



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Louise Moreira Sampaio Costa

**NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO: CONCEPÇÕES SOBRE O ESTADO DE
ALAGOAS ATRAVÉS DO ADAPTABRASIL**

Maceió

2025

Louise Moreira Sampaio Costa

**NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO: CONCEPÇÕES SOBRE O ESTADO DE
ALAGOAS ATRAVÉS DO ADAPTABRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Mariano Neto da Silva

Maceió

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4/661

- C837n Costa, Louise Moreira Sampaio.
Nexo água-energia-alimento : concepções sobre o estado de Alagoas através do AdaptaBrasil / Louise Moreira Sampaio Costa. - 2025.
47 f. : il.
- Orientador: Manoel Mariano Neto da Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária)
– Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.
- Bibliografia: f. 38-43.
Anexos: f. 44-47.
1. Desenvolvimento sustentável. 2. Interconexões ambientais. 3. Gestão integrada de recursos naturais, Resiliência climática e hídrica. I. Título.

CDU: 504.052(813.5)

LOUISE MOREIRA SAMPAIO COSTA

NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO: CONCEPÇÕES SOBRE O ESTADO DE
ALAGOAS ATRAVÉS DO ADAPTABRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Documento assinado digitalmente
 MANOEL MARIANO NETO DA SILVA
Data: 04/12/2024 15:26:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 DANIELE VITAL VICH
Data: 04/12/2024 16:53:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Daniele Vital Vich – Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEVES
Data: 04/12/2024 15:40:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves – Universidade Federal de
Alagoas

RESUMO

O Nexo Água-Energia-Alimento (WEF) emerge como uma abordagem integrativa, essencial para entender e gerenciar a interdependência entre a segurança hídrica, energética e alimentar. Trata-se de um conceito relevante diante dos desafios impostos à sociedade, em especial as mudanças climáticas e a escassez de recursos. Logo, este trabalho teve por objetivo caracterizar o estado de Alagoas quanto ao Nexo Água-Energia-Alimentos. Para tanto, realizou-se a pesquisa bibliográfica, o que permitiu compreender os aspectos teóricos e conceituais pertinentes à pesquisa. Posteriormente, foram utilizadas as bases de dados do AdaptaBrasil MCTI e do IBGE para caracterizar os municípios e a população de Alagoas de maneira separada e integrada. Constatou-se que, no setor hídrico, a maioria dos municípios apresenta condições favoráveis. Aproximadamente 43,14% das áreas foram classificadas como "Baixo" e 1,96% como "Muito Baixo" em relação aos impactos da seca, indicando uma estabilidade hídrica geral. Em relação à segurança alimentar, aponta-se para uma condição equilibrada, mas destaca a necessidade de estratégias de resiliência para enfrentar os impactos de chuvas intensas sobre a produção e distribuição de alimentos. Já a segurança energética revelou maiores vulnerabilidades, especialmente no que diz respeito à acessibilidade, indicando que, apesar de uma oferta razoavelmente estável, a capacidade de atender às demandas pode ser insuficiente em situações de crise. Os resultados indicam que Alagoas apresenta condições favoráveis para segurança hídrica e alimentar. Contudo, as vulnerabilidades observadas na segurança energética e os desafios associados aos períodos de chuva intensa reforçam a importância de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade e a resiliência, de modo a proporcionar um desenvolvimento alinhado às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Interconexões Ambientais, Gestão Integrada de Recursos Naturais, Resiliência Climática e Hídrica.

ABSTRACT

The Water-Energy-Food (WEF) Nexus emerges as an integrative approach, essential for understanding and managing the interdependence between water, energy, and food security. This concept is particularly relevant in the face of societal challenges, especially climate change and resource scarcity. Therefore, this study aimed to characterize the state of Alagoas in terms of the Water-Energy-Food Nexus. To achieve this, bibliographic research was conducted, which provided an understanding of the theoretical and conceptual aspects relevant to the study. Subsequently, data from the AdaptaBrasil MCTI and IBGE databases were used to characterize the municipalities and population of Alagoas separately and in an integrated manner. It was found that, in the water sector, most municipalities show favorable conditions. Approximately 43.14% of areas were classified as "Low" and 1.96% as "Very Low" regarding the impacts of drought, indicating overall water stability. In terms of food security, a balanced condition was observed, though highlighting the need for resilience strategies to address the impacts of heavy rainfall on food production and distribution. On the other hand, energy security revealed greater vulnerabilities, especially concerning accessibility, indicating that, despite a reasonably stable supply, the capacity to meet demands may be insufficient in times of crisis. The results suggest that Alagoas has favorable conditions for water and food security. However, the vulnerabilities observed in energy security and the challenges associated with periods of intense rainfall underscore the importance of public policies that promote sustainability and resilience to enable development aligned with climate change.

Keywords: Sustainable Development, Environmental Interconnections, Integrated Natural Resource Management, Climate and Water Resilience.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:O Nexo água-energia-alimento segundo a Conferência de Bonn, 2011	12
Figura 2: Esquema Conceitual da Relação entre o Nexo Água-Energia-Alimento e as Mudanças Climáticas	14
Figura 3: Pirâmide da Informação	20
Figura 4: Composição das Dimensões de Risco de Impacto Climático.	21
Figura 5:Composição dos impactos por Setor Estratégico.....	22
Figura 6: Escala de classificação do AdaptaBrasil MCTI	23
Figura 7: Risco de Seca para o Estado de Alagoas.	27
Figura 8: Distribuição dos municípios, de acordo com as classes de risco de secas.	27
Figura 9: Índice de Segurança Alimentar para o Estado de Alagoas	30
Figura 10: Índice de Segurança Energética para o Estado de Alagoas	32
Figura 11:Número de municípios por classe para os impactos de Segurança Energética	33
Figura 12: Índice do Nexo WEF para o Estado de Alagoas.....	35
Figura 13: Quantidade de municípios por classe para Índice do Nexo WEF em Alagoas	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Prática Centrais Associadas ao Eixo Nexos WEF	13
Tabela 2: Percentual Populacional, de acordo com as classes de risco de secas.....	28
Tabela 3: Percentual Populacional do Índice de Segurança Hídrica	29
Tabela 4: Percentual Populacional por classe do Índice de Segurança Alimentar	31
Tabela 5: Percentual do Índice de Segurança Energética.....	33
Tabela 6: Percentual da População do Índice do Nexos WEF.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADAPTABRASIL MCTI – Plataforma de Adaptação Climática do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ARPA – Áreas Protegidas da Amazônia

BEN – Balanço Energético Nacional

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – Agência Internacional de Energia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

LOSAN – Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional

MEN – Matriz Energética Nacional

MME – Ministério de Minas e Energia

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

ONU – Organização das Nações Unidas

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PLANSAN – Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional

PNHS – Plano Nacional de Segurança Hídrica

RNP – Rede Nacional de Pesquisa e Ensino

SE – Setor Estratégico

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

WEF – Water-Energy-Food (Nexo Água-Energia-Alimento)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivos Específicos.....	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 Nexo água-energia-alimento e as mudanças climáticas.....	11
3.2 Segurança hídrica, energética e alimentar	16
3.3 Índices e indicadores socioambientais	19
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Pesquisa bibliográfica	23
4.2 Análise de dados do ADAPTABRASIL MCTI.....	23
4.3 Estrutura do índice para Nexo WEF	24
4.4 Espacialização e tabulação dos dados.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1 Índice de Segurança Hídrica.....	27
5.2 Índice de Segurança Alimentar.....	30
5.3 Índice de Segurança Energética.....	31
5.4 Índice do Nexo WEF no estado de Alagoas	34
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38
ANEXOS	44

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o planeta enfrentou desafios multifacetados, exacerbados pela interação de mudanças climáticas, escassez de recursos e aumento populacional. Estudos recentes indicam que o aquecimento global está ocorrendo mais rapidamente do que o previsto, com impactos significativos que afetam desproporcionalmente as populações vulneráveis (STANLEY et al., 2021)

A escassez de recursos tornou-se um problema crítico para a economia verde, com a demanda por recursos sustentáveis superando a oferta, levando a uma competição acirrada e ao aumento dos preços (ADAM, 2022). Além disso, o crescimento populacional global, que atingiu o montante de oito bilhões, está desacelerando, mas ainda assim exerce forte pressão sobre as áreas urbanas, com a expectativa de que a população mundial atinja cerca de 10,4 bilhões até o final do século XXI (UNITED NATIONS, 2022).

A urbanização acelerada, impulsionada pelo êxodo rural, tem levado a um aumento na demanda por infraestrutura e serviços urbanos, enquanto as cidades lutam para acomodar o influxo populacional. Esse movimento em massa para as áreas urbanas tem raízes históricas e continua sendo um fator-chave no desenvolvimento econômico, conforme evidenciado por pesquisas que destacam a interação entre a produtividade inicial das indústrias rurais e os custos de migração interna como determinantes cruciais para o crescimento econômico moderno (BAUDIN, 2022).

Conforme o IPCC (2014), o risco associado às mudanças climáticas é muitas vezes representado pela probabilidade de ocorrência de ameaças climáticas, ou de suas tendências, multiplicada pelos impactos potenciais, caso essas ameaças se concretizem. Nesse contexto, o risco está frequentemente relacionado ao potencial de causar efeitos adversos para vidas, meios de subsistência, saúde, ecossistemas e espécies, assim como para ativos econômicos, sociais e culturais, serviços (incluindo ecossistêmicos) e infraestrutura.

Ao tratar do Brasil, o aumento significativo na densidade populacional, conforme indicado pelo IBGE (2022), amplifica o risco dos impactos ocasionados pelas mudanças climáticas (SANTOS, 2023), fadando uma parcela da população a viver em regiões expostas a riscos de inundações, enxurradas e deslizamentos. Essas áreas são identificadas como críticas para desastres naturais no Brasil e monitoradas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN (CEMADEN, 2024).

Diante da necessidade de um estudo que entrelace tais problemáticas, o "Nexo Água-Energia-Alimentos" ("*Water-Energy-Food Nexus*") emerge como uma abordagem essencial

para compreender e resolver os desafios interligados que se associam aos recursos vitais. Esse enfoque ganhou destaque na conferência internacional "*The Water Energy and Food Security Nexus - Solutions for the Green Economy*", promovida pelo Governo Alemão em 2011. Nesse evento marcante, líderes mundiais e especialistas se reuniram para explorar estratégias que promovam a segurança e a sustentabilidade no uso da água, energia e alimentos.

O conceito do Nexo Água-Energia-Alimentos (WEF) surge como uma abordagem integrativa essencial para entender e gerenciar a interdependência entre a segurança hídrica, energética e alimentar. Este conceito é particularmente relevante diante dos desafios impostos por ecossistemas degradados, pela demanda crescente por recursos finitos, mudanças climáticas globais, urbanização acelerada e pela globalização. Apesar de enfrentar críticas relacionadas à falta de consenso, ambiguidade e arbitrariedade na seleção de elementos o Nexo WEF é reconhecido como uma ferramenta valiosa para quantificar e avaliar as relações entre setores e interpretar agendas políticas complexas (LAZARO et al., 2022).

Portanto, ao considerar essas conexões, o Nexo ajuda a identificar estratégias de adaptação que maximizam a eficiência dos recursos e promovem a resiliência, tornando-se uma ferramenta interessante quando colocada em contraste com as dificuldades. Para o contexto do estado de Alagoas, a aplicabilidade pode ser particularmente benéfica, considerando os desafios específicos e as mudanças climáticas, o que afeta diretamente a segurança hídrica, energética e alimentar da população.

A integração do Nexo WEF pode auxiliar o estado de Alagoas nas atividades de planejamento e tomadas de decisão para otimizar o uso dos recursos naturais, de modo a promover práticas de gestão sustentável (LAZARO et al., 2022). Além disso, o Nexo WEF pode orientar políticas públicas para melhorar a resiliência das comunidades locais, garantindo que as estratégias de adaptação às mudanças climáticas sejam abrangentes e considerem todos os aspectos da segurança dos recursos (ORIMOLOYE, 2022).

