

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Tomás de Azevedo Júlio

**O POTENCIAL DA ECONOMIA CIRCULAR COMO ESTRATÉGIA PARA A
ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DA BEIRA
(MOÇAMBIQUE)**

Brasília
Novembro, 2025

Tomás de Azevedo Júlio

**O POTENCIAL DA ECONOMIA CIRCULAR COMO ESTRATÉGIA PARA A
ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DA BEIRA
(MOÇAMBIQUE)**

Tese apresentada ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como requisito para o exame de defesa do curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável.

Orientador:
Prof. Elimar Pinheiro do Nascimento

Brasília
Novembro, 2025

AGRADECIMENTOS

A jornada de doutoramento representou, para mim, uma experiência profundamente enriquecedora, marcada por intensos desafios, descobertas científicas e uma imersão significativa em contextos sociais diversos. Foi um percurso de trabalho árduo, perseverança e constante dedicação, permeado por vivências acadêmicas transformadoras que contribuíram de forma decisiva para o meu amadurecimento intelectual, ético e humano. Nesse processo, fortaleci-me enquanto pesquisador, ampliando não apenas minhas capacidades analíticas e críticas, mas também meu compromisso com a produção de conhecimento voltado à transformação social.

Neste momento de gratidão e reconhecimento, elevo meus sinceros agradecimentos, primeiramente, a Deus, pela bênção, proteção e força concedidas ao longo de toda a trajetória. Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, professor Elimar Pinheiro do Nascimento, por sua orientação criteriosa, generosa paciência e inestimável rigor científico, que foram fundamentais para a qualidade e solidez deste trabalho. Agradeço igualmente à minha família, pelo suporte afetivo constante, pela compreensão nos momentos mais exigentes e por serem sempre um porto seguro ao qual pude recorrer.

Estendo meus agradecimentos a todos os docentes do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS), da Universidade de Brasília, pelas valiosas contribuições intelectuais e pelo ambiente acadêmico estimulante que proporcionaram, com destaque para os professores Saulo Rodrigues Pereira Filho, José Augusto Leitão Drummond e a professora Cristiane Gomes Barreto. À Universidade de Brasília e ao CDS, expresso minha gratidão pelo apoio científico, logístico e financeiro que viabilizou, em grande medida, o desenvolvimento desta pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pelo financiamento essencial ao progresso do doutoramento.

Manifesto ainda meu reconhecimento à Universidade Zambeze, pela colaboração institucional e apoio logístico durante etapas importantes do estudo, bem como ao The French Institute of South Africa (IFAS), pelo suporte financeiro que contribuiu significativamente para a realização deste projeto.

A todos e todas que, de alguma forma, estiveram presentes nesta caminhada, registro meus mais profundos agradecimentos. Espero, sinceramente, poder continuar contando com vossa colaboração em futuras empreitadas acadêmicas e científicas, em prol de um conhecimento comprometido com a sustentabilidade, a justiça social e o desenvolvimento humano.

MEMORIAL DA TRAJETÓRIA DO AUTOR

Tomás de Azevedo Júlio é pesquisador na área de mudanças climáticas vinculado ao Centro de Estudos e Pesquisas Sociais (CEPES) da Universidade Zambeze, em Moçambique. É mestre em Gestão Integrada: Meio Ambiente, Riscos Laborais e Responsabilidade Social Empresarial pela Universidad de Concepción (UdeC), no Chile, título obtido com distinção máxima. Durante o mestrado, foi agraciado com o prêmio de melhor estudante de mestrado no âmbito do Programa de Bolsas Nelson Mandela, promovido pelo Ministério das Relações Exteriores do Chile, por meio da Agência Chilena de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (AGCID).

No decorrer de sua trajetória acadêmica, realizou intercâmbio de pesquisa na Universidad Autónoma de Madrid (Espanha), com foco na interface entre Economia Circular e Mudanças Climáticas. É graduado em Planeamento Turístico pela Escola Superior de Hotelaria e Turismo (ESHTI), da Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique).

Foi cofundador do projeto "Outros Olhares e Saberes sobre África", desenvolvido na Universidade de Brasília (UnB), e também do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas e Vulnerabilidade Socioecológica do CEPES/UniZambeze, do qual é atualmente o coordenador. É membro da Associação Encontro de Jovens Investigadores de Língua Portuguesa (EJICPLP) e atua, junto a representantes de Angola e Cabo Verde, na criação de *hubs* locais da Rede Global de Aplicações de Observação da Terra (fluentEO), coordenada pelo *Earth Observation Laboratory* da Universidade de Coimbra (Portugal). Durante sua pesquisa de doutorado, foi contemplado com financiamento para trabalho de campo por meio do Programa de Excelência Acadêmica (Proex/CAPES) e também selecionado, via concurso internacional, para receber recursos da IFAS-Research, sediada na África do Sul.

Ao longo dessa etapa, buscou consolidar uma formação multidisciplinar por meio de diversos cursos de capacitação, com destaque para: *Google Earth Engine* (análise de dados geoespaciais com linguagem *JavaScript*); *Google Earth Pro* (importação e exportação de dados SIG); QGIS (produção de mapas geoespaciais); Revisão sistemática de literatura; Análise de conteúdo; *Mendeley* (gerenciamento de citações e referências bibliográficas); *KoBoToolbox* (coleta de dados em campo, mesmo em ambientes sem acesso à internet); SPSS (análise estatística de dados); e Cienciometria (avaliação da produção científica).

Do ponto de vista acadêmico, apresenta uma trajetória marcada pela participação em diversos eventos científicos, nacionais e internacionais, nas áreas de sustentabilidade, mudanças climáticas e economia circular. Sua produção intelectual é ampla e diversificada, contemplando livros publicados, artigos científicos, resenha e resumos expandidos, entre os quais se destacam:

Livros

1. Manual de Responsabilidad Social (2021). Editora: Editorial Académica Española, ISBN-10: 6203873144, ISBN-13: 978-6203873146;
2. Cartas sobre África: Afroperspectivismo Sociocultural, Econômico, Ambiental e Político (2024). Editora: Schreiben, EISBN: 978-65-5440-263; e
3. A Crise Climática em Moçambique: Vulnerabilidades, Impactos e Adaptação. Schreiben, EISBN: 978-65-5440-528-7

Artigos científicos publicados

1. Um olhar para a ética ambiental a partir do modelo de turistificação de espaço das praias de Tofo, Barra, Tofinho e Rocha-Moçambique (2025). Revista Turismo Visão & Ação. DOI: [10.14210/tva.v27.20569](https://doi.org/10.14210/tva.v27.20569). Link: <https://periodicos.univali.br/index.php/rtva/search/search?query=%C3%89tica%20Ambiental>
2. Dimensões de vulnerabilidade socioecológica do Município da Beira, Moçambique, e alternativas de adaptação (2025). Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade. DOI: [10.21438/rbgas\(2025\)123104](https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123104). Link: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v12n31/v12n31a04a.html>
3. Jogos cooperativos orientados à agenda de adaptação climática: Uma estratégia para o enfrentamento dos eventos climáticos em Moçambique (2025). Revista Internacional em Língua Portuguesa. DOI: <https://doi.org/10.31492/2184-2043.RILP2025.47/pp.103-120>. Link: <https://www.rilp-aulp.org/index.php/rilp/article/view/485>
4. A agenda climática em África: Desafios e perspectivas (2024). Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade. Link: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/407>
5. Relação entre o homem e natureza: uma reflexão sobre a crise socioambiental (2024). Revista Ciência e Sustentabilidade. DOI: <https://doi.org/10.56837/ces.v8i1.1227>. Link: <https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/1227>
6. Refugiados do clima: Dinâmicas da mudança climática na África Subsaariana – Perspectiva para 2050 (2023). Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade. Link: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/326>
7. Desafios da agenda climática em Moçambique: uma abordagem a partir da dimensão do currículo escolar (2023). Revista DELOS. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n50-008>. Link: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/1181>
8. Elementos potenciadores da vulnerabilidade socioecológica: Uma análise a partir de fatores multi stressores centrados na região de África Subsaariana (2023). Revista: Boletim GeoÁfrica. DOI: <https://doi.org/10.59508/geoafrica.v2i8.63364>. Link: <https://revistas.ufrj.br/index.php/bg/issue/view/2764>
9. Dinâmicas da expansão urbana e implicações para a vulnerabilidade socioecológica no Município de Maputo (Moçambique). Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade. Link: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/564>

Artigos aceites, em processo de publicação

1. 50 anos de independência em Moçambique diante da crise climática: Dinâmicas de dupla exposição e caminhos de adaptação. AbeÁfrica: Revista da Associação Brasileira de Estudos Africanos
2. A urgência de uma Governança Ambiental Transnacional: Uma abordagem centrada na política da Agenda Climática Global. Revista Direito Ambiental e Sociedade

Resenha

- Uma reflexão sobre soluções dos wicked desafios da mudança climática (2023). Bill Gates. *¿Cómo evitar un desastre climático? Las soluciones que ya tenemos y los avances que aún necesitamos*. Barcelona: Rodesa, 2021. 318 p. ISBN: 978-84-01-02516-7. Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade. Link: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/301>

Resumo Expandido Publicado

- Análise integrada da gestão de Recursos hídricos na bacia de Limpopo: caso do território de Moçambique. XXIV Encontro da Rede de Estudos Ambientais dos Países de Língua Portuguesa – REALP, realizado de 25 a 29 de setembro de 2023, na Universidade Federal de Pernambuco

Resumo Expandido Aceite, em processo de Publicação

- A urgência do fundo de perdas e danos para a governança ambiental da região da pan-amazônia no contexto da justiça climática. Fórum Amazônico de Relações Internacionais (FARI), Belém/Pará, 5 a 8 de novembro de 2025.

RESUMO

O Município da Beira (MB), em Moçambique, enfrenta desafios relacionados à vulnerabilidade em seu sistema socioecológico. Esse problema decorre da configuração do seu território, que apresenta características de peculiar vulnerabilidade: (i) a ocorrência intensa de eventos climáticos extremos, (ii) a exposição das populações, ecossistemas e infraestruturas, e (iii) a vulnerabilidade dos sistemas humanos e naturais locais. Essa vulnerabilidade é potencializada pela gestão de resíduos sólidos baseada na lógica do modelo de economia linear, que tem resultado em depósitos de enormes quantidades de resíduos sólidos ao longo do seu sistema de drenagem (principal infraestrutura do município para a gestão das águas pluviais), impedindo o normal escoamento das águas em períodos chuvosos. Este modelo conduz à ineficácia do sistema de drenagem das águas pluviais, gerando impactos negativos sobre a vida cotidiana dos seus habitantes, haja vista as frequentes enchentes e inundações que invariavelmente têm gerado danos aos sistemas humanos e naturais. Nessa lógica, o estudo assenta o seu escopo metodológico na avaliação das potencialidades da economia circular como estratégia de adaptação climática no Município da Beira (MB). A metodologia adotada nesta pesquisa está centrada no *método Process Tracing*, assentes em três mecanismos causais: (1) diagnóstico da vulnerabilidade socioecológica (VSE); (2) nível de implementação da economia circular (EC); e (3) potencial da economia circular para a redução da vulnerabilidade socioecológica. A pesquisa incluiu igualmente a coleta de dados primários no campo por meio de entrevistas e observações, visando aferir a magnitude da vulnerabilidade socioecológica e o nível de implementação da economia circular, como estratégia de adaptação climática. O estudo conclui que apesar das potencialidades teóricas, normativas e tecnológicas que sustentam a proposta da economia circular, sua funcionalidade como mecanismo de adaptação climática no município encontra-se profundamente condicionada por um conjunto de desafios estruturais, institucionais e políticos, a destacar: a alta taxa de informalidade da economia; limitada capacidade técnica e de governança das empresas locais para liderar processos de reestruturação produtiva sustentáveis; déficit de consciência ambiental nos diferentes segmentos sociais; ausência de marcos regulatórios que abordem exclusivamente os mecanismos de transição da economia linear para circular; e ausência de linhas de investimento e/ou financiamento público para tecnologias circulares. A economia circular, neste contexto, não é apenas uma alternativa técnica ou normativa, mas uma solução para um problema perverso, complexo e multiescalar, cuja resolução exige transformações profundas no modelo de desenvolvimento vigente.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Economia circular. Adaptação climática.

ABSTRACT

The municipality of Beira (MB), in Mozambique, faces challenges related to the vulnerability of its socio-ecological system. This problem stems from the configuration of its territory, which presents characteristics of unique vulnerability: (i) the intense occurrence of extreme weather events, (ii) the exposure of populations, ecosystems, and infrastructure, and (iii) the vulnerability of local human and natural systems. This vulnerability is exacerbated by solid waste management based on the logic of the linear economic model, which has resulted in the deposit of enormous quantities of solid waste along its drainage system (the municipality's main infrastructure for stormwater management), preventing normal water flow during rainy periods. This model leads to the ineffectiveness of the stormwater drainage system, generating negative impacts on the daily lives of its residents, given the frequent floods that have invariably caused damage to human and natural systems. In this context, the study's methodological scope is based on assessing the potential of the circular economy as a climate adaptation strategy in the municipality of Beira, MB. The methodology adopted in this research is centered on the Process Tracing method, based on three causal mechanisms: (1) diagnosis of socio-ecological vulnerability (SEC); (2) level of implementation of the circular economy (CE); and (3) the potential of the circular economy to reduce socio-ecological vulnerability. The research also included the collection of primary data in the field through interviews and observations, aiming to assess the magnitude of socio-ecological vulnerability and the level of implementation of the circular economy as a climate adaptation strategy. The study concludes that despite the theoretical, normative, and technological potential supporting the circular economy proposal, its functionality as a climate adaptation mechanism in the municipality is profoundly conditioned by a set of structural, institutional, and political challenges, notably: the high rate of informality in the economy; limited technical and governance capacity of local companies to lead sustainable productive restructuring processes; a lack of environmental awareness across different social segments; a lack of regulatory frameworks that exclusively address the mechanisms of transition from the linear to the circular economy; and a lack of investment and/or public financing lines for circular technologies. The circular economy, in this context, is not merely a technical or normative alternative, but a perverse, complex, and multi-scale problem whose resolution requires profound transformations in the current development model.

Keywords: Solid waste. Circular economy. Climate adaptation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de drenagem para escoar águas pluviais dos bairros do Município da Beira para o mar	2
Figura 2 - Vista aérea do canal de escoamento das águas pluviais para o mar no Município Beira.....	3
Figura 3 – Aspecto de grande volume de resíduos sólidos presente no sistema de drenagem e do trabalho para sua remoção, para garantir o escoamento das águas pluviais	3
Figura 4 - Mapa de localização do Município da Beira.....	11
Figura 5 - Áreas inundáveis do Município da Beira	14
Figura 6 - Síntese da estrutura do procedimento metodológico da pesquisa, baseado em <i>Process Tracing</i>	27
Figura 7 - Litoral do Município da Beira, parcialmente destruída pela invasão das águas do mar.	30
Figura 8 - Inundação no Município da Beira, depois da passagem de um ciclone.....	30
Figura 9 - Estrutura das receitas do Município da Beira	34
Figura 10 - Estrutura das despesas do Município da Beira.....	35
Figura 11 – Renda média do Município da Beira	44
Figura 12 - Densidade populacional dos bairros de Nhangau e Munhava do Município da Beira	44
Figura 13 – Tipos de assentamentos no Município da Beira	45
Figura 14 - Inadequação de sistema de esgoto do Município da Beira	46
Figura 15 – Sistema de esgoto nos bairros de Nhangau e Munhava	46
Figura 16 - Características dos assentamentos <i>subnormais</i> nos bairros de Nhangau e Munhava	47
Figura 17 - Funcionamento do sistema de esgoto dos bairros de Nhangau e Munhava.....	48
Figura 18 - Grau de escolaridade nos bairros de Nhangau e Munhava	48
Figura 19 - Mapa de declive topográfico do Município da Beira.....	50
Figura 20 - Dinâmica de uso da terra no Município da Beira.....	51
Figura 21 - Mapa de Índice de Vegetação (NDVI) do Município da Beira	52
Figura 22 - Mapa de características da vegetação do Município da Beira	53
Figura 23 - Precipitação do Município da Beira (2012 - 2022).....	54
Figura 24 - Análise da variação da precipitação no Município da Beira (2012 - 2022).....	55
Figura 25: Anomalias de precipitação no Município da Beira (1981-2024)	56

Figura 26 - Temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)	58
Figura 27 - Variação da temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)	59
Figura 28 - Resumo da variação de temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)	60
Figura 29: Crescimento da área urbana do Município da Beira (1980 e 2025).....	62
Figura 30 - Coleta de resíduos nos bairros de Nhangau e Munhava	87
Figura 31 - Separação de resíduos em domicílios	87
Figura 32 - Reciclagem e/ou reutilização de resíduos em domicílios	88
Figura 33 - Aspectos de resíduos sólidos armazenados no MB, prontos para exportação para a China.....	97
Figura 34 - Percentual de associações que fazem o reaproveitamento de resíduos sólidos	98
Figura 35 – Condições de trabalho dos catadores de lixo no Município da Beira.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - Indicadores do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica.....	17
Tabela 3 - Indicadores do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica.....	19
Tabela 4 - Indicadores do Índice de Suscetibilidade Biofísica às Inundações	20
Tabela 5 - Parâmetros classificatórios do Índice de VSE.....	21
Tabela 1 - Embasamento teórico das hipóteses	24
Tabela 6 - População do município	31
Tabela 7 - Impacto de eventos climáticos sobre a população	32
Tabela 8 - Eventos climáticos ocorridos no município entre 2012 e 2022.....	61
Tabela 9 - Análise de índice de vulnerabilidade socioeconômica	64
Tabela 10 - Análise de índice de suscetibilidade.....	65
Tabela 11 - Estratégia de hierarquia da circularidade das matérias.....	74
Tabela 12 - Síntese dos instrumentos normativos e estratégicos relacionados a EC.....	85

