

Abordagem *Nexus Água-Energia-Alimento* como suporte à tomada de decisão visando a resiliência climática: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

Laura de Oliveira Battistini Pestana

Estudante de Doutorado, UFSCar, Brasil

laura.pestana@estudante.ufscar.br

ORCID iD: 0009-0006-1692-8016

Jacqueline Priscila Olmedo

Estudante de Doutorado, UFSCar, Brasil

arquitetura.olmedo@gmail.com

ORCID iD: 0000-0002-1736-6776

Keila Camila da Silva

Estudante de Doutorado, UFSCar, Brasil

keila_ambiental@hotmail.com

ORCID iD: 0000-0002-9749-6422

Katia Sakihama Ventura

Professora Doutora, UFSCar, Brasil

katiasv@ufscar.br

ORCID iD: 0000-0003-3853-668X

Abordagem Nexus Água-Energia-Alimento como suporte à tomada de decisão visando a resiliência climática: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

RESUMO

Objetivo - Analisar a segurança hídrica, energética e alimentar por meio da abordagem *Nexus* como subsídio à tomada de decisão visando a resiliência climática na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

Metodologia – Pesquisa dedutiva baseada em dados qualitativos publicados em plataforma *online* do governo brasileiro (AdaptaBrasil MCTI). O estudo foi conduzido em 3 etapas: i) coleta de dados; ii) análise das informações por meio de mapas georreferenciados; iii) propostas de medidas de adaptação com base na abordagem *Nexus*.

Originalidade/relevância – O estudo integra segurança hídrica, alimentar e energética sob a ótica das mudanças climáticas, em especial no contexto de bacias hidrográficas. Ao destacar medidas de mitigação com impactos intersetoriais, conecta as temáticas de governança e planejamento regional.

Resultados – O setor de recursos hídricos é o mais ameaçado durante os períodos de estiagem prolongada. As medidas propostas destacam ações de fomento à educação climática, melhorias na governança da água e a busca por alternativas para a produção agrícola.

Contribuições teóricas/metodológicas – Adoção da abordagem *Nexus* como ferramenta para análise integrada e auxílio na tomada de decisão. Contribuição metodológica no uso de dados disponibilizados em plataforma *online* de consulta pública para diagnóstico.

Contribuições sociais e ambientais - O estudo aponta medidas para o fortalecimento da cooperação entre os setores analisados e suporte à resiliência climática em bacias hidrográficas. Destaca a importância do planejamento integrado para segurança ambiental e qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas. Planejamento urbano. Gestão colaborativa.

Nexus Water-Energy-Food Approach as Decision-Making Support for Climate Resilience: A Case Study in the Mogi Guaçu River Basin

ABSTRACT

Objective – To analyze water, energy, and food security through the *Nexus* approach as a decision-making support tool aimed at enhancing climate resilience in the Mogi Guaçu River Basin.

Methodology – Deductive research based on qualitative data published on the Brazilian government platform AdaptaBrasil MCTI. The study was conducted in three stages: data collection; analysis of information through georeferenced maps; and the proposal of adaptation measures based on the *Nexus* approach.

Originality/relevance – The study integrates water, food, and energy security within the context of climate change, particularly in river basins. By highlighting mitigation measures with intersectoral impacts, it connects governance and regional planning themes.

Results – The water sector was identified as the most threatened during drought periods. The proposed measures emphasize actions to foster climate education, improve water governance, and seek alternatives for agricultural production.

Theoretical/methodological contributions – The adoption of the *Nexus* approach as a tool for integrated analysis and decision-making support. Methodological contribution using data made available on a public consultation platform for territorial diagnosis.

Social and environmental contributions – The study proposes measures to strengthen cooperation between the analyzed sectors and to support climate resilience in river basins. It emphasizes the importance of integrated planning for environmental security and quality of life.

KEYWORDS: Climate Change. Urban Planning. Collaborative Management.

Enfoque Nexus Agua-Energía-Alimento como apoyo a la toma de decisiones para la resiliencia climática: estudio de caso en la Cuenca Hidrográfica del Río Mogi Guaçu

RESUMEN

Objetivo – Analizar la seguridad hídrica, energética y alimentaria mediante el enfoque Nexus como herramienta de apoyo a la toma de decisiones orientada a la resiliencia climática en la Cuenca del Río Mogi Guaçu.

Metodología – Investigación de carácter deductivo basada en datos cualitativos publicados en la plataforma gubernamental brasileña AdaptaBrasil MCTI. El estudio se desarrolló en tres etapas: recolección de datos; análisis de la información mediante mapas georreferenciados; y propuestas de medidas de adaptación basadas en el enfoque Nexus.

Originalidad/Relevancia – El estudio integra la seguridad hídrica, alimentaria y energética en el contexto del cambio climático, especialmente en cuencas hidrográficas. Al destacar medidas de mitigación con impactos intersectoriales, establece conexiones entre la gobernanza ambiental y la planificación regional.

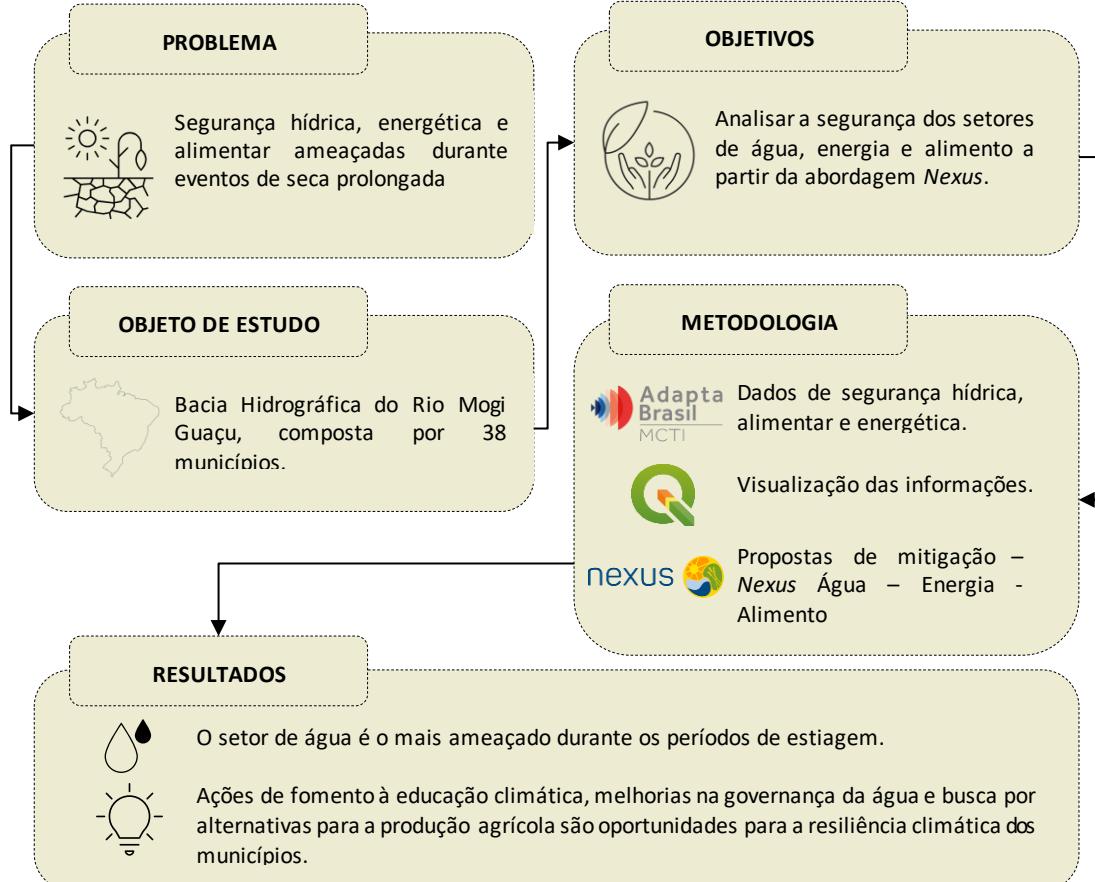
Resultados – El sector hídrico fue identificado como el más amenazado durante los períodos prolongados de sequía. Las medidas propuestas destacan acciones de fomento a la educación climática, mejoras en la gobernanza del agua y búsqueda de alternativas para la producción agrícola.