Portanto, a adoção de uma abordagem baseada no Nexo WEF pode ser uma estratégia eficaz para Alagoas enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e resiliente. Para uma análise mais aprofundada do Nexo Água-Energia-Alimentos serão utilizados os produtos do AdaptaBrasil MCTI, referentes aos setores de recursos hídricos, segurança alimentar e segurança energética.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Caracterizar o estado de Alagoas quanto aos pilares do Nexo Água-Energia-Alimentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Discutir a relação estabelecida entre o Nexo Água-Energia-Alimentos com as mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável;
- Analisar os índices de segurança hídrica, energética e alimentar para o estado de Alagoas;
- Estabelecer o indicador para o nexos água-energia-alimentos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Nexo água-energia-alimento e as mudanças climáticas

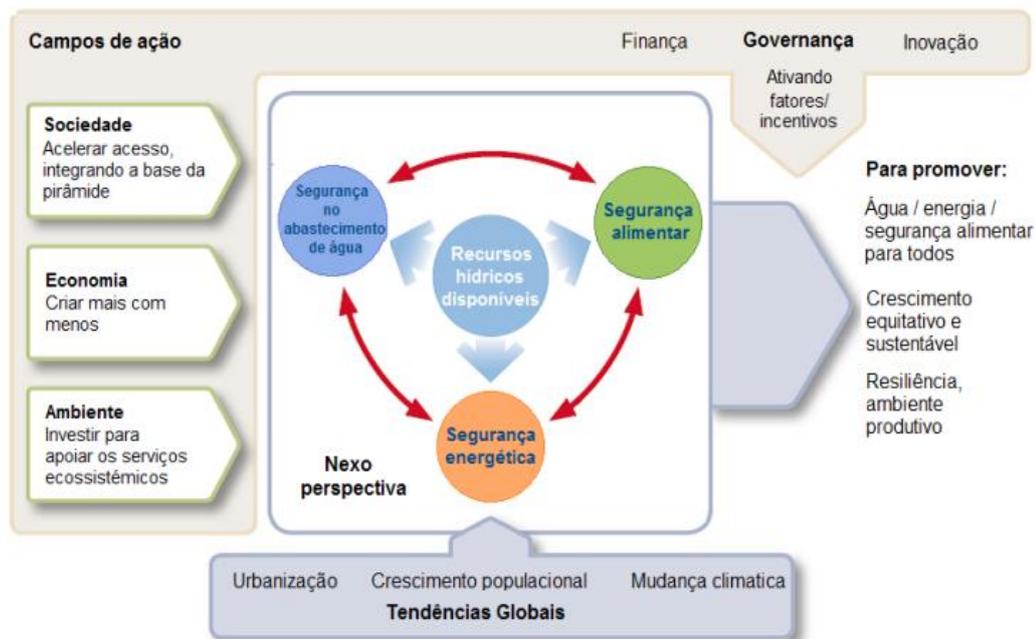
O conceito de Nexo tem ganhado destaque significativo e está se tornando parte integrante do vocabulário relacionado ao desenvolvimento sustentável. Grandes eventos têm conferido relevância ao tema, como o "*The Water Energy and Food Security Nexus - Solutions for the Green Economy*", quando o termo surgiu, em 2011. Posteriormente, houve a integração do conceito nas discussões da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), em 2012. Essa abordagem de interconexão também é evidente em documentos recentes de organizações importantes, como o Fórum Econômico Mundial, a Comissão Europeia, a *Global Water Partnership* e o Banco Mundial (GIATTI, 2016).

O discurso sobre o Nexo surge como um alerta reconhecido pela elite financeira como um fator limitante importante, permeado pela incerteza das mudanças climáticas. É uma abordagem que se assemelha a outros conceitos e iniciativas relacionados à economia ecológica, visando promover práticas e ações focadas na conservação dos serviços ecossistêmicos, na eficiência no uso de recursos e na inclusão social de grupos marginalizados (ALLOUCHE et al., 2015).

Esse conceito abrange as conexões das problemáticas sociais, ambientais e econômicas, ocasionadas pela interdependência dos ciclos produtivos da água, energia e alimentos. Analisa-se a ligação entre os três setores, com o objetivo final de identificar sinergias potenciais e mitigar os conflitos entre os eixos (HOFF, 2011).

O esquema apresentado na Figura 1 tem o foco central no fornecimento de água, energia e segurança alimentar, todos interligados aos recursos hídricos e suscetíveis às influências das tendências globais, como a urbanização, o crescimento populacional e as mudanças climáticas (HOFF, 2011). Assim, percebe-se que a interação entre os elementos do Nexo é direta, de modo que qualquer um dos elementos impacta todos os demais de maneira involuntária (SEGOVIA et al., 2023).

Figura 1: O Nexo água-energia-alimento segundo a Conferência de Bonn, 2011



Fonte: Hoff (2011).

A disponibilidade hídrica é o elemento central dos três vetores: segurança hídrica, energética e alimentar. As atividades relacionadas à água no contexto do Nexo WEF são amplas e essenciais para diversos setores, desde a irrigação agrícola e o processamento de alimentos até a extração de recursos naturais. O uso da água abrange também a produção de energia hidrelétrica, transporte e controle de emissões, evidenciando a complexa interconexão entre água e energia (AMARAL, 2021).

Quando se trata de energia, observa-se que esta desempenha um papel crucial no ciclo de transporte, abastecimento e tratamento da água, afetando diretamente sua disponibilidade e qualidade para a população. Essa interdependência também alcança o setor alimentar, englobando desde a produção de biomassa e biocombustíveis até as cadeias de importação, exportação e produção de fertilizantes, fundamentais para a segurança alimentar (SEGOVIA et al., 2023). As principais interconexões do Nexo são: água-energia; energia-água; água-alimentação; e água-energia-alimentação (SOUZA et al., 2021). A relação água-energia centraliza as problemáticas relacionadas à instabilidade do ciclo hidrológico, intensificada pelas mudanças climáticas, tornando-se prejudicial para o uso da água na produção hidrelétrica de energia.

A necessidade energética envolvida na captação, transporte, tratamento e uso da água enfatiza a garantia de segurança hídrica para a população, caracterizando a relação energia-água. A interação entre água-alimentação é primordial para os setores consultivos, como

agricultura e pecuária, que demandam grandes quantidades de recursos hídricos. A conexão entre água-energia-alimentos busca analisar a eficiência dos setores, capitalizando as perdas das cadeias produtivas que envolvem os três elementos, como o consumo de água e energia para a produção de biocombustíveis, que afeta diretamente os custos gerados na agricultura (SOUZA et al., VERSIEUX, 2021).

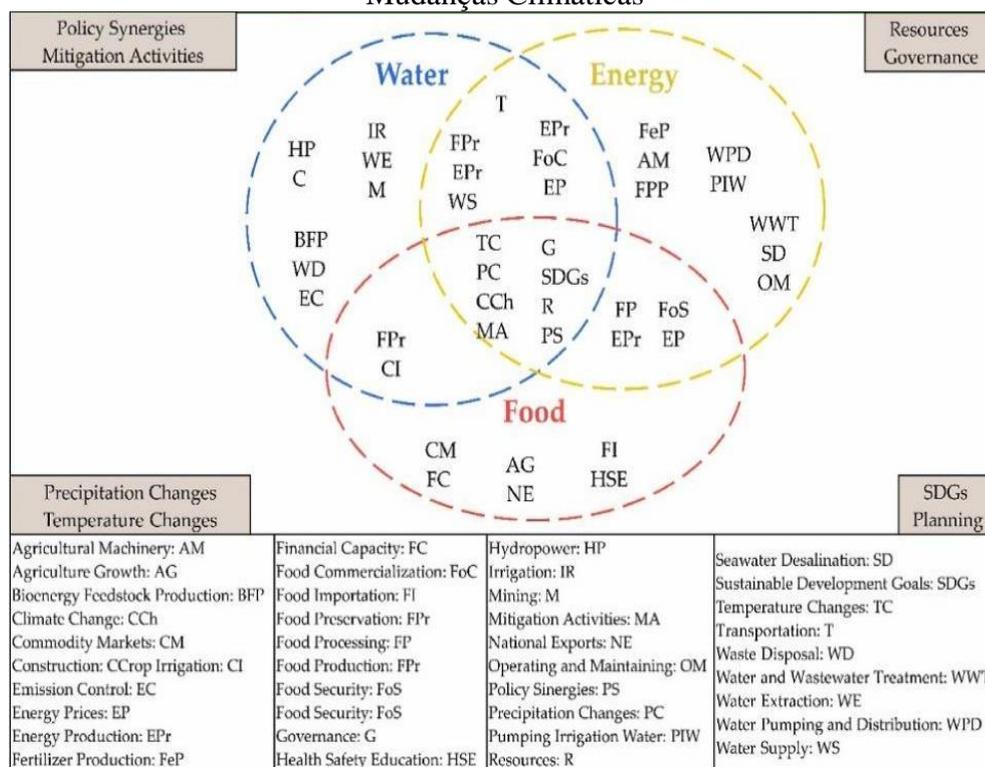
Conforme ilustrado no Tabela 1, o estudo conduzido por Herrera-Franco et al. (2023) examina as práticas específicas de cada setor em consonância com o eixo Nexo WEF. As investigações referentes aos estudos de cada prática, obtidas por meio de revisões bibliográficas e apresentadas na Figura 2, propõem estabelecer relações entre as interconexões das atividades pertencentes aos componentes que caracterizam o Nexo, assim como suas vinculações com as mudanças climáticas.

Tabela 1: Prática Centrais Associadas ao Eixo Nexo WEF

Eixo	Práticas centrais
Água	Irrigação
	Processamento de alimentos
	Extração
	Mineração
	Produção de energia hidrelétrica
	Matéria-prima para bioenergia
	Transporte
	Eliminação de resíduos
	Controle de emissões
	Construção
Energia	Consumo e produção de fertilizantes
	Maquinário agrícola
	Preservação e processamento de alimentos
	Transporte e Abastecimento de água
	Bombeamento e distribuição de água
	Tratamento de água e águas residuais
	Dessalinização de água do mar
	Operação e manutenção de instalações de abastecimento de água
	Bombeamento de água de irrigação
Cumprimento de usos finais.	
Alimento	Influenciam mercados de commodities
	Capacidade financeira
	Importação
	Crescimento agrícola
	Exportações nacionais
	Exportações nacionais e Educação
	Educação em segurança sanitária.

Fonte: Adaptado de Herrera-Franco et al. (2023).

Figura 2: Esquema Conceitual da Relação entre o Nexso Água-Energia-Alimento e as Mudanças Climáticas



Fonte: Herrera-Franco et al., (2023)

Os efeitos das mudanças climáticas têm implicações significativas para os diversos elementos que regem as condições de vida na Terra, afetando a produção de alimentos, a disponibilidade hídrica e os requisitos para a geração e distribuição de energia, aspectos retratados no Nexso WEF. Existe uma demanda global dirigida aos estados para que, ao considerarem suas vulnerabilidades específicas, desenvolvam políticas de adaptação às mudanças climáticas, estabelecendo diretrizes para os três setores (SOUZA et al, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2023) destaca que as variações climáticas estão aumentando em escala, frequência e intensidade, contribuindo diretamente para emergências humanitárias resultantes de ondas de calor, incêndios florestais, inundações, tempestades tropicais e furacões. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), as atividades humanas, principalmente por meio das emissões de gases de efeito estufa, causam o aquecimento global, elevando a temperatura média global em 1,1°C, entre 2011 e 2020, em relação a 1850-1900.

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos, incluindo o aumento das temperaturas oceânicas, o que provoca desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos e agrava a escassez de água. Aproximadamente metade da população mundial enfrenta severa escassez de

água durante pelo menos parte do ano. A expansão agrícola insustentável também compromete a disponibilidade de alimentos (IPCC, 2023). Esses desafios enfatizam a urgência de políticas eficazes de governança.

Minimizar a emissão de gases de efeito estufa nos setores de transporte, energia e alimentos traz impactos positivos para o meio ambiente e afeta positivamente a saúde humana, com a redução da poluição atmosférica. Se o cenário atual se prolongar, prevê-se que, entre 2030 e 2050, as mudanças climáticas resultarão em aproximadamente 250.000 mortes adicionais anualmente (OMS, 2023).

As mudanças climáticas reduziram a segurança hídrica, dificultando, assim, o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (IPCC, 2023). O Brasil, classificado pelo Observatório do Clima (2020) como o quinto maior emissor global de gases de efeito estufa, apresenta aproximadamente 27% das emissões no país de origem na agropecuária, com 75% provenientes da produção bovina; enquanto 46% resultam de mudanças no uso da terra, especialmente devido ao desmatamento e à conversão de áreas naturais em lavouras e pastagens.

Nos últimos 30 anos, aproximadamente 60 milhões de hectares de vegetação nativa foram convertidos em pastagem no Brasil, conforme dados do Mapbiomas (2022). Essa transformação contribuiu significativamente para a liberação de gases de efeito estufa na atmosfera, colocando o sistema de produção de alimentos do país no epicentro das preocupações climáticas, tanto em âmbito nacional quanto global.

3.2 Segurança hídrica, energética e alimentar

A segurança hídrica ocorre quando há equilíbrio nos quatro aspectos principais do planejamento, sendo eles a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, resultando na disponibilidade de água com qualidade suficiente para atender às necessidades humanas, apoiar as práticas agrícolas e econômicas, preservar os ecossistemas aquáticos e equilibrar o sistema de secas e cheias (ANA, 2019).

Esse conceito vem ganhando destaque, conforme o aumento das problemáticas geradas pela crise hídrica e suas influências na sociedade. Em 2012, iniciou-se a construção do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), lançado em abril de 2019, visando garantir a criação e o acompanhamento de obras para melhoria na gestão dos recursos hídricos (ANA, 2019). A promoção da segurança hídrica é essencial para que sejam adotadas estratégias de impactos a longo prazo que diminuam a vulnerabilidade dos recursos hídricos (CASTRO, 2022).