LISTA DE SIGLAS

AAC – Agenda da AC

AC – Adaptação Climática

CMB – Conselho Municipal da Beira

EC – Economia Circular

EL – Economia Linear

EMF - Ellen MacArthur Foundation

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique

INE – Instituto Nacional de Estatística

INGC – Instituto Nacional de Gestão das Calamidades

INGD - Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

MB – Município da Beira

SDAP – Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

VSE – Vulnerabilidade Socioecológica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO.....	7
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.3	JUSTIFICATIVA.....	8
2	METODOLOGIA.....	10
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	10
2.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO GERAL DA PESQUISA.....	11
2.2.1	Lógica metodológica de cada mecanismo causal	15
2.2.2	Hipóteses da pesquisa	24
2.2.3	Hipóteses específicas por mecanismo causal.....	26
3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.1	ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	30
3.2	ASPECTOS ECONÔMICOS	33
4	RESULTADO E DISCUSSÃO DOS MECANISMOS CAUSAIS DA PESQUISA	36
4.1	MECANISMO CAUSAL 1: ANÁLISE DA VSE DO MB (ARTIGO 1).....	36
4.1.1	Breve contextualização	37
4.1.2	Referencial metodológico	38
4.1.3	Referencial teórico.....	39
4.1.4	Resultados e discussão.....	43
4.1.5	Notas de conclusão	66
4.2	MECANISMO CAUSAL 2: NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO MUNICÍPIO BEIRA (ARTIGO 2).....	68
4.2.1	Breve contextualização	69
4.2.2	Referencial metodológico	69
4.2.3	Referencial teórico.....	70
4.2.4	Resultados e discussão.....	82
4.2.5	Notas de conclusão	102
4.3	MECANISMO CAUSAL 3: POSSIBILIDADES DE CONTRIBUIÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR PARA A REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA (ARTIGO 3).....	104
4.3.1	Breve contextualização	105
4.3.2	Referencial metodológico	105
4.3.3	Referencial teórico.....	106

4.3.4	Resultados e discussão.....	107
4.3.5	Notas de conclusão	111
5	CONCLUSÃO FINAL DA PESQUISA	113
5.1	VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA (VSE).....	113
5.2	NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR (EC).....	113
5.3	CONTRIBUIÇÕES POTENCIAIS DA EC NA REDUÇÃO DA VSE	114
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
5.5	TENDÊNCIA PARA PESQUISAS FUTURAS.....	116
6	REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

A Vulnerabilidade Socioecológica (VSE) afeta muitos municípios da África Subsaariana. O Município da Beira (MB) em Moçambique, não é uma exceção. É um território caracterizado por uma dupla exposição, afetado por estressores climáticos e não climáticos (O'Brien *et al.*, 2004; O'Brien, Karen, Robin M, 2008). Essa região tornou-se, nos últimos anos, centro de vários fenômenos meteorológicos severos, com particular destaque para os ciclones e inundações (INAM¹, 2022). De 2018 a 2023, o município foi afligido por seis ciclones (Fredy, Gombe, Chalane, Eloise, Guambe e Idai), com magnitudes de ventos que variaram de 110 a 230 km/hora (INAM, 2024). O destaque foi o ciclone Idai, cuja intensidade de ventos atingiu 230 km/hora, e cuja a precipitação acumulada chegou a 214.5 mm em apenas 1 dia (INAM, 2024). O evento, de categoria 3, resultou um prejuízo financeiro avaliado em 3 bilhões de dólares, a morte de 602 pessoas, 1.641 pessoas afetadas, 3.359 salas de aula destruídas e mais de 200.000 habitações destruídas (INGC², 2019). Ele foi considerado o fenômeno climático mais devastador de todo o Hemisfério Sul em 2019 (Germanwatch, 2021). Dos 56 ciclones e tempestades tropicais que passaram pelo canal de Moçambique entre 1980 e 2007, 15 (25%) assolaram a costa de Moçambique e 10 afetaram o Município da Beira (MB) (Coimbra, 2012).

As constantes inundações, são também um desafio estruturante para o município. De 2013 a 2022, ele registrou 10 inundações causadas por ciclones, chuvas fortes e frentes frias, com quantidades acumuladas de precipitação que variam entre 103.6 mm e 295.1 mm em 24 horas (INAM, 2024). As precipitações médias mensais crescem substancialmente desde 2012 (195.3 mm), especialmente em 2019, 2020 e 2021, com 608.2 mm, 610.8 mm e 611.9 mm, respectivamente (INAM, 2024). Entretanto, projeções desenvolvidas pela *Climate Center*, (2021), relativas às cidades costeiras a nível planetário, indicam que o MB poderá perder parte significativa do seu território entre 2021 e 2050, devido à elevação do nível do mar, se não forem adotadas medidas estruturantes de adaptação sustentável (Eriksen; Brown, 2011).

Essa tendência de exposição climática é agravada pelas características de sensibilidade territorial. O município está localizado abaixo do nível médio das águas do mar, têm solos marcadamente pantanosos e tem grande parte da sua população vivendo em precárias condições socioeconômicas (Ministério de Terra e Ambiente, 2020 Norwegian Refugee Council, 2021). A sensibilidade territorial é potencializada também pela dinâmica de ocupação

¹ Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique

² Instituto Nacional de Gestão das Calamidades

espacial e gestão insustentável de resíduos sólidos. Nos últimos 10 anos, assistiu-se a uma expansão desordenada do processo de urbanização em áreas sensíveis a inundações (Ministério de Terra e Ambiente, 2020). Esse fenômeno resultou no aumento de inundações e no dilema de gestão de resíduos sólidos.

Essa conjugação da exposição climática com a sensibilidade territorial debilita de certa forma, a capacidade adaptativa ou resiliência climática do município, aumentando a sua VSE. Em decorrência desse quadro, o município apresenta elevado nível de risco, resultante da combinação entre alta exposição e acentuada vulnerabilidade (IPCC³, 2021), condição que perpetua ciclos recorrentes de deterioração de seus já deficitários indicadores de desenvolvimento socioeconômico e compromete, de forma significativa, o avanço rumo ao cumprimento das metas estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Foi no contexto dessa configuração crítica de vulnerabilidade socioecológica que, em 2018, o município concluiu e inaugurou o Sistema de Drenagem de Águas Pluviais (SDAP). A infraestrutura, cujas obras foram iniciadas em dezembro de 2015, representou um investimento aproximado de 50 milhões de dólares norte-americanos, financiado conjuntamente pelo Governo de Moçambique e pelo Banco Mundial. A finalidade era a de desempenhar a função de “pulmão” ou “metabolismo” do município, no processo da Adaptação Climática (AC), escoando toda a água que cai ao longo dos bairros para o mar em períodos chuvosos (Figuras 1 e 2). A construção do SDAP consistiu na reabilitação de 11,5 km de valas de drenagem, na edificação de seis estações de controle de cheias equipadas com 29 comportas automatizadas e na criação de uma bacia de retenção com a capacidade para 175.000m³ (Sebastião, 2021).

Figura 1 - Sistema de drenagem para escoar águas pluviais dos bairros do Município da Beira para o mar



Fonte: Autores (2018)

³ Intergovernmental Panel on Climate Change

Figura 2 - Vista aérea do canal de escoamento das águas pluviais para o mar no Município Beira



Fonte: Autores (2018)

Entretanto, conforme evidenciado na Figura 3, vemos que, após aproximadamente sete anos desde a inauguração do sistema, a sua utilização de forma ambientalmente sustentável ainda é um desafio persistente e complexo. Uma parcela expressiva da sua extensão continua a ser impactada pelo acúmulo significativo de resíduos sólidos urbanos, o que compromete diretamente sua funcionalidade e longevidade. Isso têm três consequências principais: (i) a obstrução do fluxo hídrico, sobretudo durante o período chuvoso, dificultando o escoamento eficiente das águas pluviais e contribuindo para alagamentos localizados; (ii) o aumento dos encargos financeiros e operacionais por parte das autoridades municipais, que precisam realizar ações contínuas e dispendiosas de remoção de resíduos e manutenção do sistema; e (iii) a aceleração da degradação estrutural do sistema, em virtude do constante acúmulo de resíduos, que prejudica sua integridade física e compromete sua durabilidade ao longo do tempo.

Figura 3 – Aspecto de grande volume de resíduos sólidos presente no sistema de drenagem e do trabalho para sua remoção, para garantir o escoamento das águas pluviais



Fonte: Sebastião, André (2021)

Importa destacar que o MB gera uma média diária de aproximadamente 1.336 toneladas de resíduos sólidos, o que totaliza cerca de 488.976 toneladas/ano, conforme dados oficiais da Câmara Municipal da Beira (CMB, 2023). No entanto, uma parcela significativa desse volume não é devidamente coletada pelos serviços públicos de coleta e gestão de resíduos, tampouco é encaminhada para cadeias de reciclagem ou processos de reutilização. Tal situação revela uma lacuna estrutural na política de manejo de resíduos sólidos urbanos, acarretando sérios desafios para a sustentabilidade socioecológica da cidade. A incapacidade de integrar eficientemente geração, coleta, reaproveitamento (logística reversa) e destino correto dos resíduos contribui para a degradação ambiental, acentua riscos à saúde pública e compromete os esforços locais rumo à consolidação de uma Economia Circular (EC) efetiva e inclusiva.

É relevante destacar que, dentre o volume total de resíduos sólidos urbanos gerados no município, uma fração significativa é composta por garrafas de politereftalato de etileno (PET), oriundas principalmente do consumo de água mineral engarrafada. Essa realidade está intimamente associada a uma percepção amplamente disseminada entre os munícipes, sobre a suposta má qualidade da água distribuída pela rede pública de abastecimento.

Tal percepção, embora amplamente difundida, tem sido sistematicamente contestada pela empresa pública responsável pelo fornecimento de água. Ela assegura que o produto ofertado à população atende aos padrões físico-químicos estabelecidos por normativas nacionais e internacionais de potabilidade. Ainda assim, a desconfiança persiste, especialmente entre os segmentos populacionais de renda média, que cada vez mais optam pelo consumo de água mineral engarrafada — fenômeno que, por sua vez, contribui para o incremento do volume de resíduos plásticos, em especial das embalagens descartáveis. Essa tendência evidencia um desafio multifacetado que envolve não apenas questões ambientais, com o aumento da geração de resíduos plásticos, mas também aspectos socioculturais e institucionais relacionados à confiança nas instituições públicas e à percepção populacional de risco sanitário.

Por outro lado, o INE⁴ prevê que nos próximos 30 anos a população urbana do município se duplique (Instituto Nacional de Estatística, 2017), criando uma demanda crescente pelos serviços ecossistêmicos de provisão e de recreação. Isso poderá contribuir para a geração de mais resíduos sólidos, desafiando os limites do atual modelo de produção e consumo, baseado em Economia Linear (EL).

Diante desse contexto problemático de sustentabilidade, a pesquisa pressupõe que uma alternativa para tornar o território do MB mais resiliente, do ponto de vista de sustentabilidade

⁴ Instituto Nacional de Estatística

socioecológica, seria mudar o atual modelo linear de produção e consumo por um modelo circular, com o reaproveitamento comercial/industrial dos resíduos e prolongamento do seu ciclo de vida.

Estudos recentes mostram que o descarte de resíduos em áreas sujeitas a alagamentos compromete a funcionalidade da drenagem urbana e aumenta a carga de poluentes transportados pelas cheias, sobretudo em assentamentos informais de cidades costeiras do Sul Global (Triakha, 2022). Nesse contexto, a economia circular (EC) oferece um quadro teórico e prático particularmente promissor ao substituir a lógica linear “extrair–produzir–descartar” por sistemas regenerativos, baseados no redesenho de produtos e cadeias de valor, na extensão da vida útil dos materiais e na reintrodução de resíduos como insumos em ciclos produtivos, com co-benefícios claros para mitigação e adaptação climática (EMF⁵, 2021). A literatura internacional demonstra que estratégias circulares em gestão de resíduos – como prevenção na fonte, reutilização, reciclagem, compostagem e aproveitamento energético – podem reduzir emissões de gases de efeito estufa, custos municipais e, simultaneamente, aumentar a resiliência urbana ao evitar o acúmulo de lixo em vias públicas, canais de drenagem e zonas de maré, o que é crítico em cidades costeiras de países em desenvolvimento (Xocaira *et al.*, 2024).

As contribuições de Patrícia Guarnieri são centrais para consolidar esse diálogo entre economia circular e logística reversa (LR): sua obra sobre logística reversa como busca de equilíbrio econômico e ambiental, bem como os trabalhos que detalham a LR como instrumento estratégico para a sustentabilidade e para a operacionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, mostram como fluxos de retorno de embalagens, resíduos eletroeletrônicos, orgânicos e outros materiais podem ser organizados sob o paradigma da responsabilidade compartilhada, gerando valor econômico, inclusão de catadores e redução de passivos ambientais (Guarnieri, 2011). Isso abre espaço para compreender a logística reversa não apenas como mecanismo de cumprimento regulatório, mas como infraestrutura socioeconômica fundamental para cidades circulares e adaptativas: ao estruturar sistemas de coleta seletiva, triagem, reaproveitamento e compostagem, as práticas de LR e EC reduzem o volume de resíduos que alcança valas, canais e rios urbanos, minimizando a obstrução da drenagem e, portanto, a profundidade e frequência das inundações pluviais e costeiras – um benefício particularmente relevante em cidades litorâneas de baixa altitude, como Beira (UN-Habitat, 2025).

⁵ Ellen MacArthur Foundation

No caso específico de Beira, a literatura sobre o pós-ciclone Idai destaca que, embora os investimentos em macro e microdrenagem tenham reduzido significativamente o risco de inundação em áreas reabilitadas, a gestão deficiente de resíduos sólidos continua a comprometer a eficiência do sistema, exigindo soluções que articulem engenharia, infraestrutura verde e governança dos resíduos (Macamo, 2021). É precisamente nesse ponto que a presente investigação centrada na análise do potencial de economia circular na contribuição para a agenda de adaptação climática no município da Beira, se torna inovadora e preenche uma lacuna relevante na literatura internacional: em vez de tratar a economia circular apenas como estratégia de competitividade ou de mitigação de emissões – enfoque dominante em muitos estudos do Norte Global –, o estudo propõe compreender os modelos circulares de gestão de resíduos e os arranjos de logística reversa (incluindo cooperativas, microempreendimentos e iniciativas comunitárias) como instrumentos de adaptação climática, capazes de reduzir a vulnerabilidade socioecológica ao desviar resíduos dos sistemas de drenagem, criar empregos verdes e fortalecer capacidades locais de resposta a eventos extremos (Connet, 2016; EMF, 2015; Guarnieri, 2011; Herrero, 2019). Dessa forma, a pesquisa sobre o potencial da economia circular na agenda de adaptação climática em Beira não apenas dialoga com a literatura de ponta sobre EC, logística reversa e cidades resilientes, mas também contribui para reorientar esse campo, demonstrando empiricamente como soluções circulares – ancoradas em arranjos locais de gestão de resíduos podem ser desenhadas para, ao mesmo tempo, corrigir a destinação inadequada de resíduos e reduzir os impactos de inundações em contextos urbanos altamente vulneráveis do Sul Global.

Nessa lógica, o estudo assenta o seu escopo metodológico na exploração das potencialidades da economia circular para o fortalecimento da agenda da adaptação climática no Município da Beira (MB). Isso leva à seguinte pergunta de partida: *Qual é o potencial da EC para contribuir para a estratégia de adaptação climática no MB?*

Do ponto de vista estrutural, a presente tese encontra-se organizada no formato de artigos científicos, cuja orientação metodológica está ancorada no método *Process Tracing*. Essa escolha confere à investigação um carácter analítico e processual, permitindo que cada mecanismo causal identificado corresponda a um artigo específico, estabelecendo, assim, uma narrativa lógica e encadeada.

Foram desenvolvidos, portanto, três mecanismos causais, cada qual materializado em um artigo científico:

1. Primeiro mecanismo causal (Artigo 1): centra-se na análise da magnitude da vulnerabilidade socioecológica, examinada a partir da articulação entre dimensões socioeconômicas e biofísicas. Este artigo busca não apenas identificar os principais fatores que contribuem para a vulnerabilidade do território em estudo, mas também quantificar e interpretar a sua intensidade, à luz das especificidades locais.
2. Segundo mecanismo causal (Artigo 2): dedica-se a avaliar o grau de implementação da EC, considerando seus desdobramentos nos níveis micro, meso e macro. A análise é conduzida de forma a compreender como práticas circulares têm sido operacionalizadas em diferentes escalas de governança e de organização produtiva, permitindo inferir tanto os avanços já obtidos quanto às lacunas ainda persistentes.
3. Terceiro mecanismo causal (Artigo 3): apropria-se dos resultados obtidos nos dois mecanismos anteriores para investigar as possibilidades de aplicação da EC como estratégia para a redução da vulnerabilidade socioecológica em escala local. Nesse sentido, busca-se compreender como a articulação entre os diagnósticos de vulnerabilidade e os níveis de implementação da EC pode oferecer caminhos para fortalecer a resiliência e a adaptação às mudanças climáticas.

A estrutura da pesquisa é finalizada com uma conclusão integradora, na qual se analisa a coerência lógica e a interconexão dos três mecanismos causais, ressaltando o potencial da economia circular em contribuir de forma efetiva para a formulação e o fortalecimento de uma estratégia de adaptação climática no Município da Beira (MB). Tal abordagem evidencia não apenas a relevância teórica, mas também a aplicabilidade prática dos resultados, reforçando o caráter contributivo da tese para a agenda científica e política de adaptação climática.

1.1 OBJETIVO

- Avaliar o potencial da Economia Circular (EC) para contribuir para a estratégia de adaptação climática no Município da Beira (MB)

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar a área de estudo;
2. Medir a magnitude da Vulnerabilidade Socioecológica (VSE) do MB;
3. Analisar o nível de implementação da EC no MB; e
4. Analisar as possibilidades de que a EC contribua para a redução da VSE no MB.

1.3 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa se orienta pela necessidade científica e socialmente imperativa de compreender e responder aos múltiplos fatores que contribuem para o agravamento da vulnerabilidade socioecológica no município da Beira. Entre esses fatores, a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos emerge como um dos vetores centrais de intensificação do processo de vulnerabilização dos sistemas humanos e naturais. Dados oficiais indicam que o município gera, em média, aproximadamente 1.336 toneladas de resíduos sólidos por dia (CMB⁶, 2023). Todavia, conforme relatado em entrevista com o responsável pelo setor de gestão de resíduos do município, parcela significativa desse material coletado é destinada a aterros e, em alguns casos, descartada incorretamente ao longo do sistema de drenagem. Tal prática amplia substancialmente a vulnerabilidade socioecológica local, sobretudo durante os períodos chuvosos, quando o comprometimento da infraestrutura de drenagem resulta em inundações recorrentes.