Contribuciones teóricas/Metodológicas – Adopción del enfoque Nexus como herramienta para el análisis integrado y apoyo en la toma de decisiones. Contribución metodológica mediante el uso de datos disponibles en plataformas de consulta pública para diagnóstico territorial.

Contribuciones sociales y ambientales – El estudio propone medidas para fortalecer la cooperación entre los sectores analizados y apoyar la resiliencia climática en cuencas hidrográficas. Se destaca la importancia de la planificación integrada para la seguridad ambiental y la calidad de vida.

PALABRAS CLAVE: Cambio Climático. Planificación Urbana. Gestión Colaborativa.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o termo “Cidades Resilientes” ou “Resiliência Urbana” representa a adaptação urbana às mudanças climáticas, uma vez que as bacias hidrográficas vêm passando por pressões em face das demandas dos usos dos seus recursos naturais (Asefa *et al.*, 2014; Oliveira e Silva, 2014; Godoy e Cruz, 2016; Tony *et al.*, 2015) e a resiliência se refere a capacidade de suportar, resistir e absorver distúrbios, perturbações e mudanças, que impactam negativamente a vida das pessoas, infraestruturas urbanas e a economia (Ferreira, 2016; Tony *et al.*, 2015). Dessa maneira, a concepção de que as cidades estão sujeitas a pressões que, acumuladas, podem provocar rupturas é um ponto central no estudo da resiliência (Gonçalves (2017).

Globalmente, os setores de água, energia e alimentação são os mais vulneráveis frente às mudanças climáticas devido ao aumento na procura por esses recursos. Tendo em vista que os recursos naturais são cada vez mais afetados pelas interferências antrópicas, a demanda por água, produção de alimentos e energia aumentam (Nascimento *et al.*, 2022), assim, alguns estudos ressaltam a necessidade do uso de abordagens interdisciplinares que avaliem a sinergia entre esses três setores, como é o caso do *Nexus – Water – Energy – Food (Nexus – WEF)* (Páez-Curtidor *et al.*, 2021).

O WEF é uma ferramenta que visa auxiliar na gestão e preparação das cidades para a redução de vulnerabilidades urbanas, sem comprometer a qualidade de vida e o crescimento econômico (Nascimento *et al.*, 2022). A metodologia surgiu a partir de preocupações com as tendências mundiais que impactam negativamente os recursos hídricos, energéticos e alimentares, uma vez que os modelos vigentes de gestão territorial podem não garantir de forma efetiva níveis de segurança hídrica, alimentar e energética (Guimarães e Souza, 2024; Zhang, *et al.*, 2021).

A abordagem WEF possui como vantagens sua abrangência e multidisciplinariedade, permitindo a criação de indicadores de resiliência e ferramentas de monitoramento. Além disso, exige bases sólidas frente às realidades locais e regionais estudadas, porém existem desafios quanto à obtenção de dados e disponibilidade de informações necessárias para compreensão das cadeias de recursos intrínsecas, podendo afetar as variáveis adotadas (Nascimento *et al.*, 2022).

Adicionalmente, pode haver discrepância nos índices sociais e econômicos entre os municípios estudados, exigindo o desenvolvimento de novos indicadores e métodos de pesquisa (Nascimento *et al.*, 2022). Nesse contexto, estudos demonstram que as abordagens quantitativas são dominantes na avaliação do nexo, enquanto os métodos qualitativos do campo das ciências sociais são limitados.

O WEF permite a elaboração de políticas para abordar e integrar a gestão dos recursos naturais e identificação de oportunidades para aumento da eficiência dos recursos e cooperação entre setores de interesses, impactando diretamente no ambiente urbano (Lazaro e Giatti., 2021; Páez-curtidor *et al.*, 2021).

Essa abordagem pode ser aplicada para avaliar e integrar diferentes situações, como o setor de águas residuárias (Panagopoulos e Giannika, 2022), irrigação (Cui *et al.*, 2022), comunidades e agricultura urbana (Haitsma Mulier *et al.*, 2022; Oviroh *et al.*, 2023), florestas e serviços ecossistêmicos (Ding *et al.*, 2023; Guimarães *et al.*, 2024), dentre outros.

O planejamento urbano com enfoque no *Nexus* pode fornecer perspectivas para alcançar a resiliência urbana em setores interligados, considerando tanto as infraestruturas ecológicas como as construídas (Nhamo *et al.*, 2021). A abordagem integra fatores fundamentais para a sobrevivência humana, buscando soluções conjuntas e prevendo a sua adoção por diferentes esferas de governo. Sendo assim, possibilita a compreensão das causas e a extensão da vulnerabilidade da população frente à segurança alimentar, energética e hídrica para o desenvolvimento de estratégias de prevenção para cenários inseguros (Chauhan *et al.*, 2022).

No contexto brasileiro, Cerezini e Castro (2024) relatam que todas as regiões têm sentido os impactos das mudanças climáticas, em diferentes intensidades e aspectos, possuindo diferentes níveis de capacidade adaptativa às mudanças climáticas. Os mesmos autores indagam que o planejamento e a implementação de medidas relativas à ampliação da capacidade adaptativa são primordiais para amenizar seus impactos.

2 OBJETIVOS

Tendo em vista os desafios enfrentados pela gestão municipal frente às mudanças climáticas, o objetivo do presente estudo foi analisar a segurança hídrica, energética e alimentar por meio da abordagem *Nexus* como subsídio à tomada de decisão visando a resiliência climática na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do Objeto de Estudo