O índice de Segurança Hídrica (ISH), desenvolvido pelo PNSH, avalia através de uma métrica objetiva as dimensões humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência. As variáveis e os indicadores que compõem o ISH derivaram, em sua maioria, da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e de estudos desenvolvidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019).

Quanto à segurança energética, a Agência Internacional de Energia (IEA, 2005) define como a relação entre a oferta e disponibilidade de serviços energéticos de qualidade continuamente e acessível financeiramente a toda população. O "Matriz Energética Nacional 2030 – MEN 2030", um documento governamental, analisa as projeções sobre a oferta e demanda energética no país ao longo dos próximos 25 anos. O objetivo é garantir o desenvolvimento sustentável nos conceitos interdependentes - desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental. Os cinco componentes comuns para a análise da segurança energética são os centros de demanda, a logística e fontes de suprimento energético, a geopolítica, a estrutura de mercado e a análise das instituições (BRASIL, 2007).

No contexto brasileiro, é indispensável considerar a diversidade estrutural da matriz energética para caracterizar o cenário atual, examinando a diversidade de fontes de energia e o papel importador e exportador de recursos energéticos do país (NINA, 2020). O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2024, declara que Brasil no ano de 2023, dispusera de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável representando 89% de disponibilidade

interna originada da produção nacional mais as importações e a geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 11,0% do total nacional. A fonte hídrica destaca-se, participando com 58,9% da oferta interna de energia elétrica em 2022. Quase a totalidade das importações são oriundas da Usina de Itaipu (BEN, 2024).

No que se refere à disponibilidade de energia, 99,8% da população possui acesso à energia elétrica, segundo dados do IBGE (2022). Contudo, a pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC, 2018), sobre a qualidade do serviço prestado em energia, indica que somente 52,97% do território brasileiro possui um nível satisfatório de energia.

Assim, é relevante destacar os cinco componentes fundamentais que definem o acesso à energia de qualidade (Quality Energy Access - QEA): o acesso básico, que indica a proporção da população com acesso à energia; a confiabilidade, que assegura fornecimento estável e contínuo, sem interrupções ou oscilações de voltagem; a acessibilidade, com energia disponível para usos diversos – comercial, industrial e doméstico; a sustentabilidade ambiental, oferecendo acesso a tecnologias e fontes de energia limpa; e a escalabilidade, que representa a capacidade de atender rapidamente às demandas, domésticas e comerciais, em constante variação (WORLD ENERGY COUNCIL, 2020).

Ao discutir a segurança alimentar, é importante enfatizar que o crescimento populacional – estimado em mais 2 bilhões de pessoas globalmente nas próximas quatro décadas – amplifica os desafios de produção e distribuição de alimentos, com impacto direto na saúde pública, nas interações sociais e no meio ambiente (DOMENE et al., 2023). Esse cenário, aliado às mudanças climáticas, tem reduzido progressivamente a segurança alimentar mundial (IPCC, 2023).

Segundo a OMS (2023), 600 milhões de pessoas adoecem anualmente devido a doenças de origem alimentar, enquanto 2 bilhões carecem de água potável, um recurso essencial para uma cadeia produtiva segura e saudável. Entre os afetados, crianças com menos de 5 anos representam 30% das mortes causadas por contaminações alimentares, destacando a urgência de soluções sustentáveis para melhorar a segurança alimentar e o acesso à água de qualidade.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) associados à promoção de uma alimentação adequada e saudável são o ODS 1 - Erradicação da Pobreza, o ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, e o ODS 10 - Redução das Desigualdades, delineando metas para serem alcançadas até 2030 (ODS, 2015).

A temática referente à segurança alimentar e nutricional no Brasil é contemplada pela Lei nº 11.346/2006 – a Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN). Esse instrumento estabelece o direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais. Destaca a relevância de abordagens alimentares que fomentem o bem-estar, considerando a diversidade cultural e visando à sustentabilidade nos aspectos social, econômico e ambiental (BRASIL, 2006).

O Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PLANSAN, 2018) define sete indicadores de segurança alimentar e nutricional: a produção de alimentos; a disponibilidade de alimentos; a renda e condições de vida; o acesso à alimentação adequada e saudável, incluindo água; a saúde; nutrição e acesso a serviços relacionados, a educação; e programas e ações relacionadas à segurança alimentar e nutricional.

Relacionando os indicadores, podemos destacar os quatros pilares fundamentais da segurança alimentar: a oferta alimentar, representada pela disponibilidade de alimentos, é determinada pelo nível de produção, estoque e importação, incluindo também auxílios alimentares; o acesso aos alimentos é influenciado pelo poder de compra, renda, despesas, preços e distribuição alimentar, sendo elementos essenciais para garantir a segurança alimentar das populações; a utilização alimentar, que engloba a forma como os indivíduos obtêm nutrientes dos alimentos, incluindo práticas de preparo, higiene, armazenamento, diversidade e qualidade da dieta; e a estabilidade alimentar, que diz respeito à manutenção contínua das condições de disponibilidade, acesso e utilização ao longo do tempo (SOARES; SILVA, 2023).

3.3 Índices e indicadores socioambientais

Os índices caracterizam-se como uma medida que sintetiza informações complexas, combinando diferentes parâmetros de forma associativa por meio de uma relação pré-estabelecida, seja por estatística, formulação analítica ou cálculo matemático. São construídos a partir da agregação de dados e informações, permitindo simplificar, quantificar, comunicar e expressar de forma resumida fenômenos complexos (FIDALGO, 2003).

Os índices distinguem-se dos indicadores simples, que representam apenas um único parâmetro. Quando vários indicadores são associados de forma analítica, são chamados de indicadores agregados. A utilização de índices para representar a síntese de informações é amplamente aceita pela comunidade científica, pois oferece uma abordagem mais estruturada para lidar com conjuntos de dados complexos, facilitando sua interpretação e comunicação (FIDALGO, 2003).

Originário do latim "indicātor", derivado do verbo "indicāre" (indicar ou mostrar), um indicador aponta, sugere ou demonstra algo (CAMPOS, 2008). Os indicadores são ferramentas utilizadas para representar, medir ou evidenciar aspectos específicos da realidade, sendo empregados em diversas áreas, como ciências sociais, economia, saúde e meio ambiente.

Esses instrumentos quantificam e qualificam fenômenos complexos e auxiliam na tomada de decisões, desempenhando um papel fundamental na gestão ambiental, de modo que permite o acompanhamento do desempenho ao longo do tempo, a identificação de tendências, a avaliação dos impactos humanos e o embasamento de decisões para a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

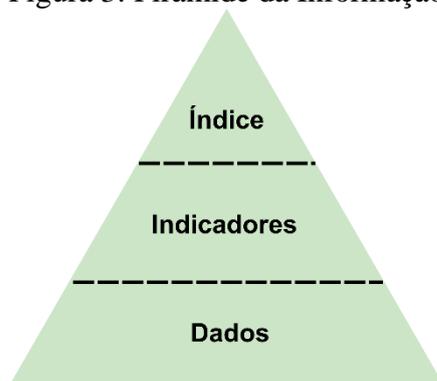
Esses indicadores podem variar em complexidade, desde medidas simples, como a concentração de poluentes (indicadores simples), até análises integradas com múltiplos parâmetros, selecionados com base em critérios científicos e técnicos, levando em consideração a relevância, a disponibilidade de dados e a capacidade de representação adequada do estado ambiental (indicadores agregados) (LACERDA, CS, 2013).

Os indicadores fornecem informações essenciais para entender e medir o comportamento de fenômenos e sistemas, enquanto os índices ajudam a comunicar esses aspectos de forma mais acessível ao público em geral. A elaboração dos índices e indicadores permite a avaliação temporal da situação presente e futura por meio das análises de tendências, contribuindo para a formação de instrumentos de apoio à tomada de decisões políticas ao

monitorar o progresso em direção a metas de desenvolvimento sustentável (VAREJÃO; SERRA, 2020).

A estruturação hierárquica proposta no trabalho de Hammond et al. (1995) ilustra a pirâmide de informações na construção dos índices (Figura 3), que estão localizados no topo da pirâmide. No meio, encontram-se os indicadores, que são sustentados pelos dados situados na base da pirâmide (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

Figura 3: Pirâmide da Informação



Fonte: Adaptado de Hammond et al. (1995).

A complexidade da criação dos índices e indicadores socioambientais, permitem identificar as potencialidades e fragilidades dos riscos de impactos, destinados aos Setores Estratégicos (SE) de recursos hídricos, segurança energética e alimentar. Logo, cada SE apresenta elementos de impacto potencial específicos, portanto, é fundamental delimitar conceitualmente cada um deles para construir indicadores e analisar o risco de impacto (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

O risco da ocorrência do impacto é também observado em uma lógica sistêmica socioecológica, na qual os Sistemas Socioecológicos (SSE) são entendidos como entrelaçados e interdependentes, envolvendo tanto os sistemas humanos quanto os naturais. A resiliência desse sistema depende da combinação propositiva da dinâmica das instituições com a dinâmica dos ecossistemas (IBGE, 2022).

Tendo em vista a análise dos setores, os índices a serem estudados, tanto por relevância, como por disponibilidade levar-se-á em consideração a interação de três dimensões: Ameaça Climática, Vulnerabilidade e Exposição, conforme a Figura 4 (IPCC,2014).

Figura 4: Composição das Dimensões de Risco de Impacto Climático.



Fonte: Adaptado de IPCC (2014)

A ameaça climática engloba a presença de eventos extremos, como chuvas intensas, secas prolongadas, ciclones e outros fenômenos naturais que geram danos socioambientais. A vulnerabilidade avalia a suscetibilidade de um sistema a danos diante de uma ameaça específica, levando em consideração sua sensibilidade e capacidade adaptativa. E a exposição é o nível em que o sistema está sujeito ao contato com a ameaça climática, sendo uma relação entre o ambiente e a perturbação, podendo ser avaliada independentemente da vulnerabilidade. Compreender essas dimensões é essencial para a avaliação e gestão dos riscos associados às mudanças climáticas (GALLOPÍN, 2006; IPCC, 2014a; ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

Conforme ilustrado no quadro da Figura 5, o Índice de Risco do Impacto é estruturado em três componentes principais, essa hierarquia evidencia a integração de dados e indicadores para fornecer uma visão detalhada dos riscos climáticos em setores estratégicos. Os indicadores utilizados para formar cada Sistema de Exposição no AdaptaBrasil MCTI (2022) são criados a partir de indicadores temáticos, compostos por um conjunto de indicadores mais específicos relacionados à obtenção de dados. O setor estratégico de impactos para recursos hídricos classifica a seca como seu principal índice (Anexo 1). Os indicadores temáticos incluem: oferta e demanda de recursos hídricos; acesso limitado e ineficiência no uso da água no sistema de abastecimento público; planejamento e gestão de risco para recursos hídricos; capacidade de abastecimento e reservação de água; e capacidade socioeconômica familiar, além da exposição da população ao ambiente natural (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

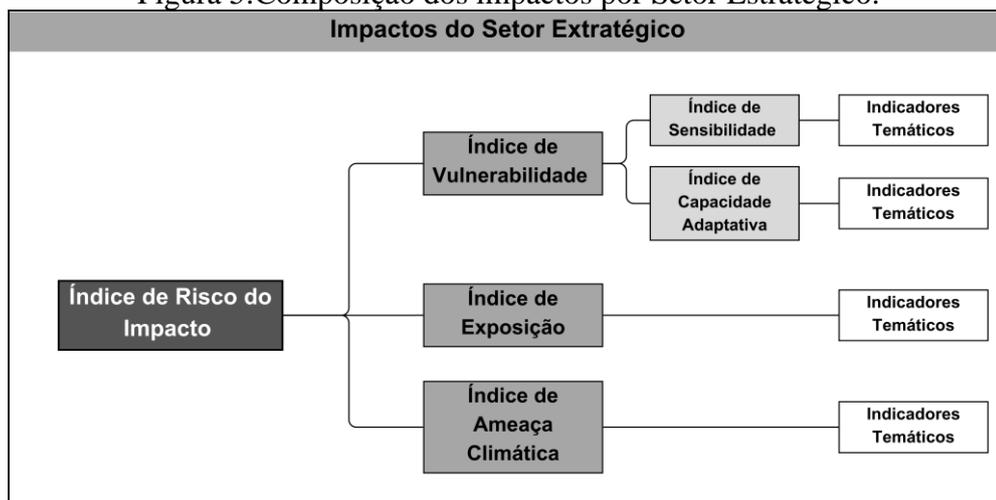
O SE que abrange os impactos para a segurança alimentar classifica a seca e a chuva como indicadores principais (Anexo 2). Os indicadores temáticos relacionados à seca incluem: produção e comercialização de alimentos; características dos produtores e dos estabelecimentos agropecuários; saúde e consumo dos alimentos; logística da produção e abastecimento;

planejamento e gestão da segurança alimentar e nutricional; manutenção da produção agropecuária; capacidade socioeconômica familiar; agropecuária e fatores biofísicos; e população exposta e estrutura fundiária (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

Os indicadores temáticos gerados para períodos de chuva são: produção e comercialização de alimentos; características dos produtores e dos estabelecimentos agropecuários; saúde e consumo dos alimentos; planejamento e gestão da segurança alimentar e nutricional; manutenção da produção agropecuária; capacidade socioeconômica familiar; agropecuária e fatores biofísicos; e população exposta e estrutura fundiária (Anexo 3) (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

O SE de impactos para a segurança energética não apresenta indicadores temáticos, de modo que são utilizados apenas os indicadores mais específicos de cada índice para compô-los. Os índices finais são: o Risco à Disponibilidade de Energia Elétrica (Anexo 4) e o Índice de Risco de Impacto para o Acesso à Energia Elétrica (Anexo 5) (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

Figura 5: Composição dos impactos por Setor Estratégico.



Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).

4 METODOLOGIA

4.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio da consulta a livros, artigos publicados em periódicos e outras fontes, conforme as recomendações de autores como Gil (2017) e Salvador et al. (2020). Esta etapa da pesquisa se destinou à compreensão dos aspectos teóricos e conceituais referentes ao Nexo Água-Energia-Alimentos; as relações estabelecidas entre segurança hídrica, alimentar e energética com as mudanças do clima; e o entendimento acerca dos índices e indicadores.

4.2 Análise de dados do ADAPTABRASIL MCTI

Os dados utilizados são oriundos do Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima (ADAPTABRASIL MCTI), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Rede Nacional de Pesquisa e Ensino (RNP), a Rede Brasileira de Pesquisa em Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (ANDRADE et al., 2023).

Para avaliação dos impactos, estes são divididos nos setores de segurança alimentar, segurança hídrica e segurança energética. Os indicadores de contribuição, que compõem cada setor, são avaliados em uma escala de 0 a 1 e classificados em “Muito Baixa”, “Baixa”, “Média”, “Alta” ou “Muito Alta” e, em casos em que os dados não estão disponíveis, é indicado como “Dados Indisponíveis” (Figura 6).

Figura 6: Escala de classificação do AdaptaBrasil MCTI



Fonte: ADAPTABRASIL MCTI (2024).

Os intervalos de risco refletem as magnitudes potenciais dos impactos, de modo que um município com risco alto tem maior probabilidade de enfrentar impactos climáticos de maior magnitude, enquanto um município com risco baixo enfrenta, em geral, impactos de menor magnitude. O sistema também permite analisar as projeções para os anos de 2030 e 2050, em cenários otimistas e pessimistas (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

4.3 Estrutura do índice para Nexo WEF

As concepções sobre o estado de Alagoas, no contexto da composição do Nexo Água-Energia-Alimentos, resultam da análise da classificação dos municípios de acordo com as categorias dos índices que integram os setores estratégicos de recursos hídricos, segurança alimentar e segurança energética, conforme elaborados pela plataforma AdaptaBrasil MCTI.

Posteriormente, o índice foi construído a partir de três componentes principais que refletem os setores do WEF e o cálculo é realizado por meio de uma média aritmética (Equação 1).

$$I_{WEF} = \frac{I_W + I_E + I_F}{3} \quad (\text{Equação 1})$$

I_{WEF} = Índice Geral do Nexo WEF;

I_W = Índice de Segurança Hídrica;

I_E = Índice de Segurança Energética;

I_F = Índice de Segurança Alimentar;

O resultado considera as interdependências entre os setores para comparar os municípios de Alagoas em cada área estratégica. Indicadores específicos serão incorporados para caracterizar os diferentes segmentos avaliados, gerando uma classificação dentro das escalas de magnitude definidas pelo AdaptaBrasil MCTI.

Por conseguinte, analisou-se os dados referentes à distribuição populacional de acordo com as classes de risco. Para tanto, foram utilizados os dados do último Censo Demográfico do IBGE (2022).

Para determinar o Índice de Segurança Hídrica (*ISH* ou *I_w*) no estado de Alagoas, adotou-se uma abordagem baseada na análise do Índice de Seca (*IS*), que mede diretamente o risco de ocorrência de eventos de seca. Esse índice foi calculado a partir de dados históricos e geográficos de precipitação, variabilidade climática e padrões sazonais da região, conforme

obtidos de fontes como o ADAPTABRASIL MCTI e o IBGE. A análise focou em identificar a frequência e a intensidade das secas, considerando a vulnerabilidade das bacias hidrográficas e a capacidade de armazenamento dos principais reservatórios do estado.

Para interpretar a segurança hídrica com base na vulnerabilidade à seca, aplicou-se a fórmula:

$$I_w = 1 - IS \quad (\text{Equação 2})$$

I_w = Índice de Segurança Hídrica;

IS = Índice de Seca.

Esse cálculo inverte o índice de seca, permitindo que o I_w reflita a segurança hídrica de forma positiva. Assim, quanto menor o IS , maior será o I_w , o que indica maior resiliência e segurança no abastecimento hídrico.

Tanto o IS quanto o I_w foram classificados em uma escala de 0 a 1, onde valores mais próximos de 1 indicam maior risco de seca (para o IS) ou maior segurança hídrica (para o I_w). Essa escala facilita a comparação com outros estados e regiões, além de servir como base para análise de tendências ao longo do tempo.

Para garantir que todos os índices estejam na mesma escala de interpretação, foi necessário ajustar o Índice de Segurança Hídrica (I_w) para refletir uma interpretação direta de "risco," onde valores mais altos indicam maior vulnerabilidade. Assim, como o I_w (Índice de Segurança Hídrica) foi inicialmente calculado como o inverso do Índice de Seca (IS), a fim de compatibilizá-lo com os demais índices, aplicou-se a transformação:

$$I_{w \text{ AJUSTADO}} = 1 - I_w \quad (\text{Equação 3})$$

$I_{w \text{ Ajustado}}$ = Índice de Segurança Hídrica Ajustado;

I_w = Índice de Segurança Hídrica.

Essa inversão permite que todos os índices na fórmula I_{wEF} sigam a mesma escala, com valores maiores indicando maior risco e valores menores indicando maior segurança, ou seja que todos os valores sigam a mesma lógica interpretativa na fórmula do Nexo WEF.

4.4 Espacialização e tabulação dos dados

Para espacialização dos dados de segurança hídrica, energética e alimentar, e do I_{WEF}, foram elaborados mapas em ambiente SIG, mediante uso do Software QGIS, versão 3.28. A tabulação dos dados foi realizada no Software Microsoft Excel.

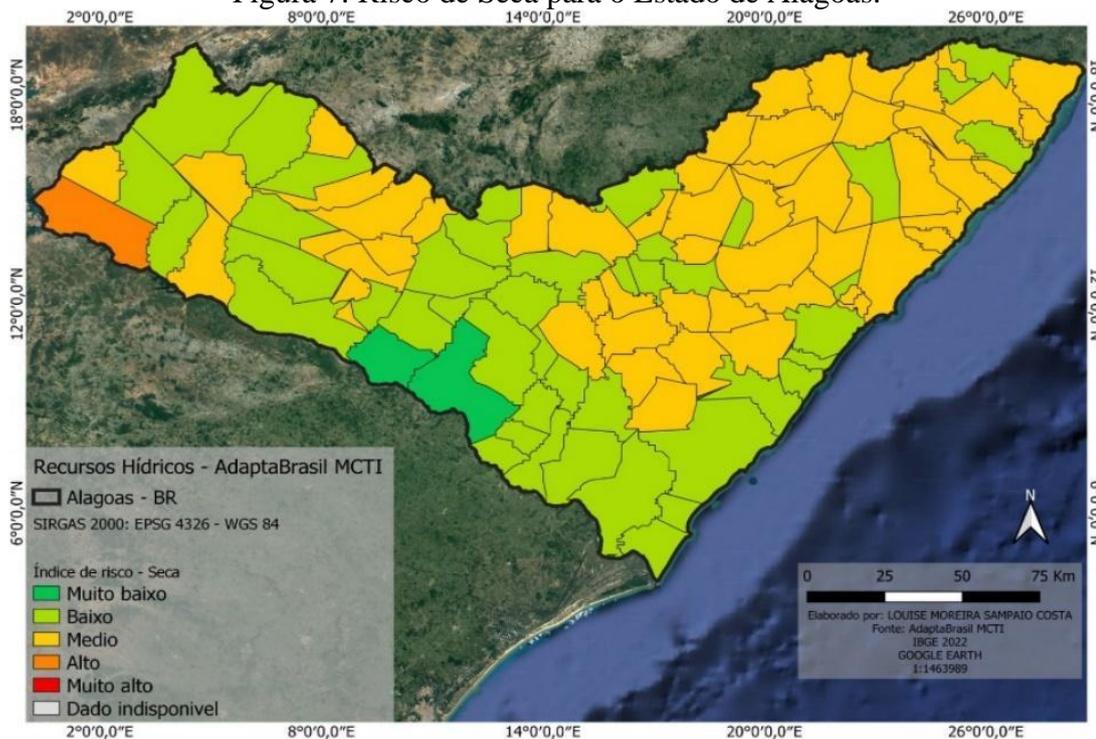
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Índice de Segurança Hídrica

Os impactos sobre os recursos hídricos estão intimamente relacionados à seca, um risco que é agravado pelas mudanças climáticas. No estado de Alagoas, essa realidade pode ser analisada por meio do risco de seca apresentados no mapa da Figura 7. Constatou-se que 53,92% dos municípios apresentam risco médio; 43,14% possuem risco baixo; 1,96% e 0,98% são classificados como risco muito baixo e alto, respectivamente. O risco de seca médio para o estado de Alagoas foi 0,39, classificado com “Baixo”. Esses dados são detalhados na Figura 8, que apresenta o número de municípios por categoria.

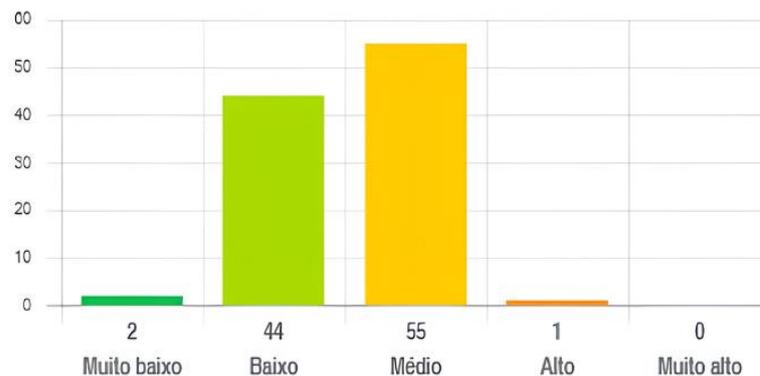
Os principais fatores que contribuem para o aumento do índice de impacto no estado incluem: programas ou ações de prevenção contra os efeitos da seca, o nível de implementação e articulação do plano municipal de saneamento básico, e a proporção de domicílios com renda per capita superior a dois salários-mínimos (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

Figura 7: Risco de Seca para o Estado de Alagoas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 8: Distribuição dos municípios, de acordo com as classes de risco de secas.



Fonte: ADAPTABRASIL MCTI (2024).

Os dados de distribuição populacional por classe de risco (Tabela 2) fornecem um panorama claro da vulnerabilidade dos municípios alagoanos. Em termos de segurança hídrica, nota-se que aproximadamente 73% da população está em áreas classificadas como risco "Médio" à ocorrência de secas, refletindo a predominância de uma situação moderada de vulnerabilidade aos impactos da seca.

Tabela 2: Percentual Populacional, de acordo com as classes de risco de secas.

Classe de Risco	Número de Municípios	População Total da Classe	Percentual da População Total do Estado (%)
MUITO BAIXO	2	29.499,00	0,94
BAIXO	44	761.295,00	24,39
MÉDIO	55	2.279.534,00	73,02
ALTO	1	51.310,00	1,64
MUITO ALTO	0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Esse cenário implica que, apesar da presença de condições de acesso à água, a maioria dos municípios enfrentam desafios climáticos que podem comprometer a sustentabilidade hídrica, especialmente em períodos de seca prolongada. Adicionalmente, cerca de 24% da população está em condição de risco "Baixo", sugerindo que uma parte significativa da população reside em áreas onde os recursos hídricos são mais estáveis e adequados para atender as demandas locais.

No entanto, para classificar o Índice de Segurança Hídrica (*ISH*) no estado de Alagoas, calculou-se inicialmente o Índice de Seca (*IS*), que resultou em um valor de 0,39. Esse valor representa um risco de seca moderado, sugerindo que, em grande parte do estado, os recursos hídricos são razoavelmente estáveis.

Com base nesse índice, o I_W foi determinado o IHS, determinado pela Equação 2, resultando em 0,61. Esse valor reflete uma condição relativamente segura para o abastecimento hídrico. Na prática, um I_W de 0,61 significa que Alagoas tem uma resiliência moderada às variações de seca, mas que ainda há regiões que exigem monitoramento. A fórmula utilizada considera que, quanto menor o IS (risco de seca), maior o I_W , reforçando a segurança hídrica

Assim, o valor obtido indica que, embora o estado esteja bem-posicionado para atender suas demandas hídricas em situações normais, condições climáticas extremas podem exigir intervenções adicionais para manter a segurança no abastecimento.