Segundo o relatório da *National Development Fund* (NDF, 2018), as taxas de reciclagem e reutilização no município situam-se abaixo de 1%, cenário que compromete as estratégias de adaptação em períodos de precipitação intensa, ao condicionar o escoamento das águas pluviais a uma infraestrutura frequentemente obstruída por resíduos. Essa constatação constituiu o ponto de partida para que os autores direcionassem seus esforços investigativos à identificação de modelos alternativos de sustentabilidade capazes de mitigar os impactos socioecológicos decorrentes de práticas ineficientes de manejo de resíduos.

Nesse percurso analítico, uma revisão da literatura extensiva e crítica permitiu identificar a Economia Circular como uma abordagem conceitual e operacional dotada de elevado potencial de diálogo com os desafios ambientais enfrentados pelo MB. O paradigma circular se estrutura a partir de um conjunto de estratégias que visam transformar os resíduos em novos recursos, priorizando práticas de redução, reutilização, remanufatura e, em última instância, reciclagem (Hériz, I., 2018; Valero; Valero, 2019). Tal modelo pressupõe o redesenho das cadeias produtivas em sua integralidade, inserindo princípios de circularidade nos ciclos biológicos e técnicos dos sistemas de produção e consumo (Braungart; McDonough, 2002; Carson, 1962). A partir desse referencial epistemológico, a pesquisa delinea-se no sentido de investigar as potencialidades da EC como instrumento de apoio ao processo de adaptação às mudanças climáticas, considerando as especificidades territoriais, sociais e

⁶ Conselho Municipal da Beira

institucionais do MB. Ressalte-se que a literatura internacional sobre a EC permanece fortemente concentrada em contextos de economias avançadas ou em acelerado desenvolvimento, como a União Europeia e a China (*Europea*, 2020; *European Environment Agency – EEA*, 2016; *EY-Parthenon*, 2020). Nesse sentido, ao deslocar o foco investigativo para um território marcado por restrições socioeconômicas, políticas e tecnológicas profundas, como é o caso do MB, busca-se contribuir para a abertura de uma agenda científica ainda incipiente: a análise das dinâmicas de circularidade em economias subdesenvolvidas.

Simultaneamente, os resultados deste estudo almejam fomentar a formulação de modelos de EC mais aderentes às condições estruturais e operacionais de países em contextos semelhantes ao de Moçambique (incluindo províncias de Moçambique), ampliando assim o avanço teórico e aplicado da circularidade em novos cenários. No caso específico moçambicano, espera-se que os achados aqui apresentados subsidiem debates críticos e propositivos, capazes de impulsionar uma reformulação da abordagem até então predominante em relação à EC — caracterizada, em linhas gerais, por baixa eficácia, excessiva fragmentação e restrita viabilidade prática.

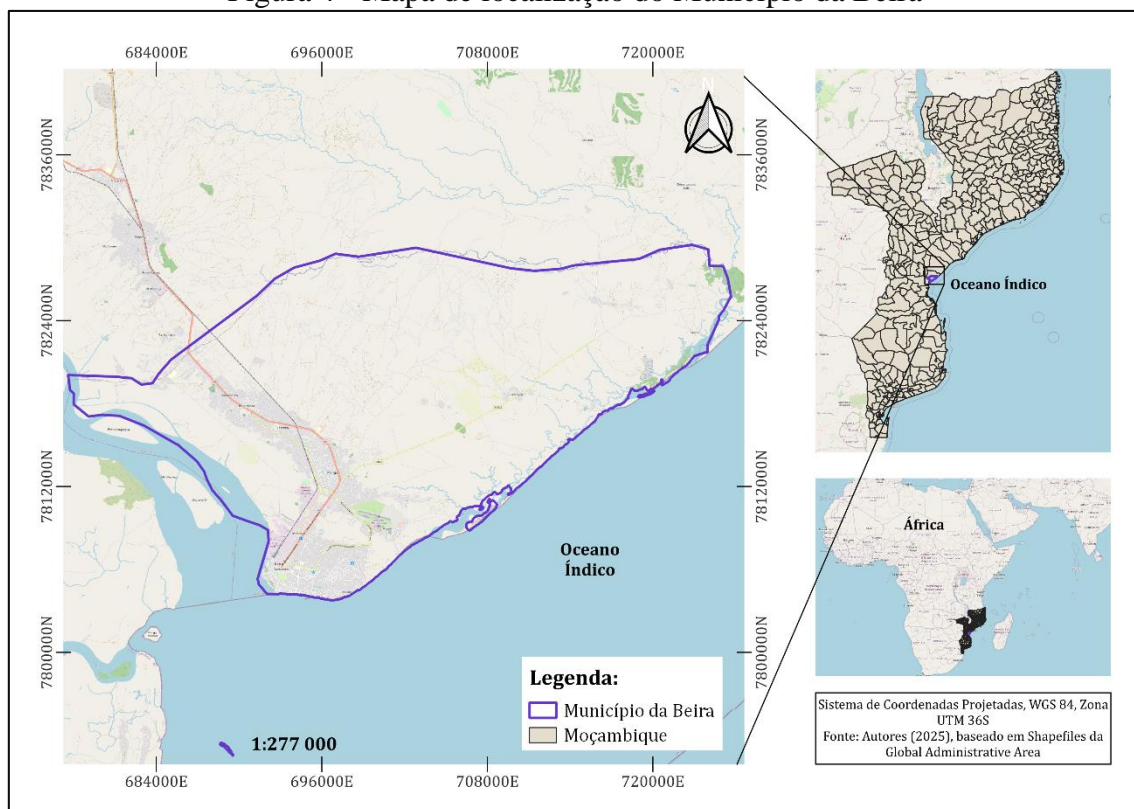
2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (MB) se localiza na região central de Moçambique, na zona intertropical, sul do continente africano (África Austral), conforme ilustra a Figura 4. A norte é limitada pelo distrito de Dondo, a Sul e Este é banhada pelo Oceano Índico e a Oeste é limitada pelos distritos de Buzi e Nhamatanda. Tem uma superfície de cerca de 633 km² (CMB, 2023). A área é composta por 26 bairros, agrupados em cinco distritos urbanos, nomeadamente: Posto Administrativo N° 1 (Chiveve); Posto Administrativo N° 2 (Munhava); Posto Administrativo N° 3 (Inhamízia); Posto Administrativo N° 4 (Manga Loforte); e Posto Administrativo N° 5 (Nhangau), (CMB, 2023).

O MB fica no canal de Moçambique, numa área caracterizada por águas quentes (aproximadamente 30° graus no período de verão) (INAM, 2024) e, por via disso, é uma fonte de entrada de ciclones e tempestades tropicais formados ao longo do Oceano Índico. Essas tempestades ciclicamente atingem o município. Por outro lado, o MB está abaixo do nível médio das águas do mar (Carige *et al.*, 2024). Portanto, em períodos chuvosos, a drenagem das fluviais é importante para a sustentabilidade urbana da cidade. Por causa disso, da destruição de barreiras primárias naturais de proteção costeira (dunas primárias e manguezais, fundamentalmente), a cidade tem sofrido, a invasão das águas do mar, causando significativos danos socioeconômicos e ecológicos.

Figura 4 - Mapa de localização do Município da Beira



Fonte: Autor (2024), com base em dados de *shapefile* da *Global Administrative Areas*

2.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa estruturou-se a partir de uma abordagem metodológica mista, articulando estratégias qualitativas e quantitativas de forma complementar, em consonância com a complexidade socioecológica que caracteriza os bairros de Nhangau e Munhava. Do ponto de vista qualitativo, privilegiou-se a realização de entrevistas semiestruturadas com famílias residentes, lideranças comunitárias, representantes de organizações não governamentais atuantes na gestão de resíduos sólidos e autoridades municipais. Essa etapa permitiu captar percepções, sentimentos, experiências e racionalidades locais que não seriam plenamente apreendidas por meio de instrumentos padronizados, conferindo profundidade interpretativa e sensibilidade contextual à análise.

Em paralelo, a dimensão quantitativa da investigação possibilitou a sistematização e a representação estatística dos dados coletados, mediante a elaboração de gráficos e tabelas que evidenciam padrões, tendências e correlações relevantes ao problema estudado. A vertente quantitativa também foi essencial para a incorporação de informações geoespaciais, viabilizando a produção de mapas temáticos que descrevem as dinâmicas biofísicas do território — tais como distribuição de áreas suscetíveis a inundações, padrões de uso e

ocupação do solo, fragilidades infraestruturais e variáveis ambientais críticas. Dessa forma, a integração entre métodos quali e quanti assegurou uma compreensão abrangente, multiescalar e empiricamente fundamentada da realidade investigada, fortalecendo a robustez analítica e a validade dos resultados apresentados.

2.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO GERAL DA PESQUISA

Devido à vasta extensão territorial do MB, que tem uma área geográfica significativa, e por causa da heterogeneidade socioambiental dos seus diversos bairros, a presente pesquisa precisou adotar critérios de delimitação espacial mais restritivos, de modo a viabilizar uma análise mais aprofundada da VSE local. Tal delimitação foi ainda mais necessária diante da indisponibilidade de dados censitários atualizados e desagregados por bairro, tanto por parte do Instituto Nacional de Estatística (INE) — o órgão oficial de estatísticas do Estado Moçambicano — quanto por parte da própria administração municipal da Beira. A falta de dados específicos impediu uma avaliação abrangente e comparativa entre todos os bairros do município.

Nesse contexto, a pesquisa se concentrou em dois bairros selecionados: Munhava e Nhangau. A escolha foi baseada em três critérios combinados: (i) o alto potencial de ocorrência de inundações em comparação com outros bairros, evidenciado por registros históricos e modelagens espaciais; (ii) a elevada densidade populacional, que aumenta a exposição e a sensibilidade das populações aos impactos de eventos extremos; e (iii) a expressiva presença de assentamentos informais e precários (assentamentos *subnormais*), onde as condições de infraestrutura e o acesso a serviços públicos essenciais são notoriamente deficientes. Esses fatores tornam os dois bairros particularmente relevantes para o estudo da VSE no contexto urbano da Beira.

Embora a seleção da amostra tenha recaído especificamente sobre os bairros de Nhangau e Munhava, cumpre salientar que os resultados obtidos apresentam um potencial significativo de generalização para os demais bairros do município. Essa capacidade deriva do fato de que os três critérios que orientaram a escolha dos bairros, também se manifestam, ainda que com intensidades variadas, nos outros bairros municipais. Assim, mesmo que Nhangau e Munhava expressem formas mais acentuadas dessas vulnerabilidades, os mecanismos subjacentes que estruturam tais processos são compartilhados por outras áreas do município.

Esse potencial de generalização não apenas reforça a robustez analítica da amostra selecionada, como também permite compreender, de maneira ampliada, os padrões estruturais

de vulnerabilidade socioecológica que caracterizam o município como um todo. A localização litorânea do território municipal, associada à recorrente exposição a eventos climáticos extremos — como inundações, tempestades costeiras e erosão — produz um conjunto de desafios ambientais que transcende as fronteiras dos bairros analisados. Dessa forma, as evidências empíricas derivadas de Nhangau e Munhava fornecem subsídios para interpretar tendências mais amplas de risco, impacto e resiliência em todo o município, contribuindo para a formulação de estratégias integradas de adaptação climática e gestão territorial.

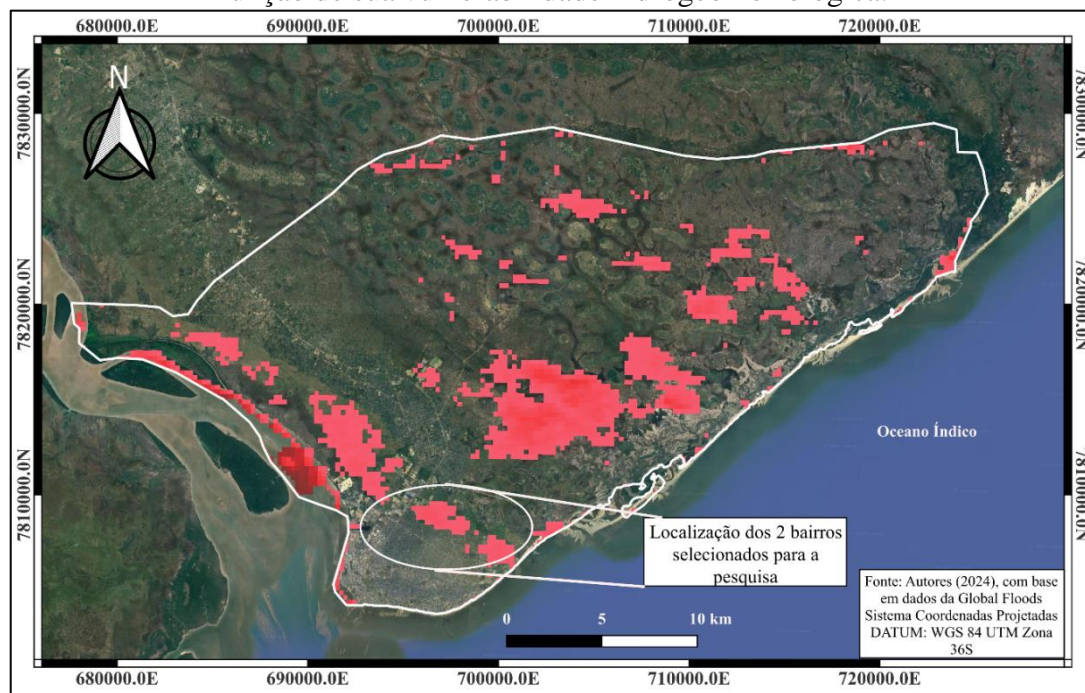
Importa salientar que os resultados associados à vulnerabilidade socioecológica tendem a revelar comportamentos diferenciados quando analisados sob a ótica da vulnerabilidade socioeconômica, sobretudo em função das especificidades estruturais, demográficas e territoriais que caracterizam os dois bairros selecionados para o estudo. Essas particularidades — que incluem padrões de renda, acesso a serviços básicos, condições habitacionais e dinâmicas socioespaciais — atuam como elementos diferenciadores capazes de produzir níveis distintos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa entre as comunidades analisadas.

Por outro lado, no âmbito da vulnerabilidade biofísica, os resultados tendem a apresentar maior homogeneidade, ainda que com eventuais variações de menor magnitude, uma vez que esta dimensão se relaciona a características ambientais e geográficas que são amplamente partilhadas no município como um todo. Condições como baixa altitude, proximidade à linha costeira, suscetibilidade a inundações e degradação das infraestruturas de drenagem constituem fatores estruturantes que influenciam de maneira relativamente uniforme o território municipal. Assim, enquanto a dimensão socioeconômica se destaca como o principal vetor de diferenciação entre os bairros, a dimensão biofísica emerge como um componente mais estável e comum, reforçando seu papel na conformação geral dos padrões de vulnerabilidade socioecológica.

De ponto de vista de procedimento metodológico, para aferir a frequência e a distribuição das inundações, utilizamos dados provenientes do banco de dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), integrados ao *Global Floods Database*, que fornece registros georreferenciados de eventos de inundação em escala global. Especificamente, essa base contempla a extensão espacial e a dinâmica temporal de 913 eventos de inundação registrados entre 2000 e 2018, permitindo a identificação dos padrões de recorrência e das áreas mais afetadas (ver Figura 5). Esses dados foram fundamentais para respaldar a seleção dos bairros em termos de exposição a eventos hidrometeorológicos extremos.

Cabe destacar que a etapa de coleta de dados primários foi conduzida entre os meses de agosto e dezembro de 2023, por meio de observações de campo, entrevistas semiestruturadas com moradores e líderes comunitários, bem como levantamentos fotográficos e registros geoespaciais. Essa abordagem metodológica permitiu compreender, de forma mais robusta, as interações entre as condições socioeconômicas e os riscos ambientais nos territórios analisados.

Figura 5 - Delimitação das zonas com maior propensão à inundação no município da Beira, representadas em vermelho, evidenciando os territórios sujeitos a alagamentos recorrentes em função de sua vulnerabilidade hidrogeomorfológica.



Fonte: Autores (2023), com base em dados da *Global Floods Database*

A metodologia adotada nesta pesquisa está ancorada no *método Process Tracing*, conforme delineado por Beach; Pedersen, (2018) e Collier, (2011). Essa abordagem é amplamente reconhecida por sua robustez na identificação e análise de mecanismos causais em estudos qualitativos. O *Process Tracing* permite uma investigação aprofundada das sequências causais que ligam variáveis explanatórias a determinados resultados. Oferece, assim, um instrumento metodológico adequado para compreender fenômenos complexos, especialmente em situações nas quais múltiplas variáveis interagem ao longo do tempo (Bennett, A.; Checkel, 2014; Collier, 2011).

2.3.1 LÓGICA METODOLÓGICA DE CADA MECANISMO CAUSAL

2.3.1.1 1º Mecanismo Causal (1º Artigo) - Diagnóstico da dimensão da VSE.

Este mecanismo causal obedeceu a três etapas: (1) mapeamento dos bairros vulneráveis para compor a amostra da pesquisa, segundo dados observados (CMB, 2023; INAM, 2024; INGD⁷, 2022); (2) redimensionamento de indicadores de vulnerabilidade de sistema socioecológico ajustados às dinâmicas do MB, a partir do modelo desenvolvido por Kaztman, (2000); Moser, (1998); Ojima; Marandola Jr, (2013); (3) elaboração de gráficos e mapas⁸ de representação espacial, sensoriamento remoto (cobertura vegetal, solos, relevo, proximidades de córregos de água, elevação, clima, precipitação e eventos climáticos), a partir de *dataset's* da *Landsat*, *Sentinel* (*Google Earth Engine* e QGIS) e de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INAM); (4) coleta de dados primários centrada nas dimensões da VSE, nomeadamente: capital humano, social, financeiro e capital físico-natural (Moser, 1998; Kaztman, 2000).