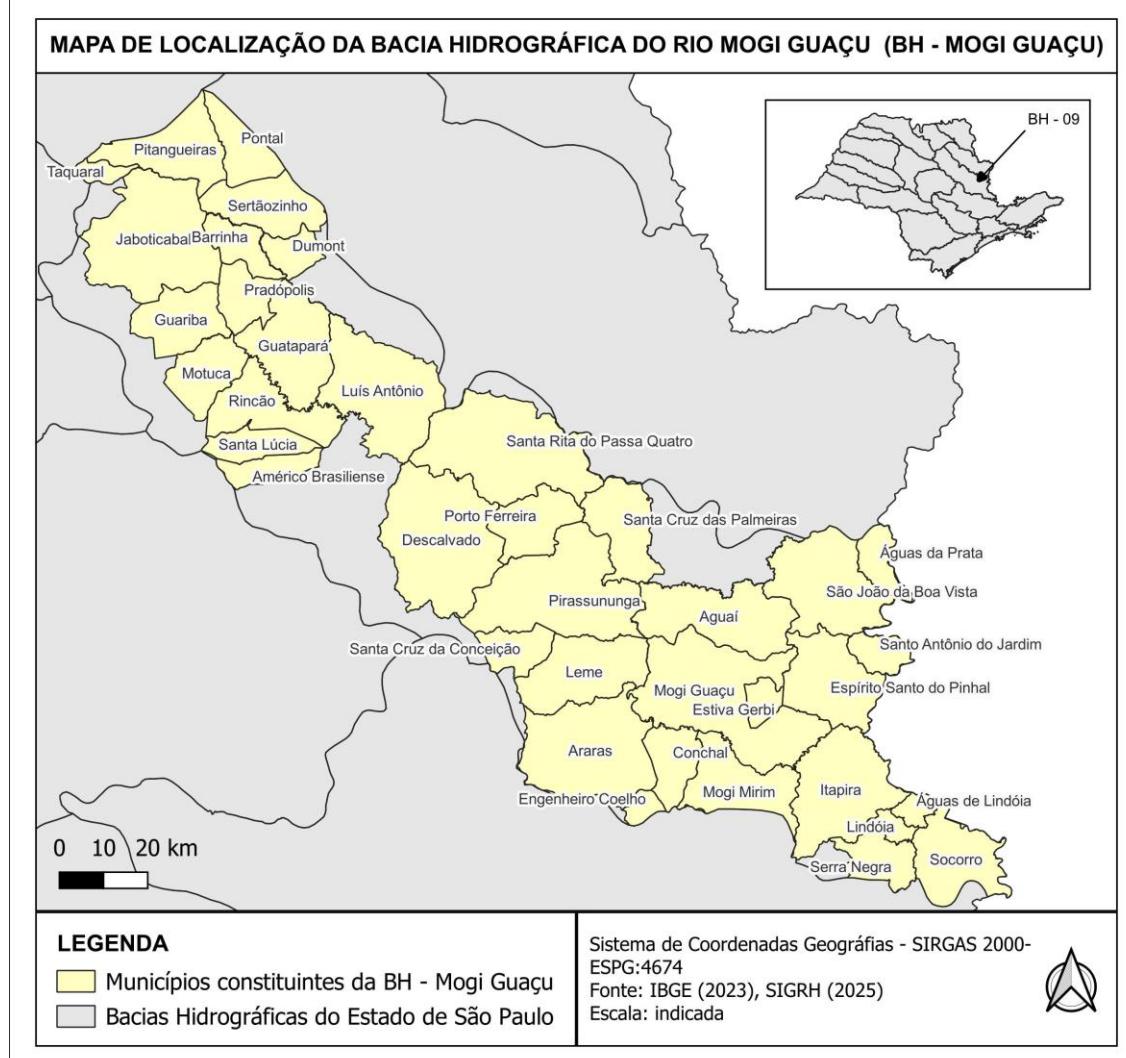
A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (BH – Mogi Guaçu), localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, abrangendo uma área de 15.004 km² e 59 municípios, dos quais 38 possuem parte ou toda sua extensão territorial inserida na bacia. A região limita-se com bacias adjacentes, como a Bacia do Rio Pardo e a Bacia dos Rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí, configurando-se como um eixo estratégico para a gestão hídrica no estado (Figura 1). A hidrografia é marcada pelo Rio Mogi Guaçu, principal curso d'água, e seus afluentes, como os rios do Peixe e Jaguari-Mirim, além de reservatórios críticos para abastecimento e geração de energia, como Peixoto e Jaguariá.

A população total é de 1,58 milhão de habitantes, com 95,1% residindo em áreas urbanas, especialmente em cidades como Mogi Guaçu, Sertãozinho e Araras. Economicamente, a bacia sustenta-se no agronegócio, com destaque para cana-de-açúcar, citricultura e pecuária, além de polos industriais (usinas de açúcar, papel e celulose) e turismo termal em municípios como Águas de Lindóia. No que diz respeito ao cenário socioeconômico, o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) revela disparidades, pois existem tanto cidades classificadas como "equitativas" (ex: São João da Boa Vista), quanto cidades classificadas como vulneráveis (ex: Aguaiá) (SEADE, 2019).

Historicamente, a bacia já passou por várias transformações relativas ao uso do solo. Embora inicialmente coberta por vegetação nativa, a área foi lentamente ocupada por atividades agropecuária, com destaque para a lavoura de cana-de-açúcar, laranjeira e pastagens. Essa alteração na utilização da terra teve reflexos ambientais marcantes, como o desmatamento. Essas mudanças intensificaram processos erosivos, principalmente nas sub-bacias do Peixe e

Jaguari-Mirim, onde a suscetibilidade à erosão é classificada como “alta” ou “muito alta”. Além disso, de acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos UGRHI 09, os 1.877 barramentos registrados, muitos irregulares, ampliam conflitos pelo uso da água.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (BH – Mogi-Guaçu)



Fonte: Elaboração Própria (2025).

A disponibilidade hídrica da BH – Mogi Guaçu enfrenta desafios significativos diante do aumento da demanda e das pressões causadas pelas mudanças climáticas. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2020), a bacia conta com uma vazão média superficial de 199 m³/s, além de reservas subterrâneas exploráveis de 24 m³/s, presentes em aquíferos como Bauru e Guarani.

Apesar disso, a demanda total outorgada atingiu 39,30 m³/s em 2022, o que corresponde a 54,6% da Q95% (vazão mínima de referência) e 64,9% da Q7,10, evidenciando sinais de estresse hídrico em sub-bacias críticas, como a do Alto Mogi (ANA, 2020; SPAGUAS, 2023).

A agricultura é responsável por 57% do consumo (22,38 m³/s), seguida pela indústria (22%) e pelo abastecimento público (14%). Além disso, há perdas significativas na distribuição urbana, chegando a 40% em cidades como Jaboticabal. As projeções do Plano de Bacia 2016-

2027 indicam que, até 2040, a disponibilidade hídrica pode cair em até 20% em razão das mudanças climáticas, o que reforça a necessidade de medidas urgentes para aumentar a eficiência no uso da água e aprimorar a regularização das outorgas (SIGRH-SP, 2023).

Os problemas abrangem disputas hídricas entre setores usuários, poluição difusa por agrotóxicos, e vulnerabilidade institucional na fiscalização. Para evitar esses problemas, o Plano de Bacia 2016-2027 destaca a restauração de 20 km² de APPs até 2023 e a diminuição de 70% da carga orgânica poluidora até 2027. A eficácia dessas medidas depende da inversão em saneamento, participação comunitária e fortalecimento do CBH-MOGI.

A BH – Mogi Guaçu concentra em si a problemática dos contrapontos entre desenvolvimento e sustentabilidade, requerendo políticas públicas coerentes e inovação na gestão hídrica para equilibrar demandas humanas e processo ambiental. Nesse contexto, a hipótese principal adotada para o desenvolvimento do presente estudo foi a de que o setor de água, quando comparado aos setores de energia e alimentação, é o mais ameaçado durante os eventos de estiagem prolongada, devido à demanda existente relacionada a esse recurso.

3.2 Framework teórico

Para o desenvolvimento do estudo foi adotado o método de pesquisa dedutiva, baseada em dados qualitativos publicados em plataforma online do governo brasileiro (AdaptaBrasil MCTI) para descrever as observações acerca da resiliência climática no objeto de estudo.

Para isso, foram realizadas 3 etapas: i) coleta de dados; ii) análise das informações a partir da disposição em mapas georreferenciados; iii) propostas de medidas de adaptação com base na abordagem *Nexus*.

- **Etapa 1 – Coleta de dados:** as informações foram obtidas através da plataforma AdaptaBrasil MCTI, instituída pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações no ano de 2020 com o objetivo de consolidar, integrar e disseminar informações que contribuam para o avanço das análises sobre os impactos das mudanças climáticas (AdaptaBrasil MCTI, 2025).

Tendo em vista a abordagem *Nexus – WEF*, foram coletados os índices e indicadores referentes aos setores de água, energia e alimento como forma de subsidiar a análise da resiliência climática no objeto de estudo. Considerou-se os índices nos níveis de vulnerabilidade, ameaça climática e exposição. Além disso, também foram incluídas as categorias de sensibilidade e capacidade adaptativa que compõem o índice de vulnerabilidade (Gallopin, 2006), conforme é possível observar na Figura 2.