Ao adotar esses valores, estabelecemos uma escala em que o número 1 representa o valor máximo, indicando a "condição ideal" ou "segurança hídrica total". Assim, qualquer valor próximo a 1 refletirá a proximidade dessa condição ideal.

Considerando que, na escala do AdaptaBrasil, os tons verdes representam a condição ideal, adotaremos a mesma paleta de cores, mas de forma invertida, de modo que os tons verdes indiquem os níveis mais altos de segurança hídrica. No cenário do estado de Alagoas, o índice de segurança hídrica é classificado de acordo com a distribuição percentual da população, conforme os diferentes estados de classificação apresentados na Tabela 3.

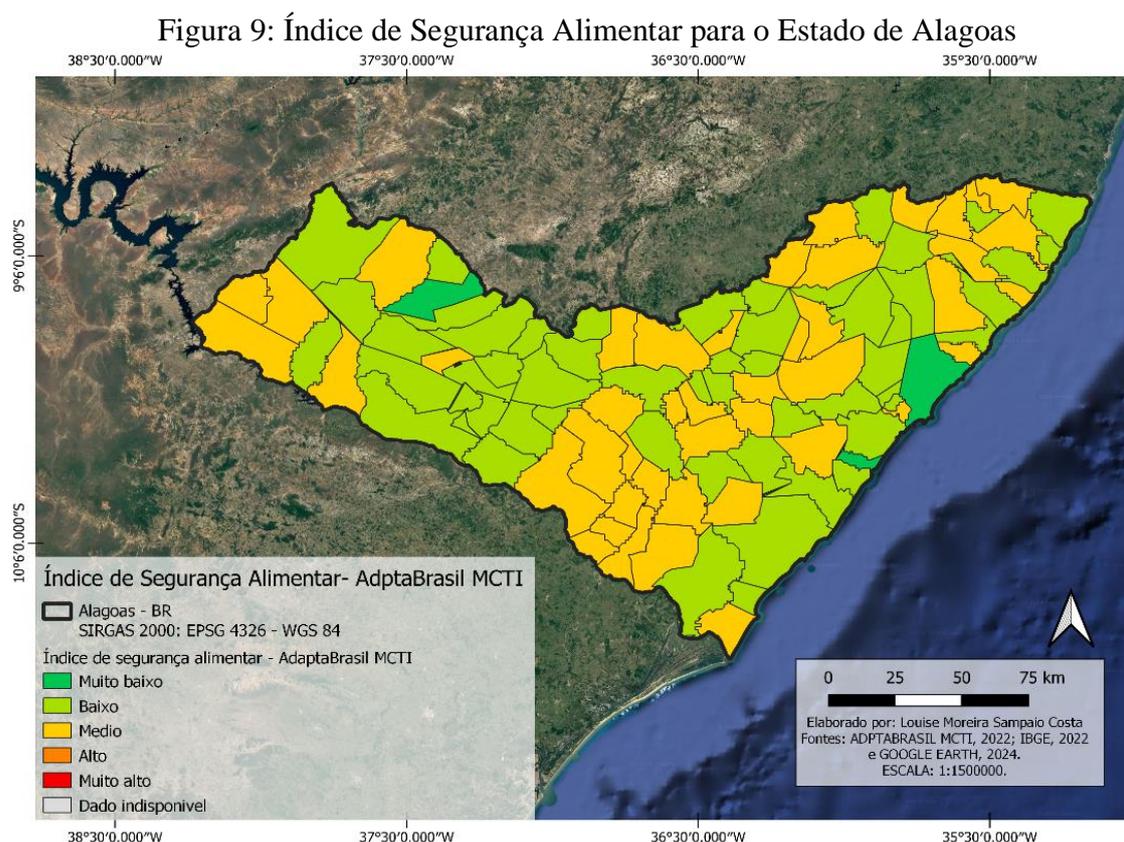
Tabela 3: Percentual Populacional do Índice de Segurança Hídrica

Classe de Risco	Número de Municípios	População Total da Classe	Percentual da População Total (%)
MUITO BAIXO	0	0,00	0,00
BAIXO	1	51310,00	1,64
MÉDIO	49	2136498,00	68,44
ALTO	50	904331,00	28,97
MUITO ALTO	2	29499,00	0,94

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

5.2 Índice de Segurança Alimentar

O Índice de Segurança Alimentar para o estado de Alagoas é 0,47, classificado como “Médio” na escala do AdaptaBrasil. 77,45% dos municípios foram enquadrados como “Médio”; 19,61% como “Baixo”; e 2,94% como “Muito Baixo” (Figura 9). Essa classificação do Índice de Segurança Alimentar indica um risco de impactos nos recursos hídricos na região de média magnitude em relação às mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os principais fatores que contribuem para o aumento do índice de impacto no estado durante o período de seca incluem: baixa produção de alimentos básicos, baixa densidade de moradores por cômodo e adesão ao Programa Cidades Resilientes. No período de chuvas, destacam-se o percentual de estabelecimentos agropecuários que recebem orientação técnica, o nível de associativismo entre esses estabelecimentos e a proporção de domicílios com renda per capita superior a dois salários-mínimos (ADAPTABRASIL, 2024).

A análise demonstrada na Tabela 4, aponta que 40% da população está em áreas classificadas como risco "Baixo," com 32,75% da população em áreas "Muito Baixo," durante períodos de seca.

Tabela 4: Percentual Populacional por classe do Índice de Segurança Alimentar

Classe de Risco	Número de Municípios	População Total da Classe	Percentual da População Total do Estado (%)
MUITO BAIXO	3	1.022.340,00	32,75
BAIXO	59	1.249.673,00	40,03
MÉDIO	40	849.625,00	27,22
ALTO	0	0,00	0,00
MUITO ALTO	0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os dados indicam uma resiliência considerável do setor agroalimentar em algumas regiões de Alagoas, refletindo uma capacidade de produção e de abastecimento relativamente estável, mesmo em contextos de estiagem. Entretanto, a presença de 27,22% da população em áreas de risco "Médio" revela que a variabilidade climática, particularmente durante chuvas intensas ou secas severas, pode gerar desequilíbrios no fornecimento de alimentos e impactar a segurança nutricional em várias comunidades.

5.3 Índice de Segurança Energética

Os impactos sobre a segurança energética se dividem em disponibilidade elétrica e acesso. A disponibilidade é avaliada com base na oferta e demanda, considerando os potenciais de geração de energia hidrelétrica, eólica e solar da região, além da demanda por resfriamento, especialmente pelo uso de aparelhos de ar-condicionado (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

O mapa de análise do Índice Segurança Energética para o risco de disponibilidade ($I_{E \text{ disponibilidade}}$) revela um valor de 0,31, uma vez que todo o estado apresenta o mesmo índice. A região é totalmente classificada como "Baixo" em termos de disponibilidade de energia elétrica. Tal situação evidencia a ausência de variações na geração de energia elétrica, ressaltando os impactos das mudanças climáticas na oferta e na demanda de eletricidade na região (ADAPTABRASIL MCTI, 2022).

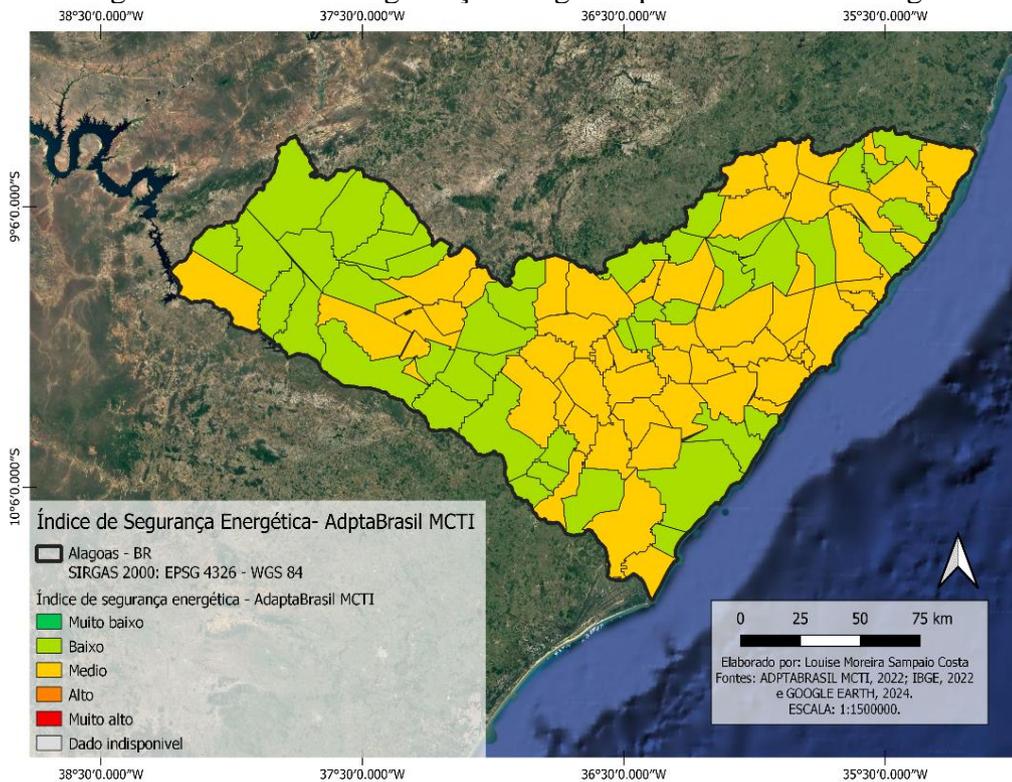
O índice de risco associado ao acesso à energia elétrica é objeto de análise, refletindo a influência dos indicadores que dizem respeito à exposição da população ao fornecimento desse

recurso, bem como ao risco de impactos decorrentes das mudanças climáticas na região (ADAPTABRASIL, 2022).

Com os valores de I_F disponibilidade e I_F acessibilidade, sendo, respectivamente, 0,31 e 0,48, o Índice de Segurança Energética (I_E) para o estado de Alagoas corresponde a 0,50, classificado como “Médio”.

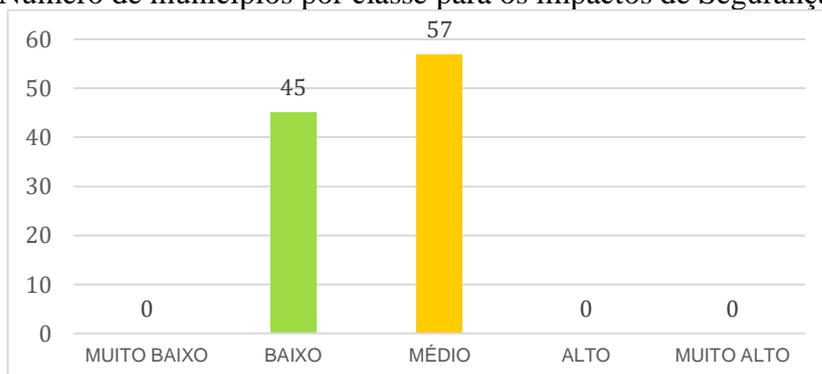
O mapa da Figura 10 ilustra a magnitude do I_E dentro do estado. A classificação “Médio” indica um risco moderado de impactos nos recursos energéticos da região, em função das mudanças climáticas. O panorama apresentado na Figura 11 revelou que 76,47% dos municípios foram classificados como “Médio” e 23,53% como “Baixo”.

Figura 10: Índice de Segurança Energética para o Estado de Alagoas



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 11: Número de municípios por classe para os impactos de Segurança Energética



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os principais fatores que influenciam o aumento do índice de impacto na disponibilidade elétrica incluem: o potencial de energia hidrelétrica, o potencial de energia eólica e o potencial de energia solar. Quanto ao risco de acesso, os fatores relevantes são: o PIB municipal per capita, a renda superior a dois salários-mínimos e a geração distribuída de eletricidade (ADAPTABRASIL MCTI, 2024).

Observou-se que 79,99% da população reside em municípios classificados como "Médio" em termos de risco para disponibilidade e acessibilidade à energia elétrica (Tabela 5). Essa alta porcentagem indica uma dependência significativa de infraestruturas e fontes de energia que podem ser afetadas por variações climáticas. A vulnerabilidade do setor é agravada pela baixa diversificação energética em algumas regiões, o que limita a capacidade de resposta a eventuais interrupções no fornecimento. Apenas 20,01% da população está em áreas de risco "Baixo", sugerindo que uma minoria conta com condições energéticas relativamente estáveis e menos suscetíveis a variações climáticas.