Os dados de densidade populacional e tipologias de assentamentos foram extraídos dos relatórios anuais do município (CMB, 2023). Importa referir que a metodologia usada, apresenta um potencial de continuidade para pesquisas posteriores mais amplas e integradas, que permitam desenvolver um mapeamento da VSE em toda a área do município. Portanto, a presente metodologia pode ser redimensionada para chegar a uma compreensão mais ampla e abrangente da atual e futura distribuição territorial de VSE no município (Ojima e Marandola Jr., 2013; Iwama et al., 2016; Farias e Mendonça, 2022).

A pesquisa adotou o modelo de amostragem probabilística simples, uma técnica que assegura que cada unidade amostral – neste caso, cada assentamento familiar – tenha igual probabilidade de ser selecionada para compor o universo da amostra. Essa abordagem é amplamente reconhecida por sua robustez metodológica, permitindo a generalização dos resultados para o conjunto da população-alvo com menor viés de seleção (Cochran, 1977). Com base nesse método, foram incluídas 859 famílias, distribuídas entre dois bairros urbanos do município estudado. No Bairro da Munhava, foram selecionadas 587 famílias, correspondendo a 10,03% do total de residências existentes, enquanto que no Bairro de Nhangau a amostra incluiu 272 famílias, representando 13,55% do universo domiciliar local.

⁷ Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres

⁸ Por meio do software QGIS (dados observados, sensoriamento remoto)

Essa variação percentual entre os bairros reflete o dimensionamento proporcional da amostra, considerando o total de unidades residenciais em cada área.

A literatura sugere que, para populações superiores a 1.000 indivíduos ou domicílios, uma amostra entre 5% e 10% é geralmente suficiente para garantir níveis aceitáveis de precisão estatística, especialmente quando se deseja alcançar um erro amostral em torno de 5% com um nível de confiança de 95% (Israel, 1992; Levy; Lemeshow, 2013). Nesse sentido, a amostragem adotada nesta pesquisa respeita os critérios metodológicos indicados por Cochran (1977), que recomenda tamanhos de amostra ajustados à variabilidade esperada dos dados e ao grau de precisão desejado.

A escolha por uma amostra de 859 famílias se justifica, portanto, tanto pela representatividade estatística, quanto pela viabilidade operacional, permitindo cobrir uma fração significativa da população sem comprometer a exequibilidade da coleta de dados em campo. Ademais, ao garantir a aleatoriedade e a proporcionalidade da amostra, a pesquisa dá maior fidedignidade aos resultados e maior validade externa às análises realizadas.

2.3.1.1.1 Índice de VSE

O Índice de Vulnerabilidade Socioecológica (IVS) constitui-se como uma métrica sintética destinada a mensurar, de forma integrada, a exposição e a fragilidade de sistemas socioecológicos frente a riscos climáticos e ambientais. Sua operacionalização decorre da combinação de dois componentes centrais: o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVSEc) e o Índice de Suscetibilidade Biofísica (ISBf). A articulação entre esses componentes é realizada por meio da Equação 1, adaptada de Chang et al. (2015), a qual fornece sustentação metodológica ao processo de agregação dos diferentes indicadores que compõem o índice.

Importa salientar que a formulação do IVS ultrapassa o caráter técnico de uma simples sobreposição de índices, ao fundamentar-se em uma base conceitual consolidada nos estudos de vulnerabilidade climática. Tal abordagem dialoga com a literatura que reconhece a vulnerabilidade como fenômeno multidimensional, resultante da interação dinâmica entre condições sociais, econômicas, institucionais e biofísicas, refletindo não apenas limitações estruturais, mas também a capacidade adaptativa dos territórios e populações.

Por essa via, o modelo metodológico aqui adotado guarda proximidade com a proposta de Perez *et al.*, (2020), cuja investigação avaliou a vulnerabilidade socioeconômica e a fragilidade da infraestrutura urbana no contexto brasileiro. Esse estudo buscou integrar a exposição da população a eventos extremos, tomando como referência tanto desastres

historicamente observados quanto cenários prospectivos de intensificação de chuvas extremas. Assim, a presente formulação do IVS inspira-se em experiências metodológicas já consolidadas, ao mesmo tempo em que avança na direção de uma análise holística da vulnerabilidade socioecológica, contemplando a interdependência entre fatores sociais e biofísicos, imprescindível para orientar políticas de adaptação e mitigação diante da crise climática.

Nesse sentido, a estruturação do índice está alinhada à nova abordagem conceitual de vulnerabilidade proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), sobretudo a partir dos relatórios mais recentes. Essa abordagem desloca o eixo analítico tradicional, no qual a vulnerabilidade era compreendida como uma função de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, para um enquadramento em que o risco assume centralidade como categoria integradora. Nesse novo marco teórico, a exposição deixa de ser considerada apenas como uma variável dependente das dimensões biofísicas e sociais, adquirindo autonomia analítica própria, capaz de interagir com os demais componentes de forma mais dinâmica e complexa.

Assim, o IVS assume a dupla função de, por um lado, sintetizar dimensões heterogêneas de vulnerabilidade e, por outro, traduzir na prática a evolução do debate teórico internacional, que busca cada vez mais captar as inter-relações entre processos socioeconômicos, condições biofísicas e a materialização dos riscos em contextos territoriais específicos.

$$IVS = \frac{ISBf + IVSEc}{2}$$

Legenda:

- IVS: Índice de Vulnerabilidade Socioecológica;
- ISBf: Índice de Suscetibilidade Biofísica; e
- IVSEc: Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica.

Por sua vez, o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica é composto por cinco indicadores (renda baixa, inadequação de saneamento básico, escolaridade baixa, criticidade da densidade populacional e de condições habitacionais) (Tabela 2).

Tabela 1 - Indicadores do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica

Indicador	Variável	Classe	Nota
Renda baixa	menos de salário mínimo <i>per capita</i>	< 25%	0,0
		≥ 25% e < 50%	0,5
		≥ 50% e < 100%	1,0
	habitantes/km ²	< 50 habitantes/km ²	0,0

Críticidade da densidade populacional		≥ 50 e < 100 habitantes/km ²	0,5
		≥ 100 habitantes/km ²	1,0
Críticidade das condições habitacionais	% de não proprietários de domicílios	$< - 10\%$	0,0
		$\geq - 10\%$ e $< 10\%$	0,5
		$\geq + 10\%$	1,0
	% da população em aglomerados subnormais	Sem aglomerados subnormais	0,0
		$\leq 5\%$	0,5
		$> 5\%$	1,0
Adequação/inadequação de saneamento básico (sistema de esgoto)	grau de Adequação/inadequação do acesso dos domicílios ao saneamento básico (sistema de esgoto)	$> 70\%$ dos domicílios adequados	0,0
		$> 60\%$ e $< 70\%$ dos domicílios adequados	0,25
		Restantes das situações intermediárias	0,5
		$> 10\%$ e $< 20\%$ dos domicílios inadequados ou $> 60\%$ dos domicílios semi-adequados	0,75
		$> 20\%$ dos domicílios inadequados	1,0
Escolaridade	% da população com mais de 18 anos sem instrução elementar	$< - 10\%$	0,0
		$> - 10\%$	0,25
		$> + 10\%$ e $< + 20\%$	0,5
		$> 20\%$ e $< + 30\%$	0,75
		$\geq 30\%$	1,0
		$\geq 25\%$ e $< 50\%$	0,5
		$\geq 50\%$ e $< 100\%$	1,0

Fonte: Adaptado de Chang et al. (2015).

Os indicadores do índice são sustentados por dados primários, colhidos junto às famílias dos dois bairros selecionados, sendo representados pela Equação 2, adaptada de Chang et al. (2015).

$$IVSEc = \frac{IRenda + IDensiPop + ICondHab + ISaneBas + IEscolaridade}{5}$$

Legenda:

- IVSEc: Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica;
- IRenda: Indicador de Renda;
- IDensiPop: Indicador de Desdensidade Populacional;
- ICondHab: Indicador de Condições Habitacionais;
- ISaneBas: Indicador de Saneamento Básico; e
- IEscolaridade: Indicador de Escolaridade.

O Índice de Suscetibilidade Biofísica para avaliar a vulnerabilidade às inundações é composto por seis indicadores, provenientes de diferentes fontes de dados. Os dados do percentual de declividade que servem para analisar o grau de inclinação topográfica, que é fornecido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), desde 2000, no modelo digital de elevação, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Eles têm resolução espacial de 30 metros.

Os dados referentes à densidade de drenagem foram obtidos a partir dos relatórios do MB. A precipitação é analisada através de dados de séries temporais (desde 2000) da base de dados da *Global Precipitation Measurement* (GPM), da NASA.

Os dados do uso da terra ou estado da vegetação são obtidos por meio cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), usando imagens de *Landsat 9*, da *United States Geological Survey* (USGS) *Earth Explorer*, de 12 de novembro de 2023, com um percentual de nuvens de 10%, nas quais analisamos o estado de saúde e a densidade da vegetação, calculada usando a Equação 3, de Rouse et al. (1973).

$$NDVI = \frac{Banda\ NIR - Banda\ Red}{Banda\ NIR + Banda\ Red}$$

Legenda:

- NDVI: Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, em que os valores próximos a -1 indicam uma vegetação pouco saudável, enquanto os valores próximos a 1 indicam vegetação saudável. A Tabela 3 apresenta os parâmetros classificatórios do NDVI, de acordo com Aquino et al. (2018).

Tabela 2 - Parâmetros classificatórios para o cálculo do NDVI

Parâmetro	Valor
solo descoberto e/ou água	NDVI ≤ 0
muito baixo	0 < NDVI ≤ 0.2
baixo	0.2 < NDVI ≤ 0.4
moderadamente baixo	0.4 < NDVI ≤ 0.6
moderadamente alto	0.6 < NDVI ≤ 0.8
alto	0.8 < NDVI ≤ 1

Fonte: Adaptado de Aquino et al. (2018).

Os dados da dinâmica do uso da terra foram obtidos junto à Agência Espacial Europeia (AEE), que fornece um mapa global de cobertura do solo, com resolução de 10 m, baseado em

dados do Sentinel-1 e do Sentinel-2. O produto *WorldCover* inclui 11 classes de cobertura do solo (floresta, árvores abertas, arbustos, gramíneas, terras agrícolas, áreas urbanas, áreas desnudas, água, vegetação herbácea aquática e manguezais). Ele foi gerado no âmbito do projeto *WorldCover* da AEE, parte do 5.º *Earth Observation Envelope Programme* (EOEP-5) da Agência Espacial Europeia.

Os dados de erodibilidade do solo para analisar as características e perfis dos solos foram obtidos da base de dados de *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Por último, os dados de série temporal que possibilitaram a análise do comportamento do nível do mar foram extraídos da coleção de imagens de Landsat 8.

Os dados acima referenciados foram processados no *Google Earth Pro*, *Google Earth Engine* (linguagem de programação *JavaScript*) e *Quantum Geographic Information System* (QGIS). O Índice de Suscetibilidade Biofísica (ISBf) foi calculado usando a Equação 4, adaptada de Chang et al. (2015), e os indicadores do Índice de Suscetibilidade Biofísica às Inundações estão representados na Tabela 4.

$$ISBf = \frac{IDecE + IDensDr + IChuF + IUTerr + IEroSol + (INivMar * 2)}{6}$$

Tabela 3 - Indicadores do Índice de Suscetibilidade Biofísica às Inundações

Indicador	Variável	Classe	Nota
Declividade espacial	percentual de declividade	0 a 10	0,00
		10 a 20	0,30
		20 a 45	0,60
		> 45	1,00
Densidade de drenagem	km de rios por área (km ²)	0 a 1	0,00
		1 a 2	0,25
		2 a 3	0,50
		3 a 4	0,75
		> 5	1,00
Chuvas fortes (≥ 50 mm/dia)	nº de ocorrências de chuva forte por ano	3,7 – 4,8	0,00
		4,8 – 5,9	0,25
		5,9 – 7,0	0,50
		7,0 – 8,1	0,75
		8,1 – 9,2	1,00
Dinâmicas do uso da terra	tipo de vegetação (NDVI)	Cobertura florestal	0,00
		Reflorestamento	0,10
		Uso misto	0,40
		Pastagem, campos, savanas e agricultura intensiva	0,80
		Área urbana	1,00
Erodibilidade do solo	estrutura do solo, segundo o tipo	Afloramento de rocha	0,00
		Argissolo	0,40
		Cambiossolo	0,70

		Espodossolo	0,50
		Gleissolo	0,35
		Latossolo	0,10
		Neossolo	0,75
		Nitossolo	0,30
		Organossolo	0,20
Nível do Mar	parâmetros do nível do mar	Taxa de aumento do nível do mar < 2 mm/ano; Áreas situadas acima de 10 metros de altitude relativa ao nível médio do mar; Distância superior a 5 km da linha de costa.	0,00
		Taxa de aumento do nível do mar entre 2 e 3,5 mm/ano; Altitude entre 5 e 10 metros; Distância entre 2 e 5 km da costa.	0,30
		Taxa de elevação do nível do mar entre 3,5 e 5 mm/ano; Altitude entre 1 e 5 metros; Distância inferior a 2 km da costa.	0,60
		Taxa de elevação do nível do mar > 5 mm/ano; Altitude < 1 metro ou áreas já situadas ao nível médio do mar; e Proximidade direta ao litoral (\leq 500 metros).	1,00

Fonte: Adaptado de Chang et al. (2015).

2.3.1.1.2 Parâmetros classificatórios do Índice de VSE

Os parâmetros classificatórios do Índice de VSE variam de zero a um. Os valores próximos a zero indicam menor vulnerabilidade e os valores próximos a 1 indicam mais vulnerabilidade (Chang et al., 2015). Os parâmetros classificatórios do Índice de VSE estão representados na Tabela 5.

Tabela 4 - Parâmetros classificatórios do Índice de VSE

Valor	Parâmetro de avaliação
0,00 – 0,19	muito baixa VSE
0,20 – 0,39	baixa VSE
0,40 – 0,59	média VSE
0,60 – 0,79	alta VSE
0,80 – 1,00	muito alta VSE

Fonte: Adaptado de Chang et al. (2015).

2.3.1.2 2º Mecanismo Causal (2º Artigo) - Nível de implementação da Economia Circular no Município da Beira

O mecanismo causal 2 adotou uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa), com enfoque multiescalar, estruturada em três níveis analíticos — micro, meso e macro (Aquino; Pantoja; Luz, 2023; EMF, 2014; Herrero, Luis y Laguela, 2019; Kirchherr, 2017). O objetivo central foi avaliar o grau de implementação da EC na área de estudo, compreendendo práticas empresariais, articulações interindustriais e marcos institucionais. A metodologia integrou entrevistas semiestruturadas, análise documental de políticas públicas, relatórios técnicos e observação direta.

2.3.1.2.1 Nível micro da Economia Circular

No nível micro, a investigação se centrou na avaliação da implementação de práticas de EC em 11 empresas de diversos setores, selecionadas no âmbito de um projeto de inovação circular financiado pela União Europeia, por meio de um programa de apoio a aceleradoras de negócios e à inclusão social em Moçambique. O referido projeto visa estimular investimentos sustentáveis no setor privado, com foco na transição para modelos circulares de negócios, promovendo incubação e aceleração de micro, pequenas e médias empresas (MPMEs). A coleta de dados incluiu documentos institucionais, como regulamentos internos, estatutos, relatórios de desempenho e planos de ação. Essas fontes foram utilizadas para validar a informação primária e compreender os pressupostos de viabilidade técnica e institucional da transição circular.

A seleção das empresas considerou a diversidade setorial e o grau de envolvimento com práticas circulares, tais como reutilização de resíduos, inovação em produtos e desenho sustentável. As entrevistas, conduzidas com os gestores e técnicos por meio da ferramenta *KoboToolbox*, seguiram um roteiro que abordou dimensões como: reciclagem, reutilização, desenho de produtos, uso e recuperação de recursos, gestão de resíduos, rentabilidade, competitividade e estratégias de circularidade (EMF, 2015). As entrevistas incluíram as 5 associações que compram e vendem resíduos, usando a mesma lógica metodológica adotada para as 11 empresas.

2.3.1.2.2 Nível meso da Economia Circular

No nível meso, a metodologia buscou identificar evidências de ecologia industrial ou simbiose industrial (Ayres; Ayres, 2002; Chertow, 2000; Graedel, 1996; Hériz, A., 2018),

investigando interações produtivas e fluxos de materiais entre as empresas selecionadas. A análise focalizou a cooperação interempresarial para a reutilização de resíduos, compartilhamento de infraestrutura e troca de subprodutos. A área estudada abriga o Parque Industrial da Beira, o segundo maior do país, onde se concentram empresas dos setores de cimento, fertilizantes, bebidas, mobiliário, confecções e metalurgia. Esse nível permitiu compreender a emergência (ou ausência) de sistemas de produção interligados, facilitadores da circularidade.

2.3.1.2.3 Nível macro da Economia Circular

No nível macro, o estudo analisou o arcabouço institucional, legal e político que molda o fomento à EC em diferentes escalas — municipal, provincial e nacional. Examinamos relatórios técnicos, planos municipais de desenvolvimento, políticas públicas ambientais, instrumentos legais e estratégicos, com ênfase em mecanismos de financiamento, incentivos fiscais, capacitação técnica e regulamentação normativa (*Europea*, 2020; Pires; Martinho, 2019).

Essa etapa teve por objetivo identificar barreiras e oportunidades institucionais para a transição para a EC. Foram realizadas também entrevistas comunitárias em dois bairros do município, sondando a percepção da população sobre os impactos da gestão de resíduos sólidos urbanos no funcionamento dos sistemas de drenagem urbana, ilustrando o nexus entre resíduos e infraestrutura hídrica (Allan, 2015; Rasul; Sharma, 2016). Fizemos ainda observação direta, com o uso de imagens e vídeos, para registrar os hábitos de descarte de resíduos e os seus impactos ambientais imediatos. Essa abordagem possibilitou uma triangulação metodológica entre dados primários e secundários

2.3.1.3 3º Mecanismo Causal (3º Artigo) - possibilidades de contribuição da Economia Circular na redução da vulnerabilidade socioecológica no Município da Beira

Esse terceiro mecanismo causal opera como um elo integrador entre os dois anteriores, aprofundando a análise das relações de causalidade e conectividade entre os fatores socioeconômicos e ambientais que estruturam a VSE no município. A partir dessa perspectiva, buscamos compreender de que forma as estratégias e práticas associadas à EC — como a valorização de resíduos, o prolongamento do ciclo de vida dos produtos, o uso eficiente de recursos e a promoção de cadeias produtivas locais — podem interagir com os determinantes da VSE, mitigando riscos e fortalecendo capacidades adaptativas.