Figura 2 – Índices considerados para a análise do objeto de estudo nos setores de água, energia e alimento.



Fonte: Elaboração própria com base em AdaptaBrasil MCTI (2025).

- **Etapa 2 – Análise das informações:** os dados coletados foram organizados em mapas georreferenciados por meio do *software* livre, de acesso gratuito, QGIS na versão *Long Term Version for Windows* (3.34 LTR). Foram elaborados mapas de índice de risco de impacto, índice de vulnerabilidade (com as respectivas categorias de sensibilidade e capacidade adaptativa), índice de exposição e índice de ameaça climática.
- **Etapa 3 – Propostas de medidas de adaptação:** com base nas informações obtidas e na identificação dos principais desafios para a resiliência climática no objeto de estudo, foram propostas medidas de mitigação tendo como norteador o *Nexus – WEF*. As propostas foram elaboradas com base na ferramenta de gestão 5W2H, caracterizada por auxiliar na organização de informações que auxiliam no planejamento e processo de tomada de decisão em um plano de ação (Ventura; Suquisaqui, 2020). São consideradas 7 questões a serem respondidas para embasar a proposta: i) O que? (*What*); ii) Quando? (*When*); iii) Por quê? (*Why*); iv) Onde? (*Where*); v) Quem? (*Who*); vi) Como? (*How*); vii) Quanto custa? (*How much*). A questão envolvendo custos foi retirada da análise por não contemplar o escopo do presente estudo.

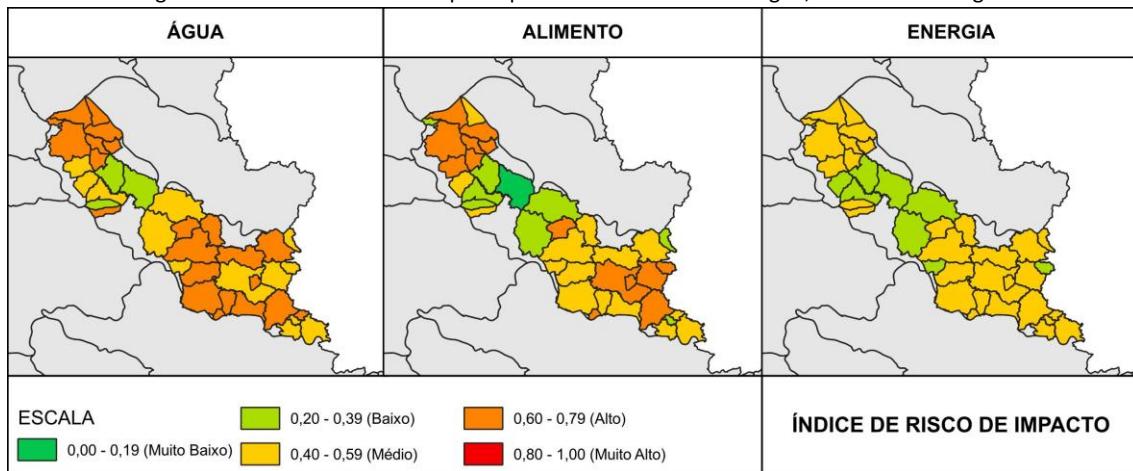
4 RESULTADOS

4.1 Análise da Segurança Hídrica, Alimentar e Energética

4.1.1 Índice de Risco de Impacto – períodos de seca prolongada

Para o evento climático extremo de seca, foram coletados dados relacionados aos setores de água, alimento e energia no nível 2 – Índice de Risco de Impacto (Figura 3). Esse índice é resultado da combinação dos índices de vulnerabilidade, exposição e ameaça climática de cada setor.

Figura 3 – Índice de Risco de Impacto para seca nos setores de água, alimento e energia.



Fonte: Elaboração própria baseado em AdaptaBrasil MCTI (2025).

Dentre os setores analisados, o setor de água apresenta maior número de municípios ameaçados nos períodos de seca prolongada (Figura 3). Do total, 22 municípios apresentam alto risco de impacto (0,60 - 0,79), 13 foram classificados com médio risco de impacto (0,40 - 0,59) e 3 (Guatapará, Luís Antônio e Santa Lúcia) possuem baixo risco de impacto (0,20 – 0,39). Nenhum foi classificado com riscos muito altos ou muito baixos para esse setor.

Para o setor de alimento, o comportamento observado demonstrou maior heterogeneidade. Apenas um município (Luís Antônio) foi classificado com risco muito baixo de impacto, 8 municípios apresentaram baixo risco de impacto, 15 municípios com médio risco de impacto e 14 municípios com alto risco de impacto. De forma semelhante, nenhum foi classificado com risco muito alto para o setor alimentar.

Por fim, o setor de energia apresentou o comportamento mais homogêneo, com 30 municípios sob médio risco de impacto e 8 municípios com baixo risco. Esse resultado aponta a necessidade de análise mais detalhada sobre os componentes de cada setor para identificar os pontos de necessidade de atenção como forma de guiar a gestão desses recursos, tanto no âmbito municipal quanto no âmbito de bacia hidrográfica.

4.1.2 Análise da Vulnerabilidade

A vulnerabilidade pode ser entendida como a predisposição de um sistema a sofrer danos quando exposto a uma ameaça, sendo diretamente vinculada à sensibilidade e à capacidade adaptativa do sistema. Já a sensibilidade está relacionada ao grau em que o sistema é afetado por estímulos climáticos e a capacidade adaptativa diz respeito à aptidão para se ajustar a perturbações ou danos potenciais (AdaptaBrasil MCTI, 2025; IPCC, 2014).

Nesse âmbito, os dados relacionados à vulnerabilidade dos setores de água, energia e alimento para o contexto da BH-Mogi Guaçu foram dispostos nos mapas da Figura 4.

Para o setor de água, observa-se que na dimensão de vulnerabilidade, um município apresentou índice muito alto (Pitangueiras – 0,80), 04 municípios possuem índice alto (Aguáí, Américo Brasiliense, Conchal e Porto Ferreira), 22 municípios possuem médio risco e os demais (11 municípios) foram classificados com baixa vulnerabilidade. Já para as categorias de sensibilidade e capacidade adaptativa o comportamento varia.

