.

Song, J. et al. (2021). Evaluating Sustainability of Urbanization from a Multidimensional

Perspective: A Case Study of 11 National Urban Agglomerations in China. *Journal of Urban Planning and Development*, 147, issue 4.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000769](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000769)

Souza, I. D. D. et al. (2023). A identificação post mortem das vítimas do desastre natural 2022-0318 inundações e deslizamentos de terra-PE-PB/BR: um estudo de caso. *Peer Review*, 5(14), 364–378. doi: 10.53660/836.prw2231.

Vasconcelos, R. F. A., & Bezerra, O. G. (Org.). (2000). *Atlas Ambiental do Recife: Prefeitura da cidade do Recife*. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente, 2000.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Universidade Federal de Pernambuco juntamente ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) e o Departamento de Ciências Geográficas (DCG) pela possibilidade de desenvolver a pesquisa com a estrutura na qual a mesma se fez necessária. Ademais, agradecemos ao XI Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e ao VIII Workshop Internacional de Mudanças Climáticas Biodiversidade pela possibilidade de compartilhar essa pesquisa. Por fim, agradecemos a revista pela oportunidade de publicação da pesquisa. A segunda autora agradece à CAPES pela bolsa concedida no mestrado.