Esse mecanismo não apenas identifica os pontos de convergência entre os pressupostos da EC e as fragilidades estruturais do território, como também analisa como essas interações se manifestam concretamente nas dinâmicas locais de uso do solo, geração de resíduos, acesso a serviços e ocupações socioeconômicas. Ao fazer isso, contribui para a construção de uma leitura mais sistêmica e processual da VSE, evidenciando os potenciais efeitos da EC tanto na redução da exposição e da vulnerabilidade, quanto na ampliação da resiliência comunitária e institucional. Trata-se, portanto, de um componente analítico essencial para aferir a eficácia transformadora da EC como estratégia de adaptação às mudanças climáticas e de promoção de justiça socioambiental em contextos urbanos marcados por desigualdades.

2.3.2 HIPÓTESES DA PESQUISA

No escopo desta pesquisa, a aplicação do *Process Tracing* foi estruturada em torno de três mecanismos causais distintos, previamente definidos com base na literatura teórica e nas hipóteses empíricas que orientam o estudo. Esses mecanismos são sistematizados e detalhados na Tabela 1, que apresenta os componentes analíticos centrais de cada um, tais como variáveis intervenientes, evidências processuais esperadas e conexões lógicas entre causas e efeitos.

Os mecanismos causais específicos gerados são baseados em pressupostos teóricos, designados por teoria causal, como ilustra a tabela 5:

Tabela 5 - Embasamento teórico das hipóteses da pesquisa

Mecanismos causais	Teoria causal
geral	Ela parte da premissa de que o modelo de EC apresenta atributos técnico-conceptuais (remanufatura, reutilização, reciclagem, redução e redesenho) e dimensões de abordagem teórica como <i>cradle to cradle</i> (Braungart, 2002) e ecologia industrial (Frosch, 1989) que contribuem para a redução da VSE, através do processo de AC (EMF, 2015).
mecanismo causal 1	Estudos desenvolvidos por diversos autores (Braungart, 2002); African Circular Economy Network, 2020; EMF, 2020; <i>Europea</i> , 2020; Gates, 2021; Kaza, 2018) evidenciam o caráter insustentável do modelo de Economia Linear (EL) na dialética entre o aumento da demanda ao consumo (crescimento demográfico e ascensão social) e o incremento da geração de resíduos sólidos. Os autores alertam para o impacto deste fenômeno em áreas urbanas com aumento da VSE, principalmente em países subdesenvolvidos, caracterizados pelo fenômeno de dupla exposição (O'Brien <i>et al.</i> , 2004; O'Brien, 2008)

mecanismo causal 2	Pesquisas evidenciam que a implementação integral e estrutural da EC contribui para a redução da VSE, por meio de todo um processo de reaproveitamento das matérias ou subprodutos, desenho e redesenho ecológico, resultando no prolongamento da vida útil dos produtos (Connet, 2016; EMF, 2015; Veleva, 2018). Entretanto, ela só é efetiva se implementada com todo um conjunto de apoio normativo, tecnológico, financeiro, cultural e político (EMF, 2015).
mecanismo causal 3	A EC oferece enormes possibilidades de contribuição para a redução da VSE, dentro do processo de AC, se tiverem sido observados os pressupostos centrais para a sua materialização como: investimento em tecnologias circulares, arcabouço normativo com indicadores de transição mensuráveis, capacidade institucional, apoio técnico e financeiro às empresas, incentivos fiscais e subsídios, consciência ambiental de todos os envolvidos e engajamento da população, da gestão pública e das empresas. (Antonio; Rodriguez, 2023; EMF, 2015; Goddin <i>et al.</i> , 2019; Petit-Boix; Leipold, 2018; RIZOS <i>et al.</i> , 2016).

Cada mecanismo causal foi analisado de forma independente, compondo três estudos articulados sob a forma de artigos científicos. Essa estratégia visou não apenas garantir maior profundidade e coerência na análise de cada mecanismo, mas também possibilitar uma disseminação científica mais efetiva dos resultados. Assim, o produto final da pesquisa foi constituído por três artigos interconectados (Figura 6), sendo cada um dedicado a explorar e evidenciar a lógica interna de um mecanismo causal específico, permitindo uma compreensão mais abrangente e sistemática das relações causais subjacentes ao fenômeno investigado.

Por conseguinte, o primeiro mecanismo causal corresponde ao diagnóstico da dimensão da VSE, no qual se busca compreender o risco, exposição e vulnerabilidade das populações e dos sistemas naturais frente às ameaças das mudanças climáticas, com ênfase nos impactos de eventos extremos, como inundações, ciclones e elevação do nível do mar. Este diagnóstico foi construído a partir de múltiplas fontes — dados secundários, entrevistas e observações locais — e visa mapear os fatores críticos que intensificam a vulnerabilidade territorial e social.

O segundo mecanismo causal diz respeito ao nível de implementação da EC no MB, examinando em que medida os princípios e práticas da EC têm sido internalizados nas esferas públicas, privadas e comunitárias. A análise abrangeu as escalas micro (iniciativas empresariais e associativas), meso (complexos industriais) e macro (estruturas de governança e políticas públicas), com o objetivo de identificar barreiras, oportunidades e dinâmicas já em curso que refletem estratégias circulares praticadas no território.

O terceiro mecanismo causal se refere às possibilidades concretas de contribuição da EC para a redução da VSE no MB. Este mecanismo consistiu em analisar como a EC pode

atuar como estratégia de adaptação climática, promovendo maior resiliência ecológica e social. Exploramos, nesse ponto, as sinergias potenciais entre ações circulares — como reutilização de recursos, gestão eficiente de resíduos, simbiose industrial e inovação social — e os objetivos de redução de riscos climáticos, redução da destinação incorreta de resíduos, geração de empregos verdes e fortalecimento das capacidades locais.

Portanto, em função da lógica da abordagem e da estruturação dos mecanismos causais, as hipóteses da pesquisa se estruturaram em dois níveis: hipótese geral e hipóteses específicas dos mecanismos causais. A hipótese geral articula os três mecanismos em uma cadeia lógica de explicação (Figura 6):

- *Hipótese geral* - Se o diagnóstico da vulnerabilidade socioecológica no Município da Beira revela fragilidades estruturais e riscos intensificados pelas mudanças climáticas (*Mecanismo 1*), e o nível de implementação da EC permanece baixo e fragmentado (*Mecanismo 2*), então, as possibilidades de a EC contribuir para reduzir essa VSE são limitadas (*Mecanismo 3*), o que compromete seu papel como estratégia de adaptação climática.

2.3.3 Hipóteses específicas por mecanismo causal

2.3.3.1 Mecanismo causal 1 – Diagnóstico da vulnerabilidade socioecológica

Hipótese específica 1: Se o diagnóstico da vulnerabilidade socioecológica no Município da Beira evidencia alta exposição a riscos ambientais, baixa capacidade adaptativa institucional e exclusão socioeconômica das populações periféricas, então há uma condição estrutural de fragilidade que exige estratégias integradas de adaptação e transformação territorial.

Evidências geradas: dados sobre enchentes, precipitação, elevada densidade populacional, precárias condições habitacionais e de renda, inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário e gestão ineficiente dos resíduos sólidos

2.3.3.2 Mecanismo causal 2 – Nível de implementação da economia circular

Hipótese específica 2: Se a EC é implementada de forma superficial, com foco em ações pontuais, sem articulação intersetorial, sem capacitação local nem instrumentos de política pública, então a sua capacidade de produzir mudanças estruturais e adaptativas no território é significativamente limitada.

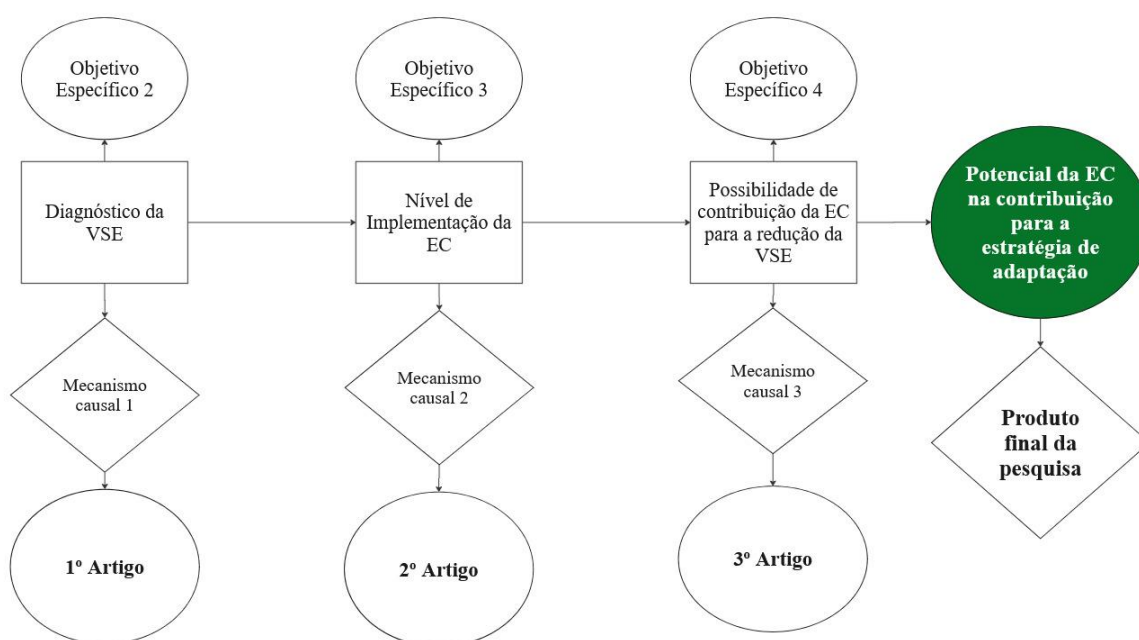
Evidências geradas: ausência de planos de EC, falta de incentivos, baixa participação da indústria local e ausência de parcerias.

2.3.3.3 Mecanismo causal 3 – Potencial da economia circular para reduzir a vulnerabilidade socioecológica

Hipótese específica 3: Se implementada de forma estruturada, a EC tem potencial para contribuir na adaptação ao reduzir a destinação incorreta de resíduos e melhorar o uso de recursos, além de diversificar a economia e gerar empregos verdes; porém, se esse potencial não é mobilizado por ausência de condições sociopolíticas, institucionais, tecnológicas, financeiras e operacionais, a VSE permanece inalterada, e o alcance da EC é limitado.

Evidências geradas: comparação entre potencial teórico e resultados observados, casos de boas práticas não replicadas, lacunas de governança.

Figura 6 - Síntese da estrutura do procedimento metodológico da pesquisa, baseado em *Process Tracing*.



Fonte: Autores (2025)

Ao final, a pesquisa desenvolveu uma síntese conclusiva, fundamentada na articulação dos três mecanismos causais (três artigos), de modo a responder à pergunta central do estudo: *Qual é o potencial da EC para contribuir para a estratégia de AC no MB?* Essa conclusão não apenas evidencia o grau de aderência entre os fundamentos teóricos da EC e a sua

aplicabilidade prática, como também aponta caminhos possíveis para a integração sistêmica da EC nas políticas e nas práticas de adaptação às mudanças climáticas.

3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A recorrente invasão das águas do mar ao longo da zona costeira do MB é intensificada pelas características geofísicas do território, notadamente a predominância de solos pantanosos, baixa capacidade de drenagem natural e elevada vulnerabilidade à intrusão salina (Ministério da Terra e Ambiente, 2020). Essa condição natural é agravada pela deposição sistemática e desordenada de resíduos sólidos ao longo da rede de drenagem urbana, comprometendo de forma significativa a sua funcionalidade e sustentabilidade, conforme ilustram as figuras 7 e 8.

O município gera, em média, aproximadamente 1.336 mil toneladas de resíduos sólidos por dia (CMB, 2023). No entanto, apenas cerca de 1% desse volume é efetivamente reciclado ou reutilizado, enquanto a esmagadora maioria é destinada a aterros sanitários ou descartada de maneira inadequada em espaços públicos e ao longo das infraestruturas de drenagem. Tal prática contribui não apenas para o entupimento dos canais de escoamento, mas também para o aumento da exposição das comunidades urbanas a enchentes, a doenças e à degradação ambiental.

Diante desse cenário, a edilidade municipal, em parceria com a Agência Italiana de Cooperação para o Desenvolvimento, iniciou a construção de um Centro de Compostagem, localizado no Posto Administrativo da Munhava. O seu objetivo principal dessa iniciativa é promover a transformação dos resíduos orgânicos gerados na cidade em compostos ricos em nutrientes, destinados à atividade agrícola local. A expectativa é que contribua para a dinamização de práticas associadas à EC, por meio da ativação do ciclo biológico dos materiais. Isso pode reduzir a pressão sobre os aterros sanitários e os sistemas de drenagem e, gerar valor a partir dos resíduos, criando uma alternativa sustentável de gestão urbana que integre objetivos ambientais, sociais e econômicos.

Figura 7 - Litoral do Município da Beira, parcialmente destruída pela invasão das águas do mar.



Fonte: Sebastião, André (2021)

Figura 8 - Inundação no Município da Beira, depois da passagem de um ciclone



Fonte: Sebastião, André (2021)

3.1 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

O MB tem uma população estimada em aproximadamente 531.825 habitantes, distribuídos por 117.588 casas e por 123.908 famílias, segundo dados atualizados do Conselho Municipal da Beira (CMB, 2023). A população é distribuída por 26 bairros, conforme demonstrado pelos dados da Tabela 6. Os bairros de Matacuane, Macurrungo e Chingussura são os mais densamente habitados. O bairro de Matacuane lidera com 38.098 habitantes, seguido por Macurrungo com 29.324 e Chingussura com 28.099. Esses bairros concentram uma parte significativa da população municipal, o que pode indicar um maior nível de pressão sobre os serviços públicos, a infraestrutura urbana e os recursos ambientais locais.

Tabela 6 - População do Município da Beira de 2023

Nº	Bairros	População		Casas		Famílias	
1	Macuti	16 180	3,04%	4 246	3,61%	4 361	3,52%
2	Chipangara	25 757	4,84%	5 789	4,92%	6 863	5,54%
3	Ponta Gea	20 762	3,90%	4 397	3,74%	5 114	4,13%
4	Matacuane	38 098	7,16%	8 465	7,20%	8 756	7,07%
5	Macurungo	29 324	5,51%	7 355	6,25%	7 124	5,75%
6	Muave	10 301	1,94%	2 008	1,71%	2 114	1,71%
7	Vila Massane	26 270	4,94%	5 468	4,65%	5 875	4,74%
8	Inhamizua	26 204	4,93%	6 173	5,25%	7 044	5,68%
9	Matadouro	21 625	4,07%	5 547	4,72%	5 589	4,51%
10	Ndunda	21 772	4,09%	5 911	5,03%	5 913	4,77%
11	Mungassa	11 358	2,14%	2 756	2,34%	2 759	2,23%
12	Chingussura	28 099	5,28%	5 774	4,91%	6 675	5,39%
13	Nhangau	7 119	1,34%	2 008	1,71%	2 012	1,62%
14	Nhangoma	1 550	0,29%	498	0,42%	498	0,40%
15	Tchondja	3 138	0,59%	808	0,69%	808	0,65%
16	Mananga	26 685	5,02%	5 202	4,42%	5 329	4,30%
17	Esturro	24 210	4,55%	4 756	4,04%	5 719	4,62%
18	Pioneiros	5 433	1,02%	1 221	1,04%	1 385	1,12%
19	Chota	19 284	3,63%	4 231	3,60%	3 235	2,61%
20	Maraza	21 491	4,04%	5 018	4,27%	5 023	4,05%
21	Vaz	9 135	1,72%	2 356	2,00%	2 357	1,90%
22	Munhava	33 850	6,36%	5 855	4,98%	6 358	5,13%
23	Alto da Manga	20 441	3,84%	3 789	3,22%	4 022	3,25%
24	Manga Mascarenha	37 548	7,06%	7 642	6,50%	8 657	6,99%
25	Nhaconjo	31 712	5,96%	7 038	5,99%	7 041	5,68%
26	Chaimite	14 479	2,72%	3 277	2,79%	3 277	2,64%
Total		531 825	100,00%	117 588	100,00%	123 908	100,00%

Fonte: Autores (2023), com base em relatório do MB (2023)

Sob a ótica da densidade populacional, o MB apresenta uma média de 840,2 habitantes por quilômetro quadrado (CMB, 2023), valor alto quando comparado à média nacional, que é de apenas 41,6 habitantes por quilômetro quadrado (INE, 2024). Essa discrepância expressa o forte processo de urbanização e adensamento populacional no MB, além de ressaltar potenciais desafios associados à gestão urbana sustentável, como saneamento, habitação, mobilidade e gestão de resíduos sólidos.

A alta densidade, associada à ocorrência substancial de assentamentos subnormais, pode ser interpretada como uma condição favorável à vulnerabilidade socioecológica, especialmente em contextos de risco climático e pressões socioambientais. Nesse sentido, o perfil demográfico e as características estruturais da população do MB serão examinados com maior profundidade no primeiro mecanismo causal do presente estudo, dedicado à análise

diagnóstica da VSE do território. Este diagnóstico será fundamental para compreender as dinâmicas populacionais, os padrões de ocupação do solo e a exposição diferenciada das comunidades frente aos impactos ambientais e climáticos.

Entre 2019 e 2021, o MB foi severamente afetado por eventos climáticos extremos, sobretudo inundações, que provocaram impactos significativos sobre a população e infraestrutura urbana. De acordo com dados do MB (CMB, 2023), aproximadamente 11.060 habitantes e 81.507 famílias foram diretamente atingidos por esses eventos. O número de casas inundadas alcançou 86.233 e 2.352 habitações foram completamente destruídas, evidenciando o grau de vulnerabilidade das construções e a precariedade das infraestruturas habitacionais em determinadas áreas da cidade (ver Tabela 7).