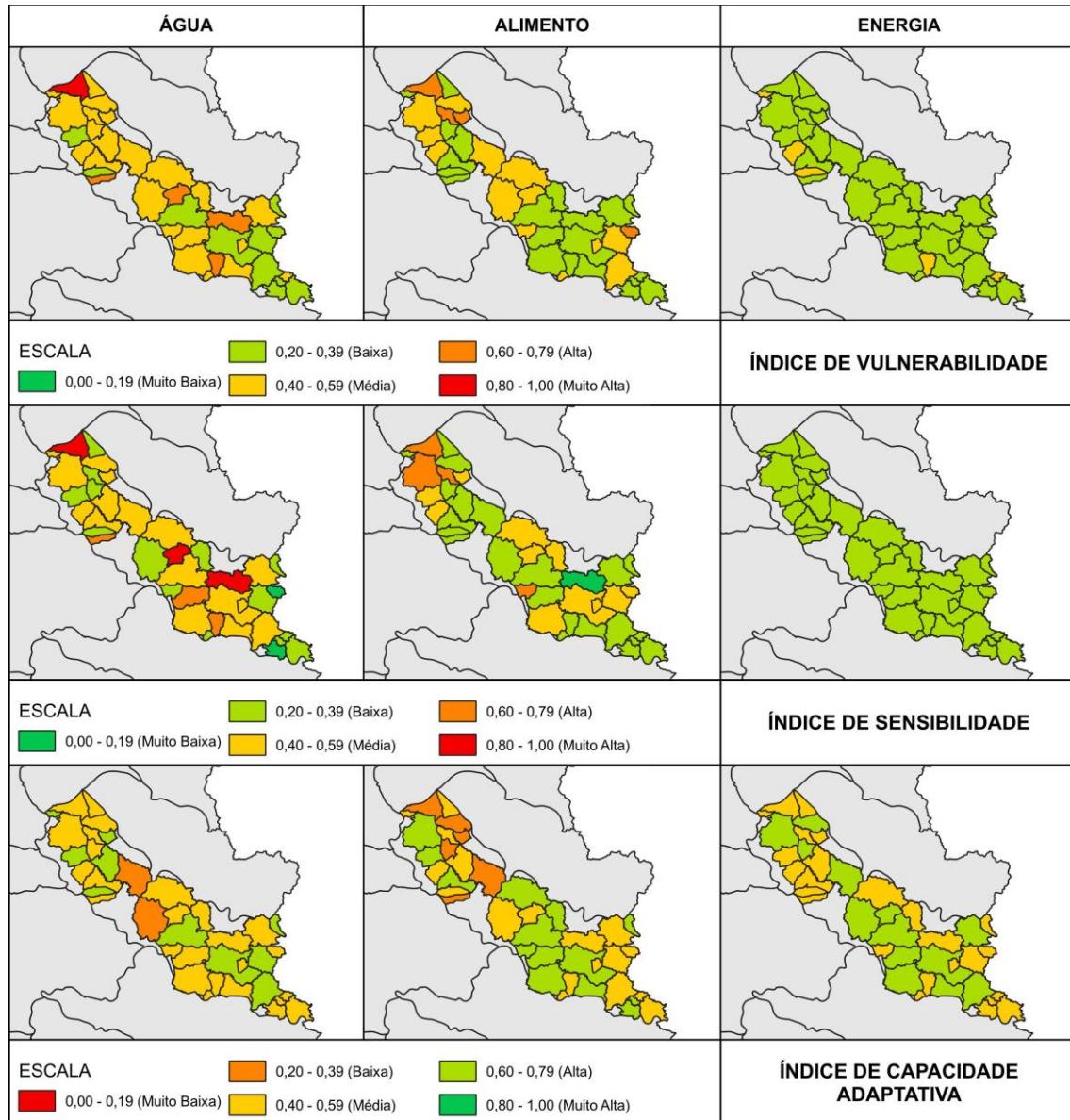
Do total, 03 municípios (Aguáí, Pitangueiras e Porto Ferreira) possuem índice de sensibilidade elevado e 03 municípios possuem baixa capacidade adaptativa (Américo Brasiliense, Conchal e Leme). Observa-se que existe a sobreposição de municípios que possuem indicadores com desempenho insatisfatório em ambas as categorias e na dimensão total, o que se torna ponto de atenção para a gestão responsável pelo setor com o intuito de torná-lo mais resiliente.

No que diz respeito à vulnerabilidade do setor de alimentos, 04 municípios apresentaram-se com índices elevados (0,60 – 0,79) e 13 possuem média vulnerabilidade. Grande parte dos municípios (21 – 55,26%) possuem baixa vulnerabilidade, o que indica necessidade de maior atenção àqueles com desempenho insatisfatório, com adoção de políticas que considerem a diversificação da produção de alimentos, cultivos tolerantes aos períodos de estiagem, o planejamento e gestão da segurança alimentar e nutricional, capacidade socioeconômica familiar para acesso à alimentação segura, dentre outros (Berardy; Chester, 2017; Prefeitura de Campinas, 2024).

Tratando-se da sensibilidade, o comportamento é semelhante, com 22 municípios apresentando baixo índice de risco. Do total, somente 04 (Barrinha, Jaboticabal, Pitangueiras e Santa Cruz da Conceição) possuem índice elevado de sensibilidade e 01 município (Aguáí) possui índice muito baixo. Para a capacidade adaptativa, também foram observadas divergências entre os municípios analisados, porém 06 municípios apresentaram baixo índice de capacidade de adaptação, necessitando de maior atenção. Dessa forma, é importante que sejam avaliadas as

políticas municipais dos municípios menos ameaçados à seca para auxiliar na elaboração de políticas públicas para aqueles que enfrentam desafios durante esses eventos extremos.

Figura 4 – Índice de Vulnerabilidade, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa dos setores de água, energia e alimento.



Fonte: Elaboração própria baseado em AdaptaBrasil MCTI (2025).

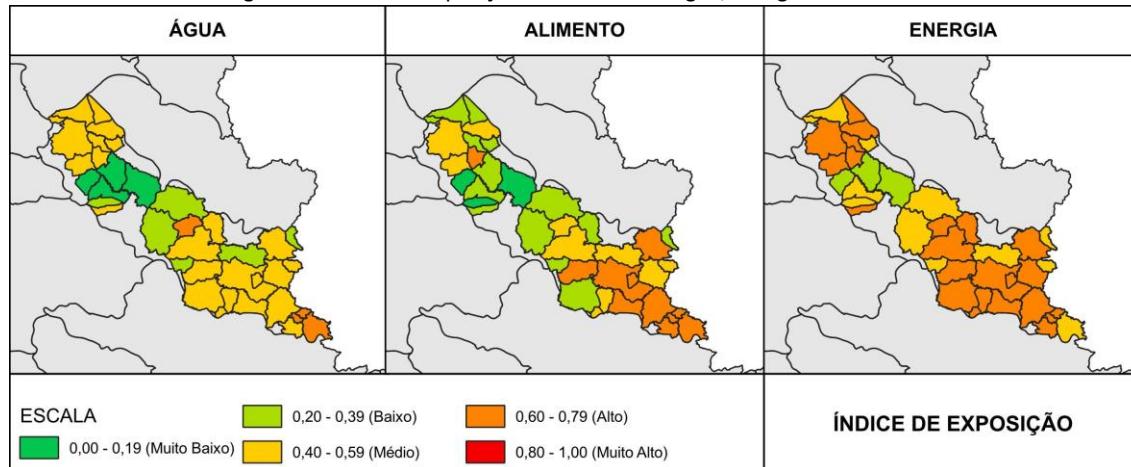
O setor de energia, de forma semelhante ao observado na seção 4.1.1 ao analisar o índice de risco de impacto geral, foi o que apresentou maior homogeneidade entre os municípios. Na dimensão de vulnerabilidade, somente 5 municípios (Águas de Lindóia, Conchal, Motuca, Santa Lúcia e Taquaral) apresentaram médio risco, enquanto os demais 33 municípios apresentaram baixo risco.

No que diz respeito à categoria de sensibilidade, todos os municípios foram avaliados com baixo risco, sendo a maior divergência observada na capacidade adaptativa: 13 municípios apresentaram alto índice de capacidade adaptativa (incluindo Araras, Mogi Guaçu e Sertãozinho – os 3 maiores municípios da BH Mogi Guaçu) e 25 municípios possuem médio índice.

4.1.3 Análise da Exposição

A dimensão de exposição está relacionada ao grau de susceptibilidade do sistema ao entrar em contato com a ameaça climática (em duração e/ou extensão), sendo determinada de forma independente da vulnerabilidade (AdaptaBrasil MCTI, 2025). A figura 5 apresenta os dados levantados para os 38 municípios do objeto de estudo.

Figura 5 – Índice de Exposição dos setores de água, energia e alimento.



Fonte: Elaboração própria baseado em AdaptaBrasil MCTI (2025).