Tabela 5: Percentual do Índice de Segurança Energética

Classe de Risco	Número de Municípios	População Total da Classe	Percentual da População Total do Estado (%)
MUITO BAIXO	0	0,00	0,00
BAIXO	45	624.611,00	20,01
MÉDIO	57	2.497.027,00	79,99
ALTO	0	0,00	0,00
MUITO ALTO	0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

5.4 Índice do Nexso WEF no Estado de Alagoas

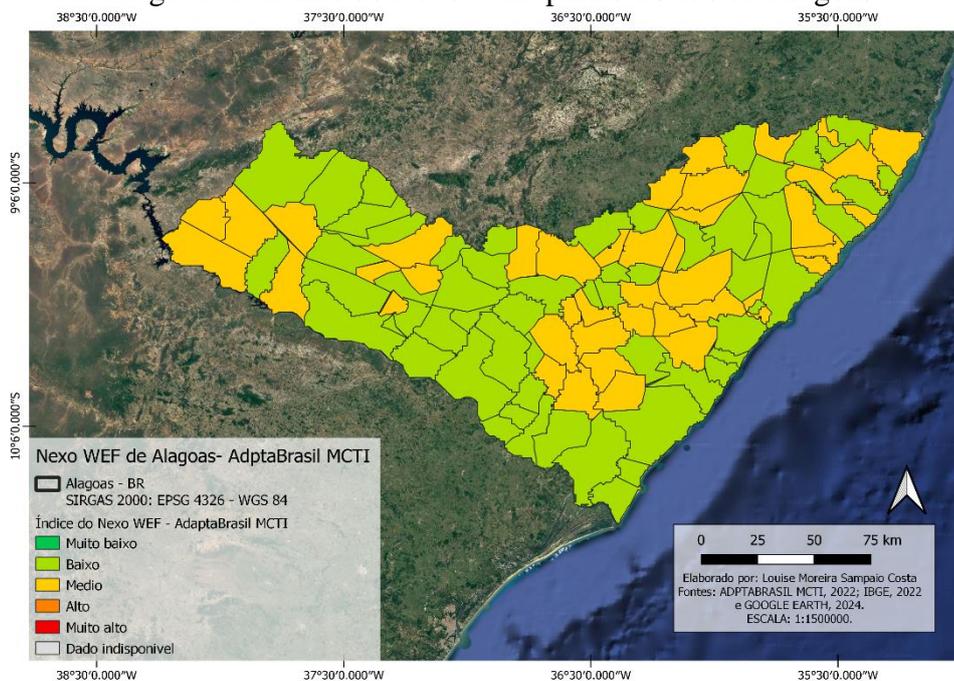
Para avaliar o Índice Geral do Nexso Água-Energia-Alimentos (I_{WEF}) no estado de Alagoas, foi aplicada uma média aritmética dos índices de segurança hídrica ($I_{W\text{Ajustado}}$), energética (I_E) e alimentar (I_F). O Índice de Segurança Hídrica foi obtido por meio da Equação 1, resultando em $I_W = 0,61$. Com esse valor, o índice ajustado foi calculado utilizando a Equação 3, o que resultou em $I_{W\text{AJUSTADO}} = 0,39$. Os índices de segurança energética e alimentar foram mantidos em $I_E = 0,5$ e $I_F = 0,47$, respectivamente. A média resultante desses valores, aplicada à fórmula abaixo resultou em:

$$I_{WEF} = \frac{I_W + I_E + I_F}{3} = 0,453.$$

Esse valor reflete uma condição de segurança moderada para Alagoas no contexto do nexso água-energia-alimentos, destacando áreas que apresentam resiliência, mas também sugerindo a necessidade de monitoramento e políticas de adaptação para enfrentar possíveis vulnerabilidades.

O índice correspondente ao Nexso água-energia-alimento sintetiza as relações entre segurança hídrica, energética e alimentar, facilitando a análise das interações do Nexso WEF. Com base nos valores obtidos, é possível classificar as interdependências em relação aos impactos das mudanças climáticas e aos riscos associados a esses três setores. Conforme as Figura 12 e Figura 13, a classificação dos municípios se dá aproximadamente por 56% “Baixo” e 44% “Médio”. O valor para este índice corresponde a 0,453, o que revela que o estado apresenta um risco "Baixo" de deterioração climática.

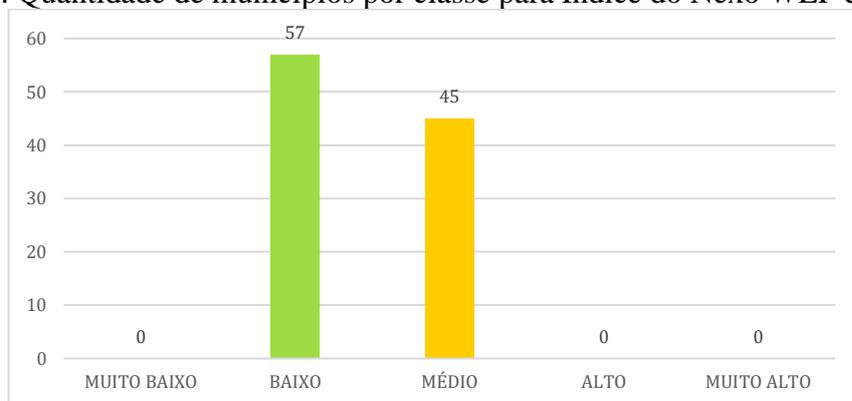
Figura 12: Índice do Nexo WEF para o Estado de Alagoas



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Essa classificação sugere que Alagoas possui uma capacidade relativamente equilibrada de sustentar seus recursos críticos, mesmo diante de desafios ambientais, mas ressalta a importância de políticas públicas integradas que abordem as áreas mais vulneráveis. A análise conjunta dos três setores proporciona uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de resiliência e sustentabilidade no estado, atendendo às demandas emergentes e mitigando os riscos das mudanças climáticas de forma mais eficaz.

Figura 13: Quantidade de municípios por classe para Índice do Nexo WEF em Alagoas



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os dados da Tabela 6, mostram que 57 municípios, equivalentes a 60,92% da população total do estado, estão em condição de risco “Baixo”. Este percentual indica que a maior parte

da população de Alagoas reside em áreas com um nível relativamente seguro de acesso e estabilidade nos setores de água, energia e alimentos, sugerindo uma resiliência bem estabelecida nessas regiões. A classificação "Baixo" aponta para a dificuldade em termos de disponibilidade e acesso a esses recursos essenciais, ainda que suscetível a ajustes pontuais para enfrentar desafios futuros.

Tabela 6: Percentual da População do Índice do Nexo WEF

Classe de Risco	Número de Municípios	População Total da Classe	Percentual da População Total do Estado (%)
MUITO BAIXO	0	0,00	0,00
BAIXO	57	1.901.813,00	60,92
MÉDIO	45	1.219.825,00	39,08
ALTO	0	0,00	0,00
MUITO ALTO	0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Outros 45 municípios, representando 39,08% da população total, encontram-se em condição “Médio”, o que revela uma necessidade de atenção em áreas específicas. Essa classificação indica que, embora a situação esteja em equilíbrio, esses municípios permanecem vulneráveis a oscilações climáticas e estruturais, especialmente em períodos de seca prolongada ou alta demanda energética. A condição “Médio” sugere uma resiliência moderada, que pode ser fortalecida com intervenções direcionadas para diversificar fontes de energia, melhorar a infraestrutura hídrica e adaptar práticas agrícolas às variações climáticas.

Logo, Alagoas possui um perfil geral favorável no contexto do nexo WEF, mas deve considerar estratégias para fortalecer as áreas classificadas como "Médio" para alcançar uma resiliência mais uniforme em todo o estado, garantindo a segurança dos recursos frente aos desafios climáticos emergentes.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho caracterizou o estado de Alagoas no contexto do Nexo Água-Energia-Alimentos (WEF), analisando a interdependência entre esses setores estratégicos com foco no desenvolvimento sustentável e nas adaptações necessárias frente às mudanças climáticas. A espacialização dos dados permitiu identificar áreas de vulnerabilidade e condições favoráveis que podem subsidiar políticas públicas voltadas à sustentabilidade e à resiliência regional.

No setor hídrico, a maioria dos municípios apresenta condições favoráveis. Aproximadamente 43,14% das áreas foram classificadas como "Baixo" e 1,96% como "Muito Baixo" em relação aos impactos da seca, indicando uma estabilidade hídrica geral. Entretanto, 53,92% das áreas permanecem em condição "Média", o que evidencia a necessidade de monitoramento contínuo e de ações preventivas para períodos de baixa precipitação.

Em relação à segurança alimentar, observou-se uma variação entre as condições durante períodos de seca e de alta pluviosidade. Durante a seca, 41,18% dos municípios ficaram na classificação "Muito Baixo" e 51,96% em "Baixo," o que reflete uma resiliência significativa e um abastecimento razoavelmente estável. Contudo, em períodos de chuva intensa, 59,80% dos municípios passaram para a classificação "Média" ou superior, com o Índice de Segurança Alimentar para esse período sendo 0,50. O índice geral de segurança alimentar aponta para uma condição equilibrada, mas destaca a necessidade de estratégias de resiliência para enfrentar os impactos de chuvas intensas sobre a produção e distribuição de alimentos.

A segurança energética revelou maiores vulnerabilidades, especialmente no que diz respeito à acessibilidade, indicando que, apesar de uma oferta razoavelmente estável, a capacidade de atender às demandas pode ser insuficiente em situações de crise. No tocante à acessibilidade, 96,08% dos municípios foram classificados como "Médio". Com isso, demonstra a necessidade urgente de diversificação e modernização da infraestrutura energética, especialmente para reduzir a dependência de fontes não-renováveis e aumentar a estabilidade do fornecimento.

Em síntese, os resultados indicam que Alagoas apresenta condições favoráveis para segurança hídrica e alimentar. Contudo, as vulnerabilidades observadas na segurança energética e os desafios associados aos períodos de chuva intensa reforçam a importância de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade e a resiliência no estado, garantindo um desenvolvimento alinhado às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ADAPTA BRASIL. **Documento teórico-metodológico para avaliação de risco climático no Setor Estratégico de Segurança Energética da plataforma ADAPTABRASIL MCTI - Versão 2.0.** 2023.

ADAM, David. **World population hits eight billion — here’s how researchers predict it will grow: United Nations model predicts a slower rate of population growth than was previously estimated.** *Nature*, v. 5, n. 8, p. 327-345, 15 nov. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Plano Nacional de Segurança Hídrica 2019.** Brasília: ANA, 2019.

ALLOUCHE, Jeremy; MIDDLETON, Carl; GYAWALI, Dipak. **The Water–Food–Energy Nexus: Power, Politics, and Justice.** *Water Alternatives*, v. 8, n. 1, p. 610-626, 2015.

ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. H. B.; ALVES, L. M.; ARCOVERDE, G. F. B.; TOLEDO, P. M. ADAPTABRASIL MCTI: **Uma plataforma para análise de impactos das mudanças climáticas no Brasil.** *Computação Brasil*, v. 1, n. 50, p. 10–13, 2023.

AMARAL, M. H. **O desafio de definir indicadores para explicar a sustentabilidade do nexos entre água, energia e alimentos na Macrometrópole Paulista.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2024: **Ano base 2023** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2024.

BAUDIN, T.; STELTER, R. **The rural exodus and the rise of Europe.** *J. Econ. Growth*, v. 27, p. 365–414, 2022.

BATISTA, Daniela Ferreira; ALBUQUERQUE, Tatiana Máximo Almeida. **Impacto da seca na agricultura dos Territórios Agreste Central, Alto Sertão e Centro-Sul de Sergipe.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 1, p. 81-88, mar. 2022.

BEZERRA, Mariana Silva; JACOB, Michelle Cristine Medeiros; FERREIRA, Maria Angela Fernandes; VALE, Diôgo; MIRABAL, Isabelle Ribeiro Barbosa; LYRA, Clélia de Oliveira. **Insegurança alimentar e nutricional no Brasil e sua correlação com indicadores de vulnerabilidade.** *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 10, p. 3833-3846, out. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 3.896, de 16 de outubro de 2020.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, nº 200, seção 1, p. 5, 19 out. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz Energética Nacional 2030** Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **5ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/5a-comunicacao-nacional-do-brasil-a-convencao-quadro-das-nacoes-unidas-sobre-mudanca-do-clima/view>. Acesso em: 04 mar. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Estratégia Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil para o período 2021-2031**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/estrategia-nacional-de-reducao-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa/view>. Acesso em: 04 mar. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA): 20 anos protegendo a Amazônia**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/programa-areas-protegidas-da-amazonia-arpa-20-anos-protetendo-a-amazonia/view>. Acesso em: 04 mar. 2024.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010. **Institui o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC 2, e dá outras providências**. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, nº 236, seção 1, p. 1-2, 10 dez. 2010.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. **Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências**. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, nº 62, seção 1, p. 1, 30 mar. 2017.

CALBO, José Henrique Tertulino. **Vulnerabilidade à seca agrícola no Brasil: uma análise a partir de indicadores de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa**. 2019. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2019.