Tabela 7 - Impacto de eventos climáticos sobre a população do MB

Nº	bairro	peçoas afetadas	família afetadas	casas inundadas	casas totalmente destruídas
1	Macuti	1 016	2 905	2 200	4
2	Chipangara	3 200	670	670	3
3	Ponta Gea	150	20	1 230	4
4	Chaimite	2 624	536	27	2
5	Pioneiros	90	40	40	0
6	Esturro	656	255	237	0
7	Matacuane	289	40	40	36
8	Macurrungo	23 534	5 712	10	8
9	Munhva	37 000	7 400	37 000	7
10	Mananga	25 011	4 240	4 220	33
11	Vaz	50 585	3 114	1 704	3
12	Maraza	1 788	8	349	14
13	Chota	2 195	144	135	4
14	Alto da Manga	121	360	200	3
15	Nhaconjo	29	6	0	5
16	Chingussura	412	803	100	6
17	Vila Massane	90	30	72	10
18	Inhamizua	0	0	0	7
19	Matadouro	324	244	940	127
20	Mungassa	11 060	36 520	8 737	217
21	Ndunda	9 200	18 400	9 200	196
22	Manga Mascarenha	3 450	60	19 122	360
23	Muavi	0	0	0	24
24	Nhangau	0	0	0	883
25	Nhangoma	0	0	0	156
26	Tchonja	0	0	0	240
TOTAL		172 824	81 507	86 233	2 352

Fonte: Autores (2023), com base em relatório do MB (2023)

As zonas mais críticas compreendem os bairros Vaz, Munhava Central e Mananga, que concentraram os maiores números de pessoas afetadas, com 50.585, 37.000 e 25.011 indivíduos impactados, respectivamente. Estes bairros têm alta densidade populacional, ocupação informal do solo, infraestrutura de drenagem frágil e localização em zonas de planície costeira, fatores que amplificam os riscos associados às inundações.

As projeções climáticas mais recentes do Instituto Nacional de Meteorologia (INAM, 2024) apontam para um agravamento desse cenário nos próximos anos. O aumento da frequência e intensidade das inundações está fortemente relacionado a dois fatores interdependentes: (i) mudanças na dinâmica do uso e ocupação do solo, como o crescimento urbano desordenado, impermeabilização do solo e supressão de áreas naturais de escoamento; e (ii) os efeitos das mudanças climáticas, que alteram os padrões de precipitação, elevam o nível do mar e aumentam a ocorrência de eventos meteorológicos extremos.

Essas projeções colocam em evidência a necessidade urgente de diagnósticos mais aprofundados sobre a VSE das áreas urbanas afetadas. Neste sentido, este estudo propõe analisar a vulnerabilidade a partir de um mecanismo causal 1, que será detalhado na próxima seção, considerando os perfis sociodemográficos, as condições habitacionais, os níveis de exposição e a vulnerabilidade da população residente.

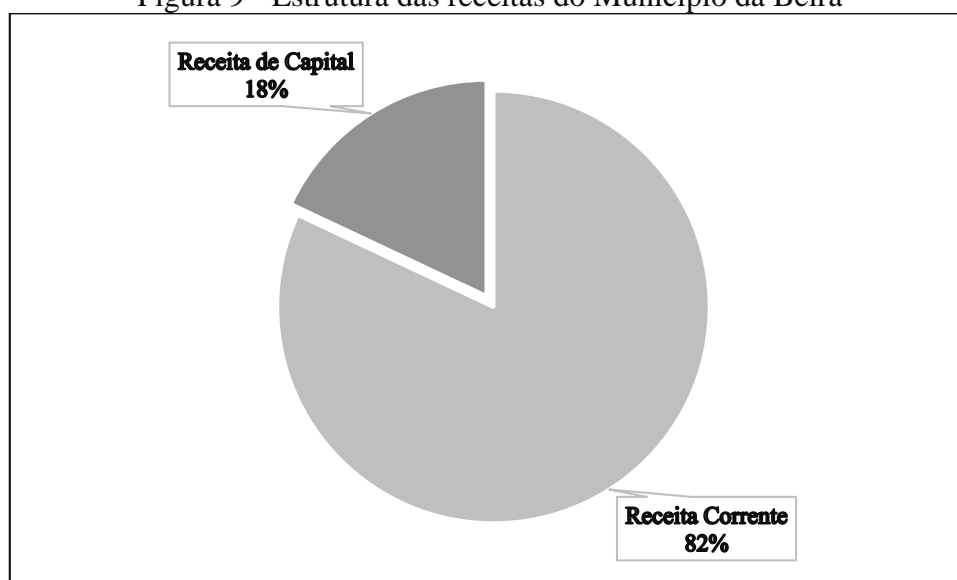
3.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

O MB tem um Produto Interno Bruto (PIB) estimado em 848.229.037,48 Meticais Moçambicanos (aproximadamente USD 13.274.319,84 ao câmbio de 2023), conforme dados oficiais do Relatório Anual de Desempenho Econômico e Financeiro (MB, 2023). Este valor resulta num PIB *per capita* de apenas USD 24,96 por habitante, o que evidencia uma situação de significativa limitação da capacidade econômica média individual da área. Este indicador está muito abaixo da média nacional, que, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022), se situa em torno de USD 582 por habitante/ano, uma discrepância de mais de 22 vezes entre o *per capita* do município e o nacional. Essa discrepância resulta da distribuição desigual de recursos a nível nacional e de níveis assinaláveis de corrupção, evidenciados em relatórios do Índice de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2022), do Índice de Gini (*Our World in Data*, 2025) e do Índice de Percepção à Corrupção (*Transparency International*, 2022).

A estrutura da composição do PIB do MB mostra uma forte dependência de receitas correntes, que correspondem a 82% do total. Estas receitas advêm majoritariamente de fontes tributárias, tais como impostos municipais (como o imposto predial autárquico, taxas de

mercado, licenciamento comercial, entre outros). Já os restantes 18% são oriundos de receitas de capital, compostas por donativos externos e transferências de capital provenientes do Governo Central, geralmente associadas a programas de investimento público, financiamento de infraestrutura e projetos de cooperação internacional. Este quadro orçamentário revela uma forte dependência do sistema tributário local — que por sua vez está diretamente relacionado ao grau de formalização da economia — uma limitação estrutural em atrair investimentos privados de grande escala. Adicionalmente, o município ocupa uma área urbana e periurbana de aproximadamente 634,5 km², segundo os dados cartográficos e censitários do INE (2024), com uma densidade populacional crescente e um padrão de urbanização desordenada em diversos bairros, o que contribui para a exposição desigual dos territórios aos riscos climáticos e socioambientais.

Figura 9 - Estrutura das receitas do Município da Beira

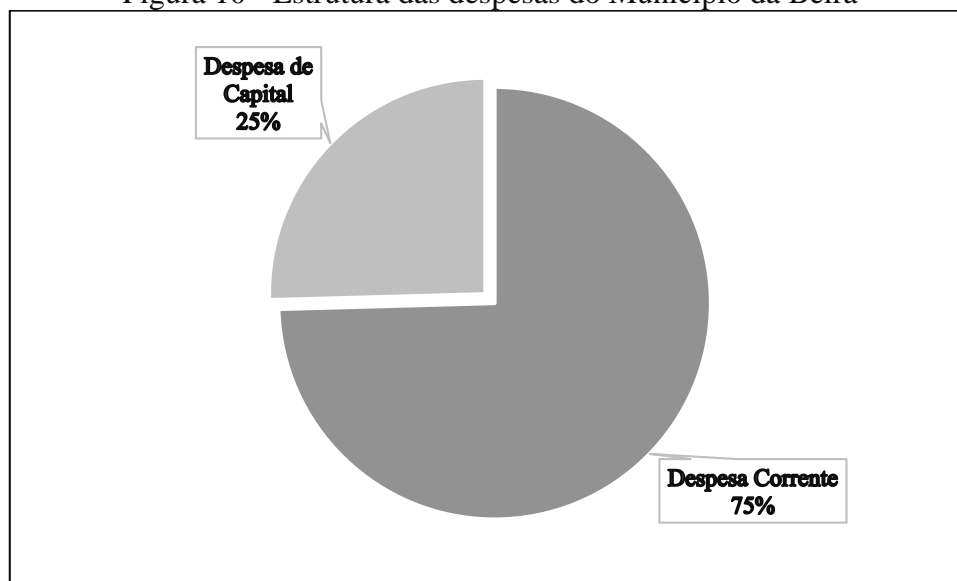


Fonte: Autor (2023) com base em dados do MB, (2023)

Em 2022, as despesas totais executadas pelo MB foram de 861.145.029,03 Meticais, equivalentes a aproximadamente USD 13.476.448,03, com base na taxa de câmbio média do período. A análise da estrutura dessas despesas revela uma forte predominância de despesas correntes, que representaram 75% do total executado — cerca de 645.858.771,77 MZN (USD 10.107.336,02). Essas despesas compreenderam os gastos com remuneração de pessoal, transferências correntes para instituições e agentes comunitários, regularizações de exercícios findos e aquisição de bens e serviços indispensáveis à manutenção das funções administrativas e operacionais da edilidade. Este padrão orçamentário sugere que há uma pressão constante sobre os recursos financeiros para assegurar o funcionamento rotineiro da administração pública, o que tende a limitar a capacidade de investimento estratégico de longo prazo.

Por outro lado, as despesas de capital corresponderam a 25% do orçamento executado, totalizando aproximadamente 215.286.257,26 MZN (USD 3.369.112,01). Essas despesas referem-se principalmente à aquisição de bens de capital, à realização de investimentos públicos em infraestrutura, à execução de obras públicas, à transferências de capital para projetos locais, e à outras despesas vinculadas à expansão da capacidade instalada do município, especialmente nas áreas de urbanismo, saneamento básico, drenagem e reabilitação de espaços urbanos.

Figura 10 - Estrutura das despesas do Município da Beira



Fonte: Autor (2023) com base em dados do MB, (2023)

Apesar do esforço de alocar parte significativa dos recursos em investimentos de capital, o município encerrou o exercício de 2022 com um déficit orçamentário da ordem de USD 202.128,19, evidenciando um desequilíbrio entre receitas e despesas. Esse déficit reflete desafios estruturais relacionados à baixa capacidade de arrecadação fiscal local, à dependência de transferências externas e à dificuldade de ajustar os gastos públicos em ritmo com as receitas. Em um contexto de crescente vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, tal desequilíbrio pode comprometer a capacidade da gestão municipal de responder de forma adequada aos riscos e às necessidades da população.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO DOS MECANISMOS CAUSAIS DA PESQUISA

Esta seção, contém uma análise pormenorizada dos resultados obtidos para cada um dos mecanismos causais identificados ao longo do percurso investigativo. Os resultados permitem formular inferências que dialogam diretamente com os objetivos da pesquisa. Esses resultados são expostos em forma de artigos, nos quais cada mecanismo é examinado de forma isolada, mas dentro do contexto teórico e empírico que o fundamenta, permitindo uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas causais envolvidas no fenômeno em estudo.

Concluída a discussão individualizada dos três mecanismos causais, a investigação busca chegar a uma síntese interpretativa de caráter integrador. Essa etapa consiste na construção de uma conclusão geral, sustentada pela articulação lógica, relacional e sistêmica entre os mecanismos anteriormente analisados.

Tal articulação permite compreender de maneira mais ampla e consistente os nexos causais subjacentes à problemática investigada. Fornece, assim, os elementos necessários para responder de forma substantiva à pergunta de pesquisa que orientou o presente estudo. Trata-se, portanto, de uma conclusão que não apenas sistematiza os achados empíricos e teóricos, mas que os reconfigura a partir de uma perspectiva holística e dialética, revelando as implicações analíticas mais relevantes e contribuindo para o avanço do conhecimento no campo temático abordado.

4.1 MECANISMO CAUSAL 1: ANÁLISE DA VSE DO MB (ARTIGO 1)

Situação do artigo	Publicado no dia 31 de julho 2025 na Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (2025): 12(31): 1-15. ISSN 2359-1412 https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123103 Link: https://revista.ecogestaobrasil.net/v12n31/v12n31a04a.html
---------------------------	---

Resumo. Os eventos críticos climáticos vêm se intensificando ao longo do tempo, fundamentalmente em decorrência da mudança climática. Esses eventos têm causado uma série de impactos negativos, principalmente no seio dos países subdesenvolvidos, que têm participação no mercado global de emissões de gases de efeito de estufa. O MB, localizado no centro de Moçambique, não é uma exceção. Ela vem sofrendo ciclicamente com esses eventos, agudizando os seus já precários indicadores de desenvolvimento humano, e elevando concomitantemente os seus níveis de VSE. Foi nessa conjuntura que a presente pesquisa se centrou, procurando avaliar a dimensão da VSE do MB, refletindo simultaneamente em alternativas de AC, tendo como recorte territorial, os bairros de Munhava e Nhangau. Para a operacionalização metodológica, o estudo desenvolveu uma pesquisa de campo para obter dados socioeconômicos, por meio de entrevistas e de observação participante. O estudo adotou uma amostragem simples probabilística, que abarcou 859 famílias, tendo abrangido 587 e 272

famílias nos Bairros de Munhava e Nhangau, respectivamente. Para obter dados de suscetibilidade biofísica, recorreremos a dados espaciais (SRTM⁹, *Landsat 9*, *Global Floods* e *GPM*¹⁰) para identificar as características topográficas, NDVI, a precipitação e as áreas inundáveis. O estudo conclui que a área de estudo registra uma alta VSE. As condições socioeconômicas têm um peso maior nessa constatação do que a suscetibilidade biofísica da área. A pesquisa concluiu igualmente que ações centradas na adaptação transformacional e baseadas em ecossistemas contribuiriam para a redução da VSE.

Palavras-chave: VSE; Vulnerabilidade socioeconômica; Suscetibilidade biofísica.

Abstract. Critical climate events have been intensifying over time, due to climate change. These events have had a series of negative impacts, primarily in underdeveloped countries, with residual effects on participation in the global greenhouse gas emissions market. The City of Beira, located in central Mozambique, is no exception. It has cyclically suffered from these events, worsening its already precarious human development indicators, and concomitantly increasing its levels of socio-ecological vulnerability. It was within this situation that this research was focused, seeking to evaluate the dimension of socio-ecological vulnerability in the Municipality of Beira, simultaneously reflecting on alternatives for climate adaptation, taking the Neighbourhoods of Munhava and Nhangau as its territorial focus. For methodological operationalisation, the study developed field research to obtain socioeconomic data. Operationalisation involved conducting interviews and participant observation to gather data. In this logic, simple probabilistic sampling was adopted, which covered 859 families, covering 587 and 272 families in the neighbourhoods of Munhava and Nhangau, respectively. To obtain biophysical susceptibility data, spatial data (SRTM, Landsat 9, Global Floods, and GPM) were used to calculate territorial slope, NDVI, precipitation and floodable areas. The study concluded that the study area records a high socio-ecological vulnerability. Socioeconomic conditions had a greater impact on the biophysical susceptibility of the area. The research also concluded that actions focused on transformational adaptation, based on ecosystems, would contribute to reducing socio-ecological vulnerability.

Keywords: Socio-ecological vulnerability; Socioeconomic vulnerability; Biophysical susceptibility.

4.1.1 Breve contextualização

Esse mecanismo causal tem como propósito aprofundar a compreensão das diferentes dimensões da vulnerabilidade socioecológica, tanto socioeconômica, quanto biofísica, articulando três componentes fundamentais: risco, exposição e vulnerabilidade das populações humanas e dos sistemas naturais diante das ameaças impostas pelas mudanças climáticas. O enfoque recai, sobretudo, sobre os efeitos derivados da intensificação dos eventos climáticos extremos — tais como inundações recorrentes, a incidência de ciclones tropicais e o processo

⁹ *Shuttle Radar Topography Mission*

¹⁰ *Global Precipitation Measurement*

gradual, mas persistente, de elevação do nível do mar — que configuram riscos significativos à estabilidade territorial e ao bem-estar social.

4.1.2 Referencial metodológico

O mecanismo causal em análise se estruturou em quatro etapas interdependentes e metodologicamente articuladas. Primeiramente, fizemos o mapeamento dos bairros considerados considerados mais vulneráveis no município da Beira, com o objetivo de compor a amostra da investigação. Essa seleção foi fundamentada em dados secundários disponibilizados por diferentes instituições de referência, como o Conselho Municipal da Beira (CMB, 2023), o Instituto Nacional de Meteorologia (INAM, 2024) e o Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres (INGD, 2022).

Em seguida, redimensionamos os indicadores de vulnerabilidade do sistema socioecológico, de modo a ajustá-los às dinâmicas específicas do município da Beira. Isso teve como base referenciais teóricos e metodológicos, os modelos propostos por Kaztman, (2000), Moser, (1998), Perez *et al.*, (2020) e Ojima; Marandola Jr, (2013), que permitiram adaptar e operacionalizar variáveis mais adequadas ao contexto local.

A terceira etapa consistiu na elaboração de representações cartográficas e gráficas, com vistas a espacializar e interpretar a vulnerabilidade socioecológica a partir de diferentes camadas de informação. Utilizamos, para tanto, técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), contemplando variáveis ambientais como cobertura vegetal, características do solo, relevo, proximidade de corpos d'água, elevação, condições climáticas, regimes de precipitação e ocorrência de eventos extremos. As bases de dados foram derivadas principalmente dos sensores dos satélites *Landsat* e *Sentinel*, processadas em plataformas como o *Google Earth Engine* e o QGIS, além de informações climáticas provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INAM).

A quarta etapa envolveu a coleta de dados primários (por meio de entrevistas e observações *in loco*), com foco nas dimensões constitutivas da vulnerabilidade socioecológica (VSE), de acordo com a literatura especializada. Foram consideradas as quatro dimensões propostas por Moser (1998) e Kaztman (2000) — capital humano, capital social, capital financeiro e capital físico-natural —, permitindo uma análise integrada das interações entre os fatores sociais, econômicos e ambientais que estruturam os níveis de vulnerabilidade no município.