Para o setor de recursos hídricos, 04 municípios (Guatapará, Luís Antônio, Motuca e Rincão) possuem índice de exposição muito baixo e devem servir de exemplo para o planejamento dos demais que enfrentam desafios. Do total, 24 municípios (63,16%) apresentam médio índice de exposição, enquanto 04 possuem índice elevado (Águas de Lindóia, Lindóia, Porto Ferreira e Socorro).

Já o setor de alimentos apresentou maior variação entre os resultados observados: 03 municípios possuem índice de exposição muito baixo (Luís Antônio, Motuca e Santa Lúcia), 14 possuem índice baixo, 10 possuem índice mediano e 11 possuem índice alto.

Por fim, diferentemente do observado nas seções 4.1.1 e 4.1.2, o setor de energia demonstrou-se com maior número de municípios ameaçados pelos episódios de seca. Grande parte, 23 municípios (60,53%) apresentou-se com alto índice de exposição, 12 municípios possuem médio índice e somente 03 municípios (Guatapará, Luís Antônio e Motuca) são classificados com baixa exposição. Portanto, é importante que seja considerado um planejamento de forma abrangente para reduzir a exposição desse setor na bacia como um todo.

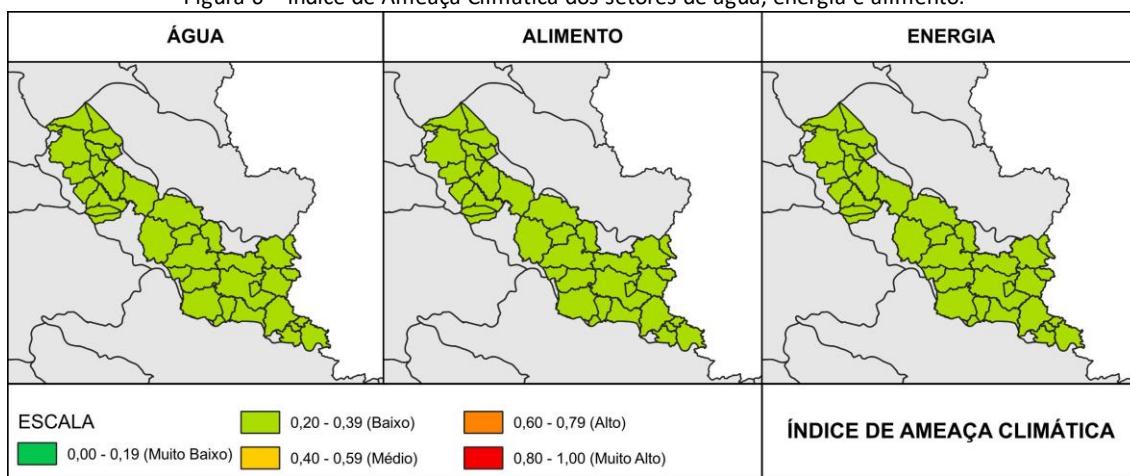
Para nenhum dos setores foi observado índice de exposição muito alto, direcionando-se as atenções para aqueles que apresentam índices alto e médio. Além disso, é importante destacar que Luís Antônio e Motuca apresentaram resultados satisfatórios para todos os setores na dimensão de exposição. Sugere-se uma investigação aprofundada dos motivos que levam a esse desempenho para verificação da existência (ou não) de colaboração intersetorial.

4.1.4 Análise da Ameaça Climática

A ameaça climática pode ser definida como as perdas e danos tanto para a sociedade quanto para o ecossistema oriundos de eventos climáticos extremos. Esses são aqueles que possuem intensidade e/ou duração acima do padrão considerado normal de variabilidade térmica (ex: ondas de calor, chuvas intensas, secas prolongadas, dentre outros). Sendo assim, de forma simplificada, o Índice de Ameaça Climática denota os fatores climáticos externos que possuem capacidade de impactar significativamente o sistema quando interagem entre si (AdaptaBrasil MCTI, 2025).

Os dados coletados referentes à ameaça climática para os setores de água, energia e alimento no objeto de estudo estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Índice de Ameaça Climática dos setores de água, energia e alimento.



Fonte: Elaboração própria baseado em AdaptaBrasil MCTI (2025).

Diferentemente do observado nas seções 4.1.1 a 4.1.3 do presente estudo, a ameaça climática não apresentou desafios significativos para nenhum dos municípios da BH – Mogi Guaçu nos setores avaliados.

Tanto para água, quanto para energia e alimento, todos os municípios possuem baixo índice de ameaça climática, que envolve a avaliação dos dias consecutivos secos enfrentados e o índice de evapotranspiração padronizado. Isso demonstra que o foco do planejamento, seja em nível municipal ou regional, deve considerar a redução da vulnerabilidade aos períodos de estiagem e exposição dos municípios a esses eventos.

Além disso, é importante destacar que a ameaça climática foi a única dimensão que não apresentou divergências significativas entre os setores analisados. Isso indica que, provavelmente, a gestão não ocorre de forma intersectorial, o que acarreta impactos em diferentes níveis para água, alimento e energia.

Dessa forma, é importante que sejam consideradas as possibilidades de sinergia entre os setores para tornar a tomada de decisão mais eficaz e assertiva, colaborando para a segurança nos três pilares avaliados.

4.1.5 Medidas de mitigação com base na abordagem Nexus – Água, Energia, Alimento

Tendo em vista as informações coletadas para o contexto da bacia hidrográfica objeto de estudo, foram propostas medidas de intervenção que considerem a atuação a nível regional como forma de auxiliar na tomada de decisão dos responsáveis.

Através da metodologia *Nexus Água – Energia – Alimento*, foram selecionadas 3 medidas de intervenção para detalhamento seguindo a ferramenta de gestão 5W1H, as quais estão detalhadas nos Quadros 1, 2 e 3. Para cada uma delas, foi considerado o potencial de impacto nos três setores (água, energia e alimento) com o intuito de tornar a gestão mais colaborativa.

Quadro 1 – Medidas de mitigação para resiliência climática nos municípios da BH – Mogi Guaçu: Fomentar ações de educação climática.

Ação	Fomentar ações de educação climática				
O que? (What)	Ações de educação climática com foco especial na manutenção de corpos hídricos (quantidade e qualidade).				
Por quê? (Why)	Grande parte dos municípios da BH Mogi-Guaçu enfrenta desafios relacionados à segurança nos setores de água, energia e alimento durante os períodos de estiagem prolongada. Ações de educação climática podem acarretar impactos positivos, tais como:				
	ÁGUA	Redução do consumo de água per capita. Maior disponibilidade de água para abastecimento.			
	ENERGIA	Aumento da água disponível para produção de energia.			
	ALIMENTO	Aumento da água disponível para produção de alimentos.			
	ECOSISTEMA	Conservação do ecossistema, manutenção da vegetação e resiliência climática.			
Onde? (Where)	Em escolas de ensino primário e fundamental (tanto municipais quanto particulares) e instituições que atuam na gestão municipal (ex: prefeitura municipal, autarquias/companhias de saneamento básico).				
Quando? (When)	Semestralmente. Planejar as ações a serem realizadas nas escolas e instituições a cada 6 meses com o intuito de informar e atualizar a população sobre os indicadores municipais e as possibilidades existentes para aumentar a resiliência climática da cidade.				
Quem? (Who)	Agentes executores: poder público municipal e membros do Comitê de Bacias Hidrográficas representante da BH – Mogi Guaçu. Agentes receptores: população em geral.				
Como? (How)	1) Campanhas de incentivos fiscais para a redução do consumo de água <i>per capita</i> ; 2) <i>Workshops</i> com atividades que enfatizem a importância da manutenção dos corpos hídricos (ex: manutenção da vegetação, redução do descarte de resíduos sólidos, aumento da permeabilidade do solo nas residências, dentre outras); 3) Acompanhamento por meio de indicadores de gestão: percentual de área vegetada anual, consumo médio de água <i>per capita</i> anual, volume de resíduos sólidos coletados, parâmetros de qualidade da água, dentre outros que a gestão julgue necessários para a verificação do desempenho municipal.				