CARMO, Túlio Flávio Rodrigues do; VALE, Diôgo; MARTINS, Ligia Silva; ALBUQUERQUE, Taciana Máximo Almeida; AMORIM, Guilherme Rodrigues de. **Análise da vulnerabilidade dos municípios do Território Sertão Sergipano aos impactos da seca**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 37, p. 1-14, dez. 2020.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Boletim de impactos de extremos de origem hidro-geo-climático em atividades estratégicas para o Brasil, 2013-13/11/2024: Ano 07, nº 72**. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/boletim-de-impactos/boletim-de-impactos-de-extremos-de-origem-hidro-geo-climatico-em-atividades-estrategicas-para-o-brasil-2013-13-11-2024-ano-07-no-72>. Acesso em: 01 dez. 2024.

CHRISTIAN, Arthur; CROUCHE, Michael; BARRETT, Chris. **Agriculture and Food Systems in Sub-Saharan Africa in a 4°C+ World**. In: **Climate Change and Food**

Systems: Global Assessments and Implications for Food Security and Trade. New York: Springer, 2021. p. 99-123.

COPPE/UFRJ. **Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Sumário Executivo da Série Relatórios de Sustentabilidade Energética.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/publicacoes/relatorios-de-sustentabilidade-energetica>. Acesso em: 08 mar. 2024.

CORREIA, Fábio Gonçalves. **Potencialização da Sustentabilidade e Resiliência na Matriz Energética Brasileira. 2022.** 87 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2022.

COSTA, Bruno Soares. **Resiliência do Sistema de Irrigação da Agricultura Familiar do Território do Alto Sertão do Alagoas frente às Mudanças Climáticas. 2021.** 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

COSTA, André Zélio da; NUNES, Danieli Valesca; MALATINSKY, Maíra; ELLERY, Wellington. **Análise da Relação entre a Irrigação e o Desenvolvimento Sustentável: Estudo de Caso em Propriedades Rurais do Semiárido Brasileiro.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 59, p. 139-157, jul. 2021.

CRUZ, Rafael Ferreira; AGUIAR, Priscilla Kézia; GOMES, Guilherme de Souza; SILVA, Paulo Renato Rodrigues da; BARBOSA, Ana Carolina. **Efeitos das mudanças climáticas na agricultura: revisão das evidências empíricas para o Brasil.** Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, v. 1, n. 2, p. 98-113, 2022.

DIAS, Márcio José de Lima; SANTOS, Maria das Graças dos. **A avaliação do risco de secas na agricultura familiar do Semiárido brasileiro: um estudo de caso no município de Inhapi (AL).** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 37, n. 1, p. 85-92, mar. 2022.

DOMENE, Mariana; et al. **Segurança alimentar e os desafios do crescimento populacional.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 61, n. 4, 2023.

DURAND, Anne; WANG, J; BIRR, D; CARRILLO, M. A; LIU, Z. **Assessment of crop yield responses to climate change and variability in Brazil.** International Journal of Agricultural Sustainability, v. 20, n. 3, p. 225-241, 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balço Energético Nacional (BEN) 2024.** Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/energia>. Acesso em: 01 dez. 2024.

FAGERHOLT, Elin; FJELDSTAD, Lars; DENSO, Terje; ORLANDO, R. **Efeitos das mudanças climáticas na agricultura familiar no Brasil: desafios e oportunidades.** Revista Brasileira de Economia e Sociologia, v. 80, n. 4, p. 579-596, 2021.

FALCÃO, Carla; MORAES, Cássio P. C.; MARRA, Natália M.; FERRAZ, Fabíola. **Efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura no Brasil: uma revisão. Brasileira de Agricultura Familiar**, v. 1, n. 1, p. 41-54, 2021.

FREIRE, Adriana Lopes; GONÇALVES, Renata Maria. **Qualidade do Solo em Sistemas de Produção: Um Estudo no Semiárido Brasileiro**. 2022. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

GARCIA, Angela Cristina; SANTOS, Vanessa Gabriela. Adaptação às Mudanças Climáticas na Agricultura Familiar: **Um Estudo de Caso no Nordeste do Brasil**. Revista de Estudos e Pesquisa em Administração, v. 1, n. 2, p. 85-99, 2021.

GIATTI, Leandro L.; GIULIO, Gabriela M. di. **O nexso água-energia-alimentos e o desenvolvimento sustentável**. 2023.

GONZÁLEZ, Antonio; MONTES, Luis; MUÑOZ, Juan. Impacto das alterações climáticas na produção agrícola na América Latina. **Agricultura e Desenvolvimento**, v. 35, n. 2, p. 189-204, 2020.

HERRERA-FRANCO, G. et al. Approach on water-energy-food (WEF) nexus and climate change: A tool in decision-making processes. **Environmental Development**, v. 100858, 2023.

HOFF, Holger. **Understanding the Nexus: Background Paper for the Bonn 2011 Nexus Conference**. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Acesso à energia elétrica nos domicílios**. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Relatório de 2023 sobre mudanças climáticas**, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR - IDEC. (2018). **Avaliação da qualidade do serviço de fornecimento de energia das concessionárias e permissionárias brasileiras**. São Paulo: IDEC, 2018.

JAGGER, P. et al. **O impacto das mudanças climáticas nas comunidades agrícolas do Brasil: um estudo com enfoque em gênero**. *Journal of Climate and Development*, v. 14, n. 1, p. 32-45, 2021.

KARTADO. **Matriz energética brasileira se torna mais suja por causa do gás fóssil**. Disponível em: <https://kartado.com.br/matriz-energetica-brasileira>. Acesso em: 01 nov. 2024.

LAZARO, L. L. B. et al. **Ten years of research on the water-energy-food nexus: an analysis of topics evolution**. *Frontiers in Water*, v. 4, 2022.

LEITE, Caroline de Almeida; OLIVEIRA, Marco Aurélio. **O papel da agricultura familiar na mitigação das mudanças climáticas no Brasil.** *Estudos Avançados*, v. 35, n. 101, p. 41-62, 2021.

MAIA, Renato S. **Análise de vulnerabilidade climática em pequenos agricultores do Semiárido: um estudo de caso na Região do Sertão de Pernambuco.** 2022. 95 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2022.

MARTINS, Amanda Ferreira; ROCHA, Josiane Lima da; PEREIRA, Everton de Oliveira; GOMES, Lúcio de Andrade; MOTA, Gabriela Figueiredo. **Vulnerabilidade à seca e insegurança alimentar em comunidades rurais do semiárido nordestino.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 38, n. 1, p. 27-39, mar. 2023.

MOTA, Mariana da Silva; SANTOS, Ana Beatriz dos; OLIVEIRA, André Lima de; SOUZA, Cláudia Dias de; SILVA, Ricardo da. **Efeitos das mudanças climáticas na agricultura familiar: um estudo sobre as práticas de adaptação no Semiárido.** *Estudos Avançados*, v. 36, n. 104, p. 123-140, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agenda2030/>. Acesso em: 09 nov. 2024.

ORIMOLOYE, I. R. (2022). **Agricultural Drought and Its Potential Impacts: Enabling Decision-Support for Food Security in Vulnerable Regions.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2022.

PEREIRA, Roberta N. de; SOUZA, João M. de. **Vulnerabilidade das comunidades de agricultura familiar às mudanças climáticas no Semiárido Brasileiro: desafios e perspectivas.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 39, p. 1-15, dez. 2023.

SANTOS, Raquel dos; NOGUEIRA, Thiago F.; FREITAS, L. A. de; BATISTA, J. A. de; VIEIRA, F. de S. **Vulnerabilidade à seca na agricultura familiar do Semiárido brasileiro: um estudo no Território Sertão do São Francisco.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 39, n. 3, p. 425-436, set. 2023.

SEGOVIA-HERNÁNDEZ, Juan Gabriel; CONTRERAS-ZARAZÚA, Gabriel; RAMÍREZ-MÁRQUEZ, César. **Sustainable design of water–energy–food nexus: a literature review.** *Royal Society of Chemistry*, 2023.

SIDRA - **Sistema IBGE de Recuperação Automática: Indicadores do Censo Demográfico 2022.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 nov. 2024.

SILVA, Anderson dos Santos; ALMEIDA, Marcio José de. **Estudo sobre o potencial de irrigação no Semiárido: uma análise do uso sustentável dos recursos hídricos.** *Revista de Agricultura*, v. 36, n. 1, p. 45-58, jan. 2022.

SOUZA, E. F. M. et al. **Capacitação e práticas de manejo sustentável na agricultura familiar do Semiárido: um estudo no estado de Pernambuco.** Revista de Agroecologia, v. 11, n. 1, p. 21-34, 2023.

Stanley, S. K., Hogg, T. L., Leviston, Z. e Walker, I. (2021). **Da raiva à ação: impactos diferenciais da eco-ansiedade, eco-depressão e eco-raiva na ação climática e no bem-estar.** J. Clim. Alterar Saúde, 1:100003.

TEIXEIRA, Jussara da Silva; SOUZA, Marcos L. **Efeito das mudanças climáticas nas práticas agrícolas no Nordeste brasileiro: uma revisão.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 39, n. 2, p. 275-290, jun. 2023. FapUNIFESP (SciELO).

UNITED NATIONS. **World population prospects 2022: summary of results.** Nova York: **United Nations Department of Economic and Social Affairs**, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/world-population-prospects-2022>. Acesso em: 01 out. 2024.

VIEIRA, Cassio; LEITE, André. **Adaptação da agricultura familiar às mudanças climáticas: análise de práticas e desafios no Semiárido brasileiro.** Estudos Avançados, v. 35, n. 101, p. 23-40, 2021.

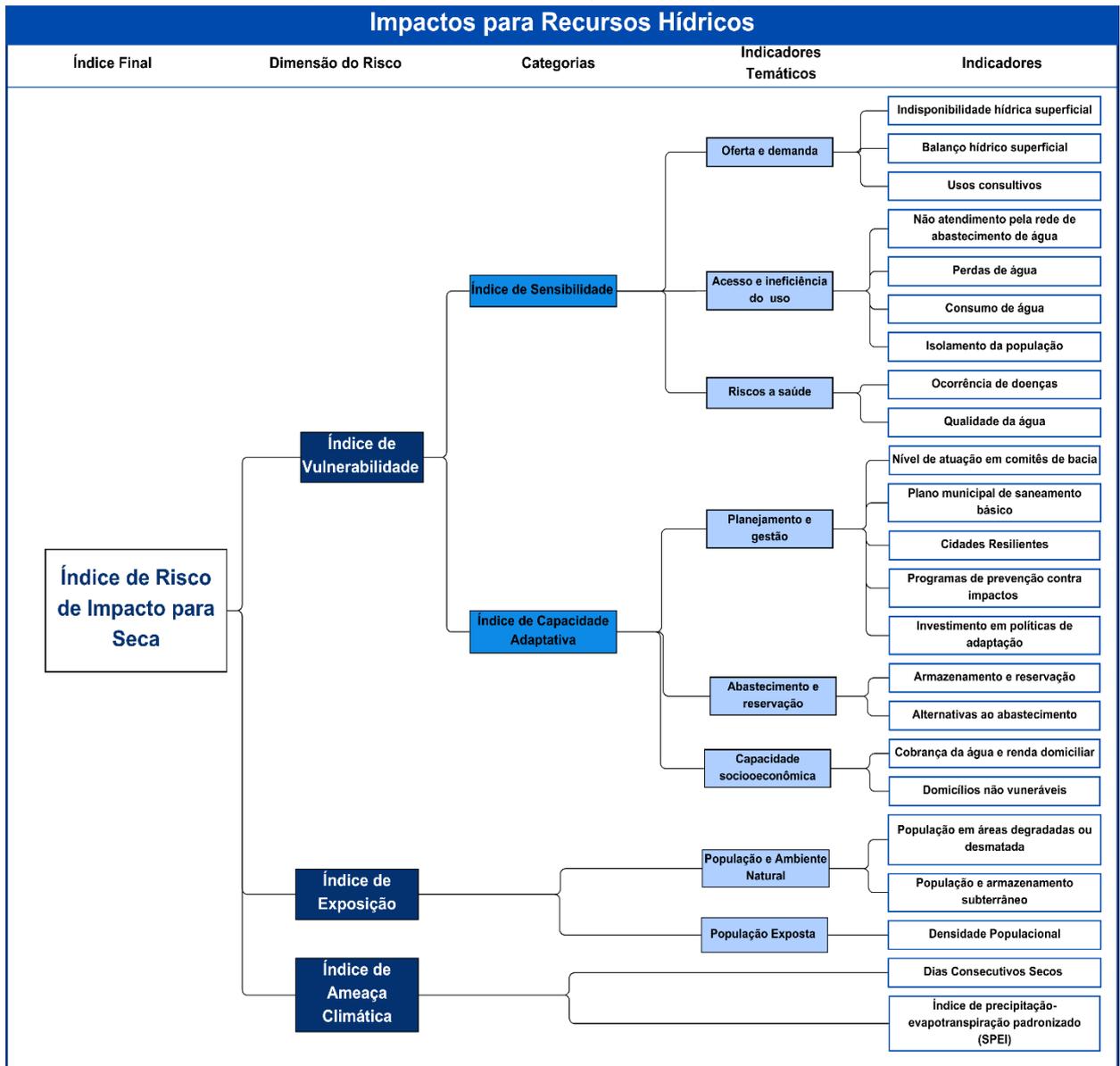
VIEIRA, João da Silva; MOREIRA, Pedro Henrique; REIS, Fabiane Costa. **Desafios da agricultura familiar no Semiárido brasileiro frente às mudanças climáticas: uma revisão de literatura.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2021

YAMAGUCHI, Thiago; TESSARO, Ana P. **Desafios e Oportunidades da Agricultura Familiar no Semiárido Brasileiro em Tempos de Mudanças Climáticas.** Revista Brasileira de Agricultura Familiar, v. 1, n. 1, p. 55-68, 2021.