4.1.3 Referencial teórico

A mudança climática tem sido nos últimos anos uma prioridade no desenho de políticas públicas a nível global, por causa do seu impacto sobre os sistemas naturais e humanos. Os sistemas socioecológicos fazem parte desse conjunto de prioridades, devido à crescente demanda pelos serviços ecossistêmicos para satisfazer as demandas de uma população mundial em crescimento. O espaço urbano, influenciado fundamentalmente por mudanças no uso da terra, tem sido palco dessa alteração na dinâmica de composição e funcionamento de sistemas socioecológicos. Essas alterações resultam em impactos como redução da biodiversidade, efeitos de ilhas de calor urbanas e aumento das emissões de gases de efeito estufa impulsionados pelo maior consumo de energia urbana, disponibilidade de recursos hídricos e mudanças de qualidade associadas à redução da infiltração de água e recarga de águas subterrâneas, aumento do pico de fluxos de águas superficiais, erosão do solo e descargas de poluentes (Ferreira *et al.*, 2016; Guetté *et al.*, 2017; Gunawardena; Wells; Kershaw, 2017; Kalantaria *et al.*, 2016).

Adicionalmente, Adger, (1999), afirma que as ligações entre os subsistemas ecológico e social são aqui vistas através da lente da dependência de recursos (fluxo do subsistema social para o subsistema ecológico). Portanto, compreender como as ligações socioecológicas internas funcionam contra os fatores externos é fundamental para informar eficazmente a tomada de decisões (Thiault *et al.*, 2018). Os impulsionadores dessas ligações podem ser sociais (por exemplo, mudanças nas configurações socioeconômicas e governança) ou biofísicos (por exemplo, mudanças extremas, eventos climáticos ou mudanças espaço-temporais na distribuição das espécies), (Bennett *et al.*, 2016; Fischer *et al.*, 2015). Thiault *et al.*, (2018) ressaltam que as mudanças na vulnerabilidade ecológica não se propagam linearmente às mudanças na vulnerabilidade social. Os mesmos autores afirmam que da mesma forma, os pontos críticos de vulnerabilidade social não estão necessariamente associados aos pontos críticos de vulnerabilidade ecológica, realçando a necessidade de adaptar especificamente as intervenções de gestão aos contextos socioecológicos locais. Os autores destacam igualmente que o mapeamento das dependências socioecológicas no espaço e no tempo fornece às comunidades e aos decisores as informações necessárias para identificar e priorizar as intervenções de gestão, ao mesmo tempo que contabilizam os efeitos dos fatores externos ou de grande escala. Fischer *et al.*, (2015), sublinham que alcançar tais objetivos envolve navegar em sistemas socioecológicos complexos, tendo em conta as interações e interdependências entre a natureza humana e a influência de factores externos sobre ela.

Assim, diante da relação conflitante e complexa entre sistemas sociais e ecológicos, como acima descrito, surge na literatura a preocupação com a conceptualização da expressão sistema socioecológico (aglutinação dos dois sistemas), com a finalidade, sobretudo, de construir indicadores para a sua avaliação e monitoramento. Folke Carl Biggs *et al.*, (2016); Preiser *et al.*, (2018); Schlüter *et al.*, (2019), definem sistemas socioecológicos como sistemas adaptativos complexos em que os fatores e agentes sociais e ambientais interagem estreitamente e onde tais interações entre os componentes impulsionam as mudanças. Para Gotts *et al.*, (2019), sistemas socioecológicos consistem na interação de componentes biofísicos e atores sociais (individuais e coletivos). Os mesmos autores avançam que eles são invariavelmente complexos em sua dinâmica, e que a maioria, senão todos, fornecem serviços ecossistêmicos essenciais à humanidade. Holzer; Carmon; Orenstein, (2018) referem que pesquisas socioecológicas se centram em aspectos de sistemas socioecológicos acoplados, sistemas integrados nos quais interagem os humanos e a natureza. Perspectivas integrativas humanos-natureza, como sistemas socioecológicos ou acoplados humanos-natureza, consideram a atividade econômica (social), uma característica humana que ocorre dentro de um sistema natural maior e finito (ecológico). Essas perspectivas são agendas de pesquisa que têm sido cada vez mais levadas em conta, após diagnósticos globais do estado dos serviços ecossistêmicos (Leemans; Groot, 2003). Segundo González *et al.*, (2016), os indicadores ecológicos incluem quantidades físicas (temperaturas, níveis de luz, medições hidrológicas, concentrações de substâncias químicas), medidas biofísicas (biomassa, respiração, detritos), abundância de espécies e biodiversidade e medidas de rede (teias alimentares, níveis tróficos, medidas biofísicas em diferentes níveis tróficos). Enquanto que os indicadores sociais, segundo Abbott; Wallace, (2012), incluem saúde e bem-estar individual, capital social e medidas de desigualdade, confiança e coesão social, crime e violência, uso indevido de álcool e outras drogas, estrutura e funcionamento familiar.

Os sistemas socioecológicos estão igualmente sujeitos a vulnerabilidades, principalmente no contexto atual, de um clima em constante mudança. Por via disso, vários autores têm se dedicado na conceptualização do termo vulnerabilidade, associado principalmente a sistemas socioecológicos. O IPCC (2014) define vulnerabilidade como propensão ou predisposição de sistemas humanos e naturais a serem negativamente afetados, enfatizando fatores sociais, institucionais, econômicos e ambientais que limitam a capacidade de responder, lidar ou se recuperar diante dos impactos. Ou seja, a vulnerabilidade deixou de ser tratada como um construto independente e passou a ser incorporada ao quadro conceitual

de risco, no qual o risco é concebido como função de três dimensões: perigo (*hazard*), exposição e vulnerabilidade (IPCC, 2014).

Ao longo das últimas décadas, o conceito de vulnerabilidade às mudanças climáticas, tal como delineado nos relatórios sucessivos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), sofreu uma evolução teórica e metodológica significativa, refletindo tanto avanços científicos quanto mudanças nas agendas de pesquisa e políticas de adaptação. Nos primeiros relatórios, particularmente no Terceiro Relatório de Avaliação (IPCC, 2001), a vulnerabilidade foi definida como uma função de três dimensões interdependentes: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Essa formulação estabeleceu um quadro analítico que permitia compreender a vulnerabilidade como a resultante da intensidade da exposição a um determinado perigo climático, da sensibilidade dos sistemas humanos e naturais a esses impactos e da capacidade dos mesmos sistemas de se adaptarem e responderem a tais pressões (IPCC, 2001).

No Quarto Relatório de Avaliação (IPCC, 2007), essa tríade conceitual foi mantida e aprofundada, reforçando a ideia de que a vulnerabilidade emerge de uma articulação complexa entre fatores socioeconômicos e biofísicos. Nessa perspectiva, a vulnerabilidade não era apenas uma característica intrínseca dos sistemas, mas um construto relacional que dependia da interação entre a exposição a perigos climáticos, o grau de sensibilidade e a eficácia das respostas adaptativas possíveis (IPCC, 2007).

Porém, a partir do Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2014), ocorre uma mudança paradigmática importante. O IPCC passou a adotar o conceito de risco como eixo central da análise, deslocando a vulnerabilidade de sua posição estruturante para integrá-la como um dos componentes do risco climático, ao lado da exposição e do perigo (*hazard*). Nesse novo enquadramento, o risco é concebido como o resultado da interação dinâmica entre: (i) a ocorrência e intensidade dos eventos climáticos extremos ou mudanças graduais (*hazards*), (ii) a exposição de populações, ecossistemas e infraestruturas, e (iii) a vulnerabilidade, entendida como a propensão ou predisposição a ser negativamente afetado (IPCC, 2014). Esse reposicionamento conceitual teve como efeito dar protagonismo à exposição, que deixa de ser apenas uma variável associada à vulnerabilidade para adquirir estatuto analítico próprio no interior do esquema de risco. Assim, a exposição “ganha vida própria”, sendo considerada em termos espaciais, demográficos, econômicos e institucionais, permitindo análises mais refinadas da distribuição desigual dos riscos.

O Sexto Relatório de Avaliação (IPCC, 2022) consolidou esse enquadramento centrado no risco, enfatizando que a vulnerabilidade, embora ainda central, deve ser analisada em sua

interface com fatores contextuais como desigualdade social, governança, justiça climática e processos históricos de exclusão. O risco climático passa a ser compreendido como resultado não apenas da interação entre perigo, exposição e vulnerabilidade, mas também como expressão das múltiplas crises sistêmicas que moldam as sociedades contemporâneas. A exposição, nesse contexto, deixa de ser tratada apenas como dado geográfico ou físico, tornando-se expressão de processos sociais de ocupação do território, urbanização desigual, pobreza e ausência de infraestrutura, ampliando o escopo analítico e político das avaliações (IPCC, 2022).

A trajetória do conceito de vulnerabilidade no âmbito do IPCC revela um movimento de crescente complexificação teórica: de um modelo inicial baseado em três componentes interdependentes (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa) para uma abordagem integrada ao conceito de risco, na qual a exposição assume centralidade e autonomia analítica. Essa evolução não apenas reflete avanços científicos, mas também possibilita análises mais robustas sobre como diferentes grupos sociais e ecossistemas são desigualmente afetados pelas mudanças climáticas, fornecendo subsídios mais precisos para a formulação de estratégias de adaptação e de justiça climática.

Noutra vertente, de ponto de vista de enfoque analítico de VSE, a pesquisa sobre a vulnerabilidade dos sistemas socioecológicos, antes de compor uma linha teórica coesa, envolve um conjunto de perspectivas que oscilam entre abordagens mais sociais e abordagens mais biofísicas (Lindoso, 2017). As primeiras, agrupadas no âmbito da vulnerabilidade, abordam como uma construção social - raízes históricas - e explicada por causas econômicas, políticas e culturais que reduzem a capacidade dos sistemas de prevenir ou responder satisfatoriamente a choques externos (Adger; Kelly, 1999). No outro extremo, existem as perspectivas de vulnerabilidade biofísica, para as quais a perturbação natural ou biofísica é central na construção da vulnerabilidade, que pode ser descrita como resultado de interações entre um local/população e um fator de exposição específico (Burton, Inan, 1997). Entretanto, abordagens híbridas que integram vulnerabilidade social e biofísica estão integradas têm proliferado na pesquisa sobre alterações climáticas globais (Iwama, Allann Yu *et al.*, 2016).

Para fins da presente reflexão, adotamos o conceito de vulnerabilidade proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), no qual a noção de risco passa a ocupar uma posição central na análise, enquanto a dimensão da exposição adquire autonomia conceitual e estatuto analítico próprio. Para o conceito de sistemas socioecológicos, as abordagens de Folke, Carl, Biggs *et al.*, (2016); Preiser *et al.*, (2018); Schlüter *et al.*, (2019) e Gotts *et al.*, (2019) são apropriados. Eles concebem sistemas socioecológicos como acoplados

(sistemas sociais e ecológicos), numa interação permanente com fatores exteriores, gerando mudanças e potenciais impactos. Por último, a pesquisa adota o modelo de avaliação de VSE híbrida (Iwama, Allann Yu *et al.*, 2016), porque pretende captar de forma holística e acoplada, variáveis de sistemas sociais e ecológicos, procurando entender a sua relação dialética e correlacional.

4.1.4 Resultados e discussão

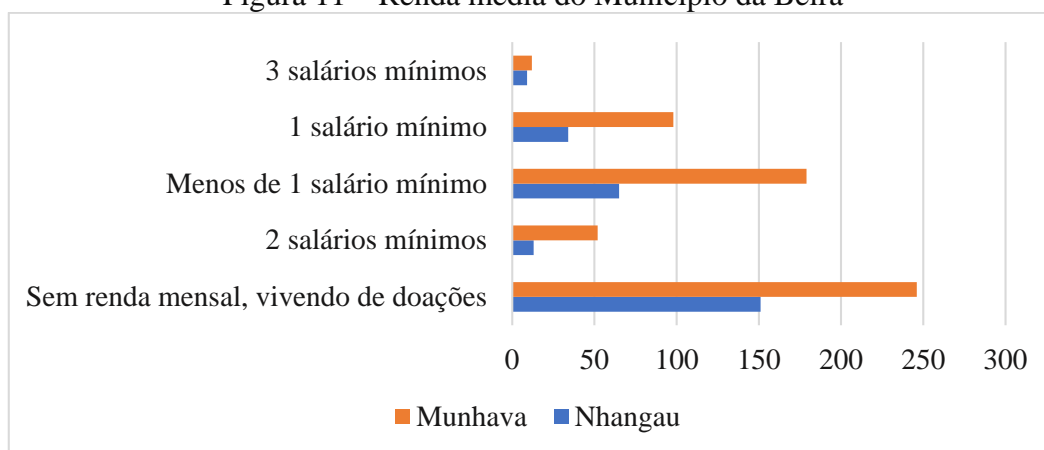
A apresentação e discussão de resultados, conforme abordado na seção referente à metodologia, recaiu sobre uma amostra de 859 famílias (casas). Essa amostra foi repartida em dois bairros, nomeadamente: Munhava e Nhangau. No bairro de Munhava entrevistamos um universo de 587 famílias, correspondentes a 10,03% da população da daquele bairro, enquanto que o universo amostral do bairro de Nhangau foi de 272 famílias, equivalente a 13,55% da sua população. Durante cerca de três meses, com o auxílio de jovens pesquisadores locais (finalistas de graduação da Universidade Zambeze), coletamos dados que permitem avaliar a dimensão da VSE dos dois bairros, acima referenciados. Os dados coletados enquadram-se em seis categorias de análise (Chang *et al.*, 2015), nomeadamente: (i) renda das famílias; (ii) criticidade da densidade populacional; (iii) criticidade das condições habitacionais; (iv) adequação e/ou inadequação de saneamento básico; (v) grau de escolaridade; e (vi) criticidade na gestão de resíduos gerados. Por outro lado, como a pesquisa adotou uma abordagem híbrida de avaliação da dimensão da VSE, considerando variáveis socioeconômicas e biofísicas (Adger, 1999; Adger; Kelly, 1999; Burton, I., 1997; Iwama, Allan Yu *et al.*, 2016; Lindoso, 2017), levamos em conta igualmente aspectos de sensibilidade biofísica (Burton, I., 1997), repartidos em seis categorias de análise (Chang *et al.*, 2015), a saber: (i) declividade territorial; (ii) densidade de drenagem; (iii) chuvas fortes (≥ 50 mm/dia); (iv) dinâmicas do uso da terra; (v) erodibilidade do solo; e (vi) nível das águas do mar.

4.1.4.1 Dimensão da vulnerabilidade socioeconômica

Em relação à renda familiar, como um indicador fulcral para atender a capacidade de resposta a diferentes necessidades, incluindo em momentos de períodos pós-eventos climáticos (fortalecimento da capacidade adaptativa), (IPCC, 2014), a Figura 11 indica que parte significativa das famílias entrevistadas afirmou não dispor de renda, estando dependente de doações. A proporção é relativamente maior no bairro Nhangau, onde mais da metade das famílias inquiridas (55,5%) afirmou estar nessa situação. O salário mínimo no MB e em

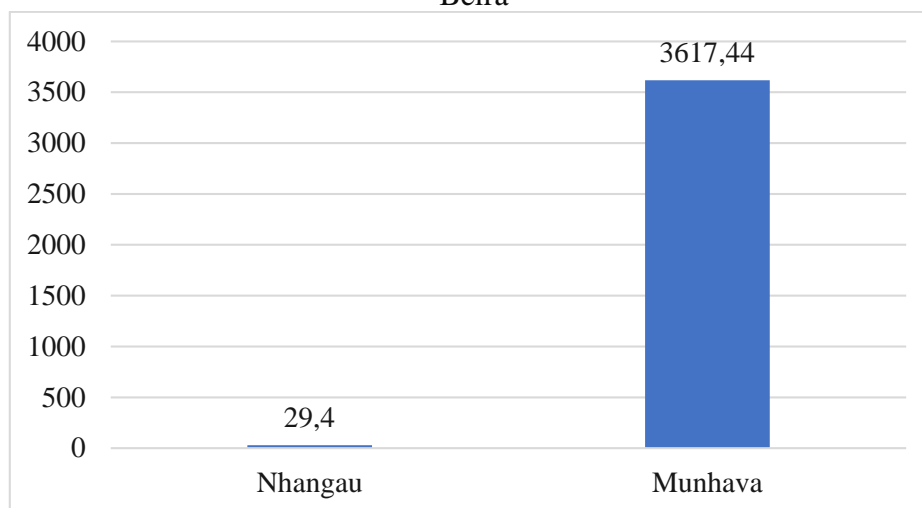
Moçambique é de 9.497,50 MT, segundo o Diploma Ministerial n.º 30/2024, de 22 de Maio, (Ministério da Economia e Finanças, 2024), o que equivale em dólar estadunidense a 148,93 USD (ao câmbio de 1 dólar para 63,77 meticaís) (Banco de Moçambique, 2024). Por outro lado, importa referir que nos últimos quatro anos, a economia do município, influenciada pelos indicadores macroeconômicos do país, tem desacelerado, resultando no aumento da taxa de juro e inflação, e sobretudo, na depreciação do poder de compra dos munícipes, (Instituto Nacional de Estatística, 2024). Este fato, reduz as possibilidades das famílias de responder a uma série de necessidades, para mitigar os seus níveis de VSE.