Fonte: Elaboração própria com base em Prefeitura de Campinas (2024).

Quadro 2 – Medidas de mitigação para resiliência climática nos municípios da BH – Mogi Guaçu: Melhoria na Governança da Água.

Ação	Aprimorar a Governança da Água						
O que? (What)	Melhoria na governança da água, baseando-se em princípios como a "efetividade", "eficiência" e "confiança e engajamento".						
Por quê? (Why)	O setor de recursos hídricos é o mais ameaçado durante os períodos de seca quando comparado aos demais (energia e alimento) avaliados no presente estudo. Os indicadores de risco para esse setor indicam 23 municípios com alto risco de impacto (0,60 - 0,79) e 12 classificados com médio risco de impacto (0,40 - 0,59).						
	ÁGUA	Água: Redução do consumo de água per capita. Maior disponibilidade de água para abastecimento.					
	ENERGIA	Energia: Aumento da água disponível para produção de energia.					
	ALIMENTO	Alimento: Aumento da água disponível para produção de alimento.					
	ECOSSISTEMA	Ecossistema: Aumento de água disponível para diversos tipos de uso.					
Onde? (Where)	No Comitê de Bacias Hidrográficas representante da BH – Mogi Guaçu e no órgão municipal (e/ou autarquia, concessão privada) responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos em cada um dos 38 municípios constituintes da bacia objeto de estudo.						
Quando? (When)	Imediatamente.						
Quem? (Who)	Agentes executores: poder público municipal e membros do Comitê de Bacias Hidrográficas representantes da BH – Mogi Guaçu; Agentes receptores: população em geral.						
Como? (How)	1) Estabelecimento de metas claras de política sustentável em todos os níveis de governo; 2) Maximização dos benefícios da gestão sustentável dos recursos hídricos ao menor custo para a sociedade; 3) Geração de confiança pública e capacidade de mobilização das partes envolvidas através de medidas institucionais e procedimentos justos;						

Fonte: Elaboração própria com base em Lal (2015), Nouri *et al.* (2021), Rasul; Sharma (2016), Roo *et al.* (2021).

Quadro 3 – Medidas de mitigação para resiliência climática nos municípios da BH – Mogi Guaçu: Alternativas para a produção agrícola.

Ação	Buscar alternativas para a produção agrícola	
O que? (What)	Buscar alternativas para diversificação da produção agrícola e redução do consumo de água e energia durante o processo de irrigação.	
Por quê? (Why)	A análise do Índice de Capacidade Adaptativa para o setor de Alimentos nos municípios avaliados revelou que 07 municípios apresentaram baixo índice de capacidade de adaptação, enquanto 15 possuem índice médio. Juntos, esses dados representam 57,89% do conjunto da BH-Mogi Guaçu, indicando necessidade de atenção.	
	ÁGUA	Menor consumo de água frente às soluções convencionais
	ENERGIA	Redução da demanda de energia para o funcionamento de sistemas de irrigação
	ALIMENTO	Garantia de produção alimentar - segurança alimentar
	ECOSSISTEMA	Redução na emissão de gases do efeito estufa
Onde? (Where)	Nos 38 municípios constituintes da BH – Mogi Guaçu, em especial aqueles que apresentaram índices de capacidade adaptativa médio e baixo.	
Quando? (When)	Imediatamente.	
Quem? (Who)	Agentes executores: poder público municipal e membros do Comitê de Bacias Hidrográficas representantes da BH – Mogi Guaçu; Agentes receptores: população em geral.	
Como? (How)	1) Produção de cultivos tolerantes à seca; 2) Substituição das culturas atuais por culturas que possam ser mais adequadas às temperaturas e padrões de precipitação futuros; 3) Estudo de alternativas como microirrigação, utilização de bombas alimentadas por energia solar e outras formas de agricultura, como a hidroponia.	

Fonte: Elaboração própria com base em Lal (2015), Mpandeli *et al.* (2018), Rasul; Sharma (2016), Kropf; Schmid; Mitter (2021), Torres *et al.*, (2024), Wu; Elshorbagy; Helgason (2023).

5 CONCLUSÕES

O levantamento de informações baseado em dados disponibilizados *online* na plataforma AdaptaBrasil MCTI para os municípios da BH - Mogi Guaçu e a organização em mapas georreferenciados apresentou-se como uma ferramenta eficaz no auxílio à identificação de oportunidades e desafios para a gestão tanto a nível regional quanto municipal.

Os dados apontam divergências intersetoriais, que revelam a provável inexistência de colaboração entre os setores durante a atividade de planejamento. Dessa forma, o presente estudo realça a necessidade de considerar os potenciais de sinergia entre os setores de água, energia e alimento durante as tomadas de decisão.

Foram identificadas limitações durante o desenvolvimento da pesquisa que envolvem a dependência de dados disponibilizados *online* para consulta, muitas vezes desatualizados, e a transparência das informações fornecidas pelos órgãos municipais.

Por fim, o *framework Nexus* é um modelo que auxilia na identificação dessas sinergias. Dentre as possibilidades, o estudo destaca ações de educação climática, melhoria na governança da água e busca de alternativas para a produção agrícola como possíveis medidas para auxiliar os municípios na busca pela resiliência climática, em especial durante os períodos de seca prolongada.

REFERÊNCIAS

ADAPTABRASIL MCTI. **Dados e Impactos**. 2025. Disponível em: <https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br/>. Acesso em: 06 de abr. 2025.

AGÊNCIA DE ÁGUAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SPÁGUAS). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 09 – 2023**. São Paulo: SPÁGUAS, 2023. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgicclefindmkaj/https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-MOGI/28980/rs_2024-_2023_ugrhi_09_v01.pdf. Acesso em: 06 abr. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.snrh.gov.br/portal/snrh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 06 abr. 2025.

ASEFA, T.; CLAYTON, J.; ADAMS, A.; ANDERSON, D. Performance evaluation of a water resources system under varying climatic conditions: Reliability, Resilience, Vulnerability and beyond. **Journal of Hydrology**, n. 508, 2014.

BERARDY, A.; CHESTER, M.V. Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply. **Environ. Res. Lett.**, 12, 2017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5e6d>

CEREZINI, M. T; CASTRO, C. N. C. **Mudanças climáticas: desafios para a adaptação nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília, DF: Ipea, 2024.

CHAUHAN, D.; THIYAHARAJAN, M.; PANDEY, A.; SINGH, N.; SINGH, V.; SEN, S.; PANDEY, R. Climate change water vulnerability and adaptation mechanism in a Himalayan City, Nainital, India. **Environmental Science and Pollution Research**, 2022.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (CBH-MOGI). **Apresentação**. In: SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. [S. l.], s. d. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cbhmogi/apresentacao>. Acesso em: 06 abr. 2025

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (CBH-MOGI). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos UGRHI 09: ano base 2023**. São Paulo: CBH-MOGI, 2024. Disponível em:

chromeextension://efaidnbmnnibpcajpcgclefindmkaj/https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-MOGI/28980/rs_2024-_2023_ugrhi_09_v01.pdf. Acesso em: 06 abr.2025.

CUI, S., WU, M., HUANG, X., WANG, X., CAO, X., Sustainability and assessment of factors driving the water-energy-food nexus in pumped irrigation systems. *Agric. Water Manag.* v. 272, 2022.

DING, T., FANG, L., CHEN, J., JI, J., FANG, Z., Exploring the relationship between water-energy-food nexus sustainability and multiple ecosystem services at the urban agglomeration scale. *Sustainable Production and Consumption*, v. 35, 2023.