ZONTA, André; SILVA, Emely L; CAETANO, Fabiane R. **Práticas de adaptação à mudança climática na agricultura familiar do Semiárido: um estudo de caso no estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Desenvolvimento Rural, v. 3, n. 2, p. 77-92, 2022.

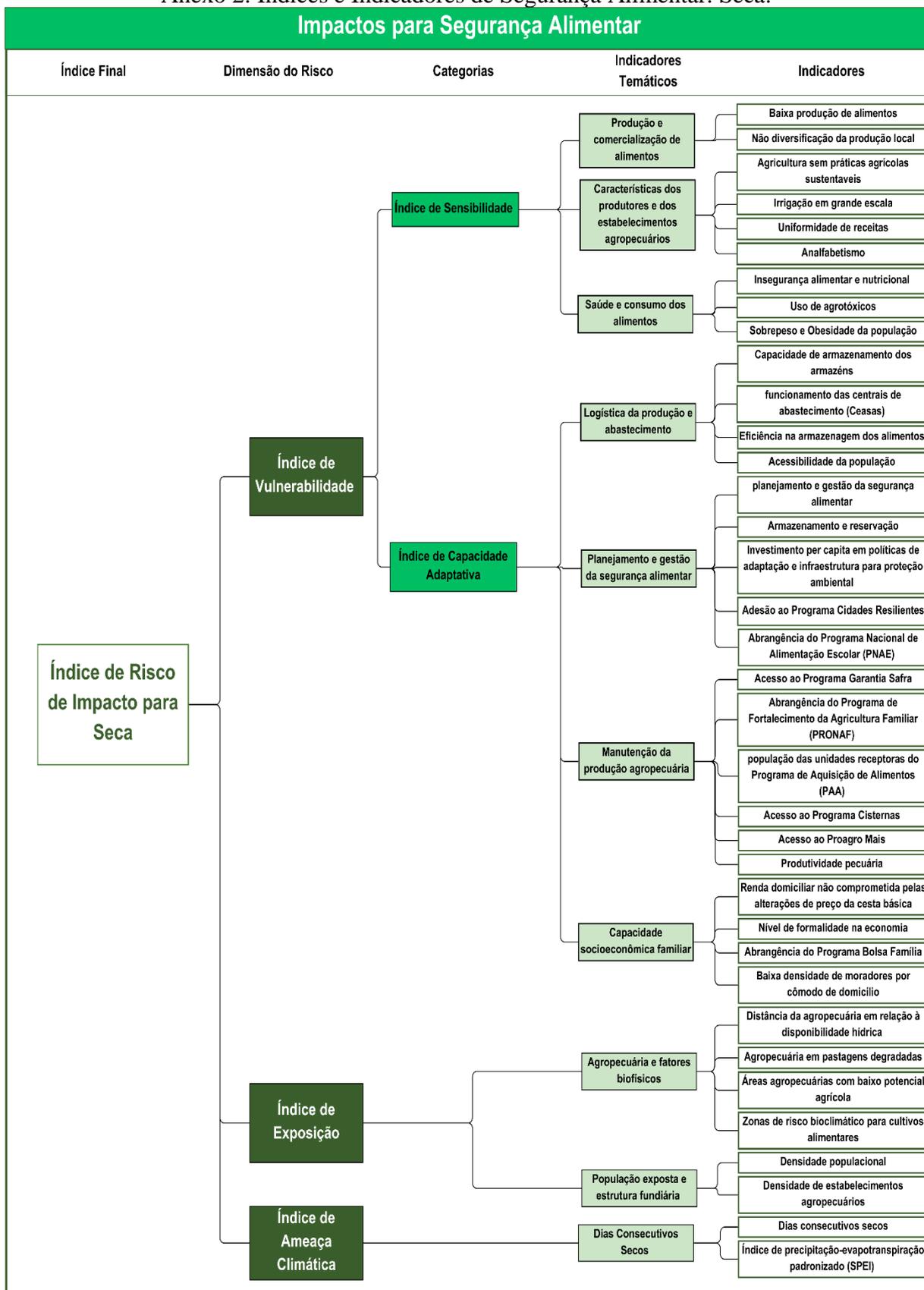
ANEXOS

Anexo 1: Índices e Indicadores de Recursos Hídricos.
Impactos para Recursos Hídricos



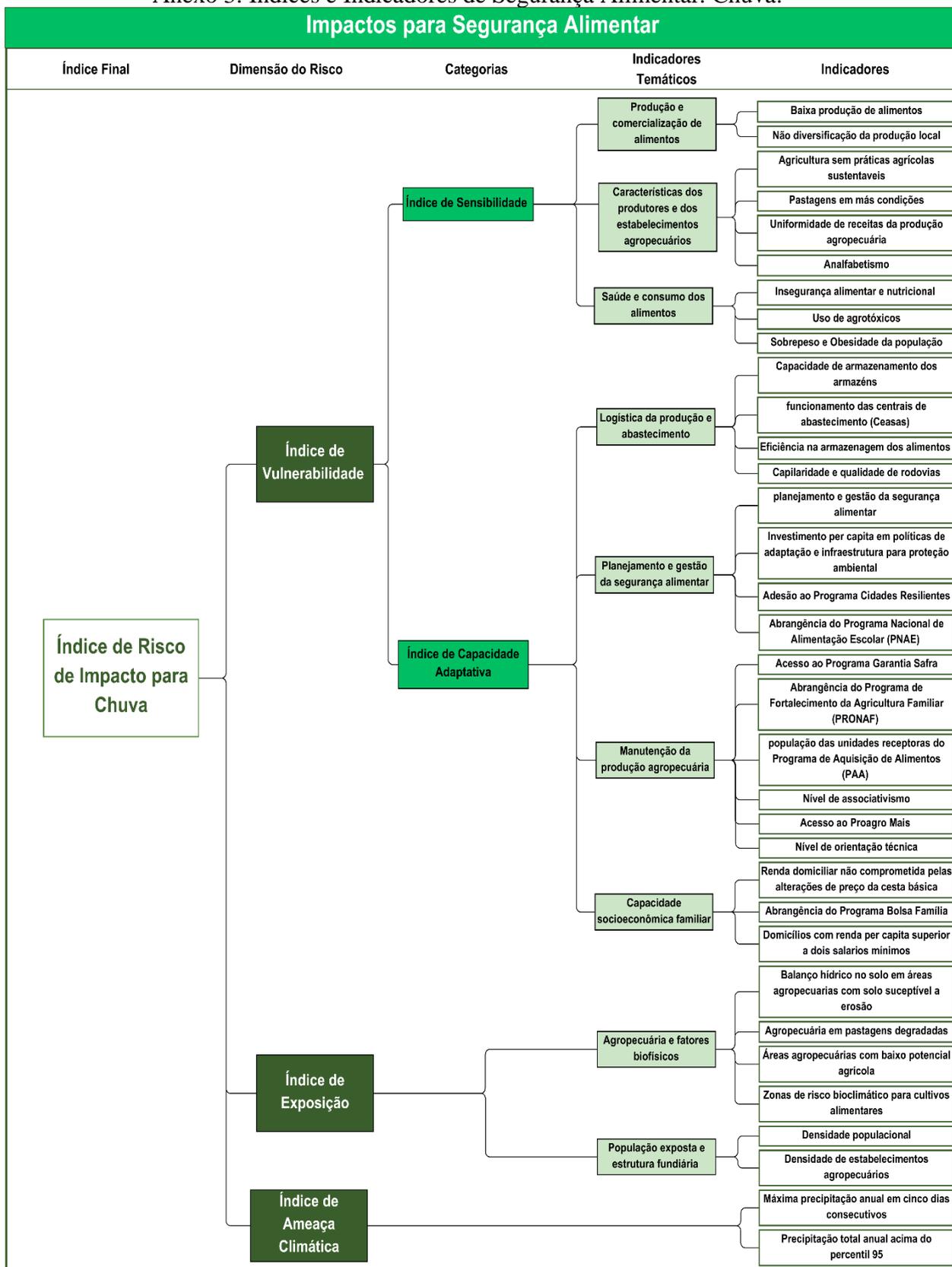
Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).

Anexo 2: Índices e Indicadores de Segurança Alimentar: Seca.



Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).

Anexo 3: Índices e Indicadores de Segurança Alimentar: Chuva.



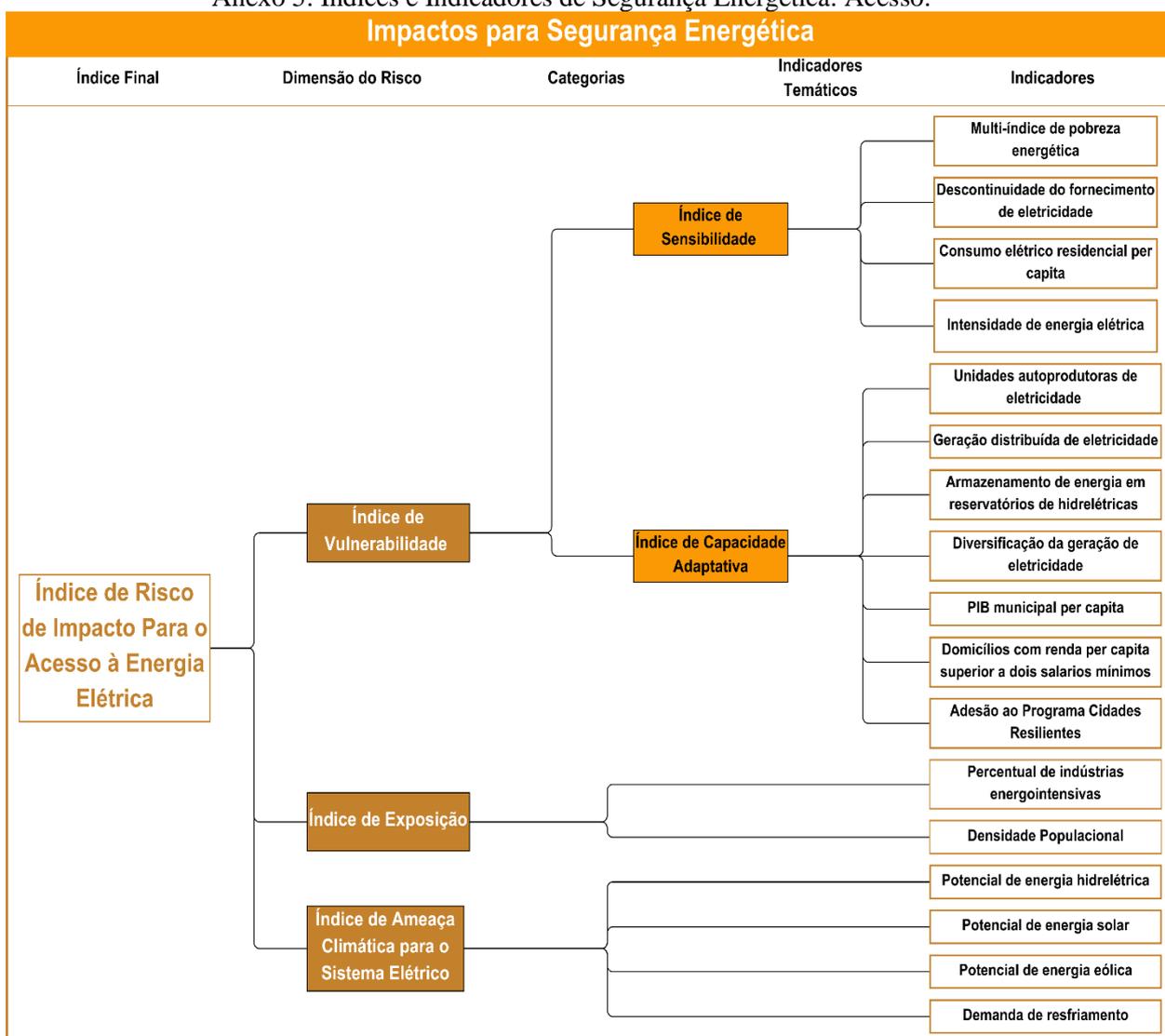
Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).

Anexo 4: Índices e Indicadores de Segurança Energética: Disponibilidade.



Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).

Anexo 5: Índices e Indicadores de Segurança Energética: Acesso.



Fonte: Adaptado de AdaptaBrasil MCTI (2024).