FERREIRA, K. A. **Resiliência Urbana e a Gestão de Risco de Escorregamentos: Uma avaliação da defesa civil do Município de Santos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS)**. São Paulo: SEADE, 2019. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.iprs.seade.gov.br/downloads/pdf/iprs_release_site.pdf . Acesso em: 06. Abr. 2025.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 293-303, 2006.

GODOY, V.N.; CRUZ, R.C. Self-management of water resources - case study of river basin Santa Maria- RS. *Ciência e Natura*, v.38 n.2, 2016.

GONÇALVES, C. Regiões, cidades e comunidades resilientes: novos princípios de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.9, n.2, 2017.

GUIMARÃES, M. M; SOUZA, M. P. Nexo água-energia-alimento-floresta em unidade de conservação na Amazônia. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v.18, n.2, 2024.

HAITSMA MULIER, M.C.G., VAN DE VEN, F.H.M., KIRSHEN, P. Circularity in the urban water-energy-nutrients-food nexus. *Energy Nexus*, v. 7, 2022.

KROPF, B.; SCHMID, E.; MITTER, H. Multi-step cognitive mapping of perceived nexus relationships in the Seewinkel region in Austria. *Environmental Science & Policy*, v. 124, p. 604-615, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.004>

LAL, R. Research and Development Priorities in Water Security. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 4, 2015.
<https://doi.org/10.2134/agronj15.0046>.

LAZARO, L. L.; GIATTI, L. **O nexo água-energia-alimentos – uma abordagem para cidades sustentáveis e o desenvolvimento sustentável**. In: P. Jacobi e L. Giatti (Eds.), Inovação para governança da macrometrópole paulista face à emergência climática, 2021.

MPANDELI, S.; NAIDOO, D.; MABHAUDHI, T.; NHEMACHENA, C.; NHAMO, L.; LIPHADZI, S.; HLAHLA, S.; MODI, A. T. Climate Change Adaptation through the Water-EnergyFood Nexus in Southern Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2306, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102306>

NASCIMENTO, N; AMARAL, M. H; LAZARO, L. L. B. How Can the Water-Energy-Food Nexus Approach Contribute to Enhancing the Resilience of Amazonian Cities to Climate Change? In: Lazaro, I. L. B; Giatti, I. L; Macedo, L. S. V; Oliveira, j. A. P. (eds.). Water-Energy-Food Nexus and Climate Change in Cities, **ebook**, 2022.

NHAMO, L., RWIZI, L., MPANDELI, S., BOTAI, J., MAGIDI, J., TAZVINGA, H., SOBRATEE, N., LIPHADZI, S., NAIDOO, D., MODI, A. T., SLOTOW, R. Urban nexus and transformative pathways towards a resilient Gauteng City-Region, South Africa. *Cities*, v. 116, 2021.

NOURI, M.; HOMAEE, M.; PEREIRA, L.S.; BYBORDI, M. Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*, v. 288, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108480>

OLIVEIRA, L. N; SILVA, C.E. Qualidade da água do rio Poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina-PI. **Revista Equador**. v.3, n.1, 2014.

OVIROH, P. O., AUSTIN-BRENEMAN, J., CHIEN, C. C., CHAKRAVARTHULA, P. N., HARIKUMAR, V., Shiva, P., KIMBOWA, A. B., LUNTZ, J., MIYINGO, E. W., PAPALAMBROS, P. Y. Micro water-energy-food (MicroWEF) nexus: a system design optimization framework for integrated natural resource conservation and development (INRCD) projects at community scale. **Applied Energy**, v. 333, 2023.

PÁEZ-CURTIDOR, N.; KEILMANN-GONDHALEKAR, D.; DREWES, J. E. Application of the Water– Energy–Food Nexus Approach to the Climate-Resilient Water Safety Plan of Leh Town, India. **Sustainability**, v. 13, n. 19, 2021.

PANAGOPOULOS, A., GIANNIKA, V. Comparative techno-economic and environmental analysis of minimal liquid discharge (MLD) and zero liquid discharge (ZLD) desalination systems for seawater brine treatment and valorization. **Sustainable Energy Technol. Assess**, 2022.

PREFEITURA DE CAMPINAS. **Plano Local de Ação Climática: Campinas/ SP**. 2024. Disponível em: https://portalapi.campinas.sp.gov.br/sites/default/files/secretarias/arquivosavulsos/142/2024/06/27-084218/PLAC_Campinas_Padr%C3%A3o.pdf. Acesso em: janeiro de 2025.

RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. **Climate Policy**, v. 16, n. 6, p. 682-702, 2016.

ROO, A.; TRICHAKIS, I.; BISSELINK, B.; GELATI, E.; PISTOCCHI, A.; GAWLIK, B. The Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus in the Mediterranean: Current Issues and Future Challenges. **Front. Clim.** 3:782553, 2021. doi: 10.3389/fclim.2021.782553

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH-SP). **Dados de monitoramento hídrico da UGRHI 09. 2023**. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/>. Acesso em: 06 abr. 2025.

TONY, A. C. A.; GREEN, O. O.; DECARO, D.; CHASE, A.; EWA, J. **The Social Ecological Resilience of an Eastern Urban-Suburban Watershed: The Anacostia River Basin**. 67 p., 2015.

TORRES, C.; GITAU, M. W.; LARA-BORRERO, J.; PAREDES-CUERVO, D.; DAHER, B. Urban FEW Nexus Model for the Otun River Watershed. **Water**, 16(23), 3405, 2024. <https://doi.org/10.3390/w16233405>

VENTURA, K.S.; SUQUISAQUI, A.B.V. Aplicação de ferramentas SWOT e 5W2H para análise de consórcios intermunicipais de resíduos sólidos urbanos. In: **Ambiente construído**, v. 20, p. 333-349, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/PjBPmYbmRGHktMHzFPzfv9t/?format=pdf>. Acesso em: 10 mai. 2024

WU, L.; ELSHORBAGY, A.; HELGASON, W. Assessment of agricultural adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective. **Agricultural Water Management**, v. 284, 2023. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108343

ZHANG, P; ZHOU, Y; XIE, Y; WANG, Y; LI, B; LI, B; JIA, Q; YANG, Z; CAI, Y. Assessment of the water-energy-food nexus under spatial and social complexities: A case study of Guangdong-Hong Kong-Macao. **Journal of Environmental Management**, v. 299, 2021.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Laura de Oliveira Battistini Pestana;
 - **Curadoria de Dados:** Laura de Oliveira Battistini Pestana;
 - **Análise Formal:** Laura de Oliveira Battistini Pestana;
 - **Aquisição de Financiamento:** Katia Sakihama Ventura;
 - **Investigação:** Laura de Oliveira Battistini Pestana
 - **Metodologia:** Katia Sakihama Ventura; Laura de Oliveira Battistini Pestana.
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Jacqueline Priscila Olmedo; Keila Camila da Silva; Laura de Oliveira Battistini Pestana.
 - **Redação - Revisão Crítica:** Katia Sakihama Ventura;
 - **Revisão e Edição Final:** Jacqueline Priscila Olmedo; Keila Camila da Silva; Laura de Oliveira Battistini Pestana.
 - **Supervisão:** Katia Sakihama Ventura.
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Laura de Oliveira Battistini Pestana, Jacqueline Priscila Olmedo, Keila Camila da Silva e Katia Sakihama Ventura**, declaramos que o manuscrito intitulado "**Abordagem Nexus Água-Energia-Alimento como suporte à tomada de decisão visando a resiliência climática: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu** ":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. "Este trabalho foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) bolsa nº 402792/2024".
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. "Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida".
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. "Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado".
-