Figura 11 – Renda média do Município da Beira



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas; e CMB, (2023)

Figura 12 - Densidade populacional dos bairros de Nhangau e Munhava do Município da Beira

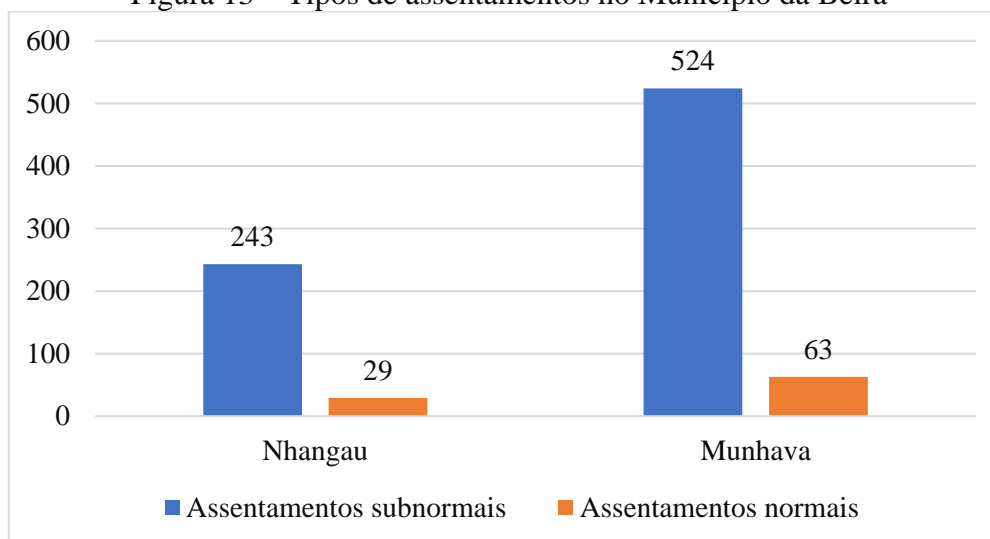


Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas; e CMB, (2023)

Além da renda das famílias nos dois bairros, a pesquisa explorou as dinâmicas de distribuição espacial da população amostral, enfocando-se no indicador relativo à densidade populacional. Segundo os dados da Figura 12, proporcionados pelo município, os bairros de Nhangau e Munhava têm uma densidade de 29,4 e 3617,44 habitantes por quilômetro

quadrado, respectivamente. A densidade populacional de Munhava está acima da média municipal, que é de 861 habitantes por quilômetro quadrado, e de Moçambique que é de 29 habitantes por quilômetros quadrados (Ministério de Administração Estatal e Função Pública, 2020), configurando-se num dos bairros mais densamente povoado do município. Esses volumes de densidade populacional podem ser críticos a avaliar pela ocorrência massiva de assentamentos subnormais e de sistemas de esgotos deficientes, como abordado mais adiante.

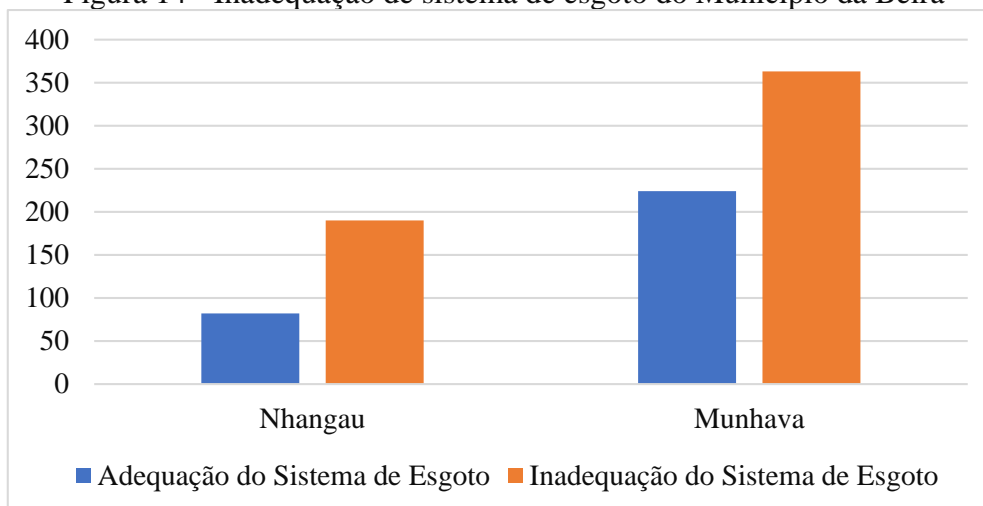
Figura 13 – Tipos de assentamentos no Município da Beira



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

As condições habitacionais, avaliadas pelos tipos de assentamentos (normais e *subnormais*), desempenham um papel importante no enfrentamento de eventos climáticos (Gates, 2021; IPCC, 2021). Os dados da Figura 13 evidenciam que parte substancial do conjunto de assentamentos dos dois bairros, têm dimensões subnormais. Os percentuais de assentamentos *subnormais* nos bairros de Nhangau e Munhava, de acordo com as observações feitas, foram de 89,3% e 89,3%, respectivamente. São proporções preocupantes, considerando o grau de exposição a eventos climáticos. Em termos absolutos, talvez pelo tamanho da população e da amostra, o bairro de Munhava, tem maior ocorrência de assentamentos *subnormais*, o que contribui para que essa área seja afetada cíclica e drasticamente por fenômenos climáticos, causando inúmeras perdas e danos, (CMB, 2023).

Figura 14 - Inadequação de sistema de esgoto do Município da Beira



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

A Figura 15 ilustra algumas características dos assentamentos *subnormais*. Durante a passagem do ciclone IDAI, em 2019 (considerado um dos piores eventos climáticos ocorridos no Hemisfério Sul), parte considerável desses assentamentos foi destruído, gerando inúmeras perdas e danos (INGD, 2022). A ocorrência massiva desse tipo de assentamentos é estimulada por um processo de urbanização espontânea e desordenada, que desafia os frágeis limites biofísicos da área, como abordaremos na seção referente a sensibilidade biofísica do território estudado.

As imagens constantes na Figura 15 ilustram as condições dos principais sistemas de esgoto da área. Em períodos chuvosos, esses sistemas sucumbem perante as exigências de escoar a água em tempo útil, por causa de um conjunto de fatores associados, nomeadamente: solos pantanosos, com elevada umidade (como abordaremos mais adiante) e a urbanização tendencialmente espontânea (com sistemas de drenagem concebidos, à margem dos princípios elementares de ordenamento territorial), (INGD, 2009).

Figura 15 – Sistema de esgoto nos bairros de Nhangau e Munhava



Fonte: Autores (2023)

Um aspecto que merece especial destaque nesta análise se refere à percepção da população quanto à funcionalidade do sistema de esgoto sanitário nos bairros estudados. De acordo com os dados obtidos, embora 30,1% dos residentes de Nhangau e 38,2% dos de Munhava tenham declarado ter algum tipo de adequação do sistema de esgoto em suas residências, parcelas expressivas dos entrevistados relataram que esses sistemas operam com deficiências consideráveis: 56,1% em Nhangau e 50% em Munhava.

Adicionalmente, 37,8% dos moradores de Nhangau e 25% dos de Munhava avaliaram o esgoto como apenas razoável, sem assegurar condições adequadas de saneamento. De forma ainda mais alarmante, apenas uma minoria — 6,1% em Nhangau e 25% em Munhava — considera que o sistema de esgotamento sanitário funciona de maneira plena e eficiente.

Essa radiografia evidencia a precariedade estrutural e a ineficiência generalizada das redes de esgoto em territórios que, pelas suas especificidades ambientais e sociais, dependem muito de infraestruturas básicas para ter condições mínimas de habitabilidade. Tal fragilidade é ainda mais preocupante dentro do cenário de agravamento das mudanças climáticas, no qual se projeta a intensificação e a frequência de eventos extremos, como inundações e ciclones (IPCC, 2021). Nesse contexto, a ausência de um sistema de esgoto funcional compromete a saúde pública e agrava significativamente a vulnerabilidade socioecológica desses bairros.

Figura 16 - Características dos assentamentos *subnormais* nos bairros de Nhangau e Munhava

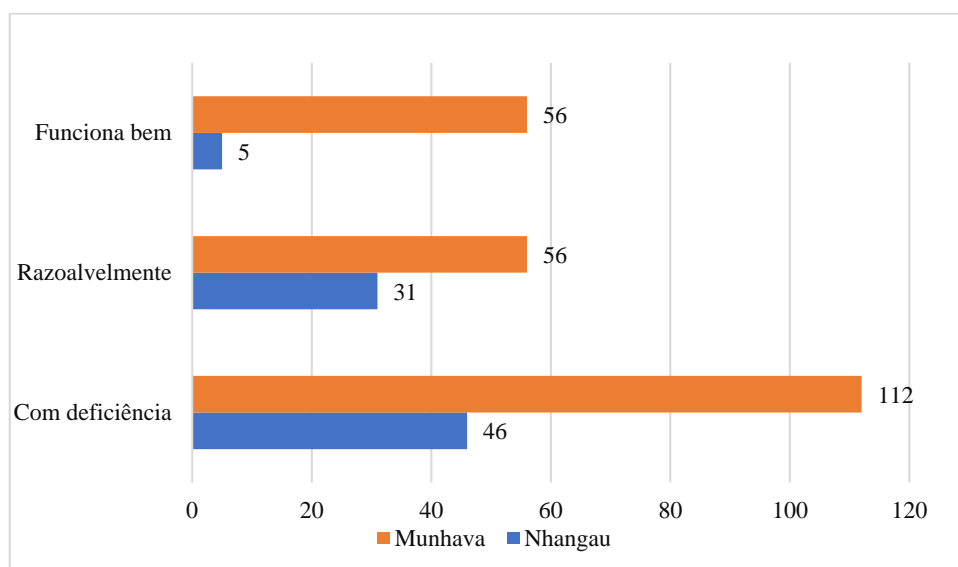


Fonte: Autores (2023)

Seguindo o mesmo padrão do registro massivo de assentamentos *subnormais* evidenciados na Figura 16, os serviços de saneamento básico (sistema de esgoto) igualmente são inadequados. Um sistema de esgoto inadequado pode causar inúmeras consequências negativas, destacando-se: danos à saúde humana, contaminação dos lençóis freáticos e eutrofização dos corpos d'água (Pimenta *et al.*, 2002). Nos bairros de Nhangau e Munhava 69,9% e 61,8% das residências, respectivamente, têm sistemas de esgoto inadequados. Portanto, a conjugação de assentamentos *subnormais* e de sistemas de esgoto inadequados,

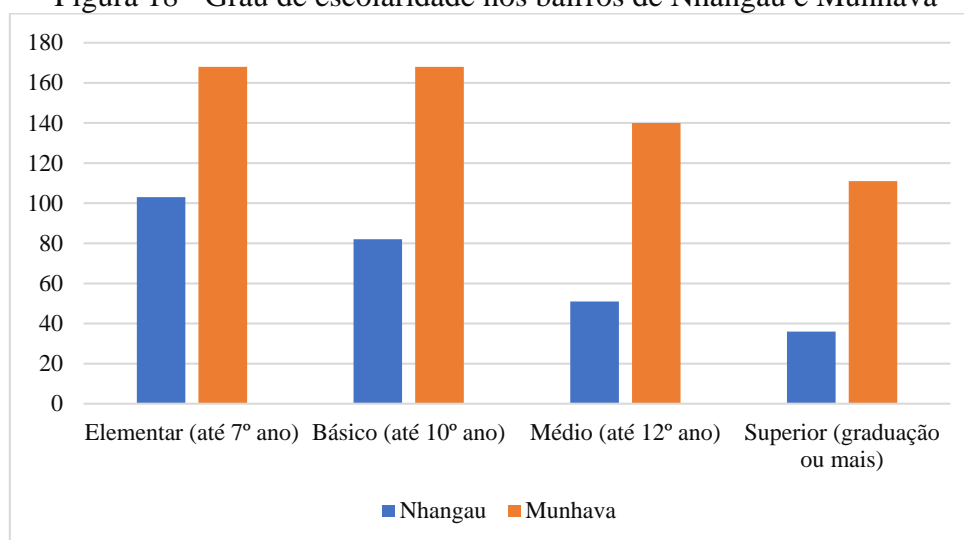
acentua significativamente a vulnerabilidade e ameaças assentes em sistemas socioecológicos. Estes dados são consubstanciados pelos relatórios do município (CMB, 2023) e da entidade gestora de desastres naturais (INGC, 2009), que indicam uma tendência de proliferação de doenças nesses territórios, como malária e cólera, que são enfermidades relacionadas ao tratamento e saneamento do meio.

Figura 17 - Funcionamento do sistema de esgoto dos bairros de Nhangau e Munhava



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

Figura 18 - Grau de escolaridade nos bairros de Nhangau e Munhava



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

O nível de escolaridade é um dos principais indicadores e fundamentos técnico-científicos para o acesso a meios de subsistência econômica, pois determina, em grande medida, as oportunidades de inserção qualificada no mercado de trabalho. A formação escolar

adequada potencializa a capacidade individual de compreender, interagir e atuar em diferentes contextos produtivos. E, portanto, um elemento estruturante da inclusão socioeconômica.

Os dados empíricos recolhidos nos dois bairros analisados revelam um cenário preocupante: mais da metade dos entrevistados declarou ter apenas formação elementar ou básica, ou seja, inferior ao nível médio de escolaridade. Esse dado é especialmente crítico, considerando que, de acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022), o nível médio de ensino (12.º ano) passou a ser o requisito mínimo predominante para o acesso a ocupações formais no mercado de trabalho moçambicano.

Adicionalmente, há uma relação direta entre o grau de escolaridade e o nível de remuneração obtido. Em geral, indivíduos com baixa qualificação escolar tendem a ocupar postos de trabalho informais ou de baixa complexidade técnica, caracterizados por salários baixos e ausência de garantias laborais e previdenciárias. Inversamente, níveis mais elevados de escolaridade ampliam as possibilidades de obter rendimentos mais altos e acesso a benefícios sociais e econômicos.

A elevada proporção de residentes com escolaridade inferior ao nível médio limita o fortalecimento das capacidades adaptativas da população. Tal limitação repercute negativamente na sua aptidão para satisfazer um conjunto diversificado de necessidades essenciais — como alimentação, saúde, habitação digna e educação dos filhos — e, compromete sobretudo, a sua resiliência frente aos múltiplos fatores de vulnerabilidade socioecológica (VSE). Em suma, o baixo capital educacional da comunidade evidencia uma tendência estrutural de reprodução da pobreza e da exclusão, enfraquecendo os mecanismos individuais e coletivos de superação da vulnerabilidade.

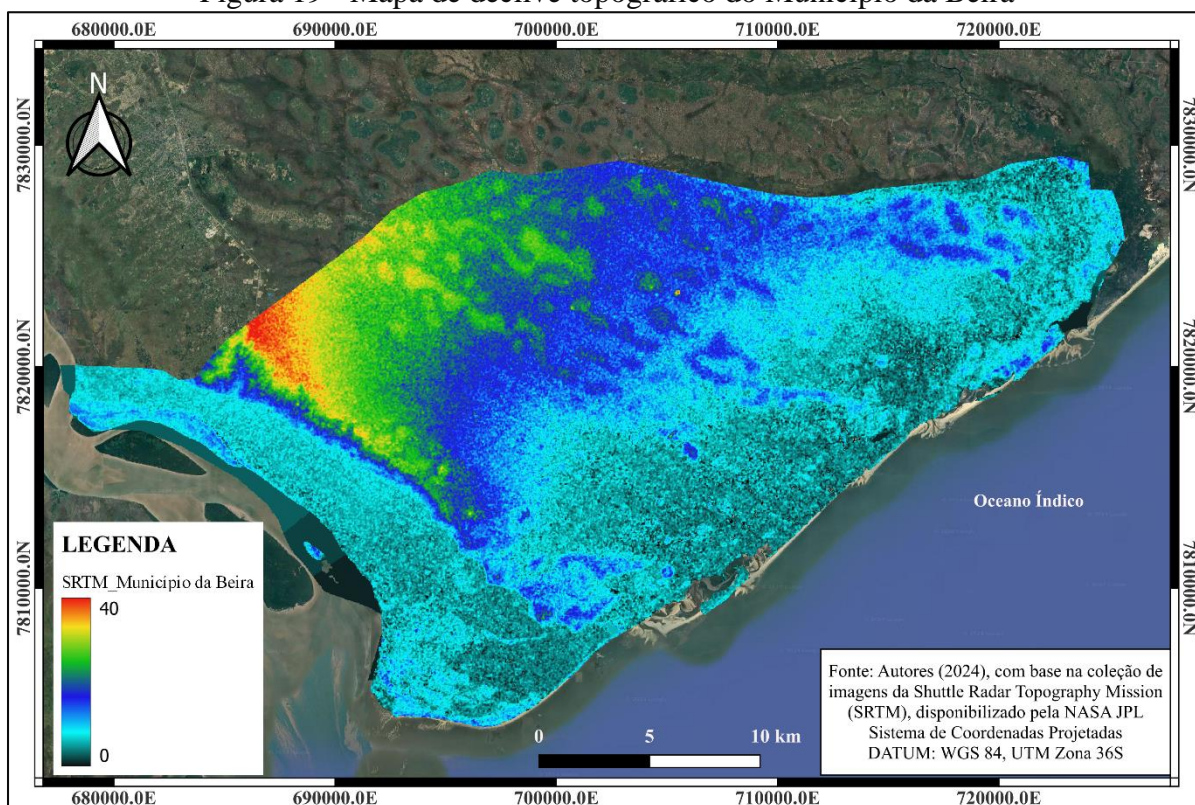
4.1.4.2 Dimensão da suscetibilidade biofísica

Essa dimensão explora os fatores naturais que propiciam a ocorrência de inundações nos dois bairros. Dessa forma, analisamos variáveis como: declividade topográfica, densidade de drenagem, chuvas fortes (≥ 50 mm/dia), dinâmicas do uso da terra (saúde da vegetação), erodibilidade do solo e nível das águas do mar.

Os dados de declividade topográfica, obtidos a partir do modelo digital de elevação, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), indicam uma disposição decrescente espacial, conforme ilustram as imagens da Figura 19. Ou seja, as regiões do *hinterland* têm altitudes maiores em relação ao nível médio das águas do mar, com valores próximos aos 40 metros. Por outro lado, as áreas próximas à zona costeira são mais baixas, variando entre 3 a 20 metros.

É nestas áreas de menor altitude que estão os dois bairros (Munhava e Nhangau). Essas áreas, predominantes ao longo da costa, são constantemente invadidas pelas águas do mar, por estarem abaixo do nível médio das águas do mar, (CMB, 2023; INGD, 2009). Por via disso, atualmente há o lançamento de um concurso internacional para selecionar um empreiteiro para executar obras de reabilitação e proteção costeira do município (CMB, 2023). As obras visam impedir o avanço das águas do mar para a área urbana.

Figura 19 - Mapa de declive topográfico do Município da Beira



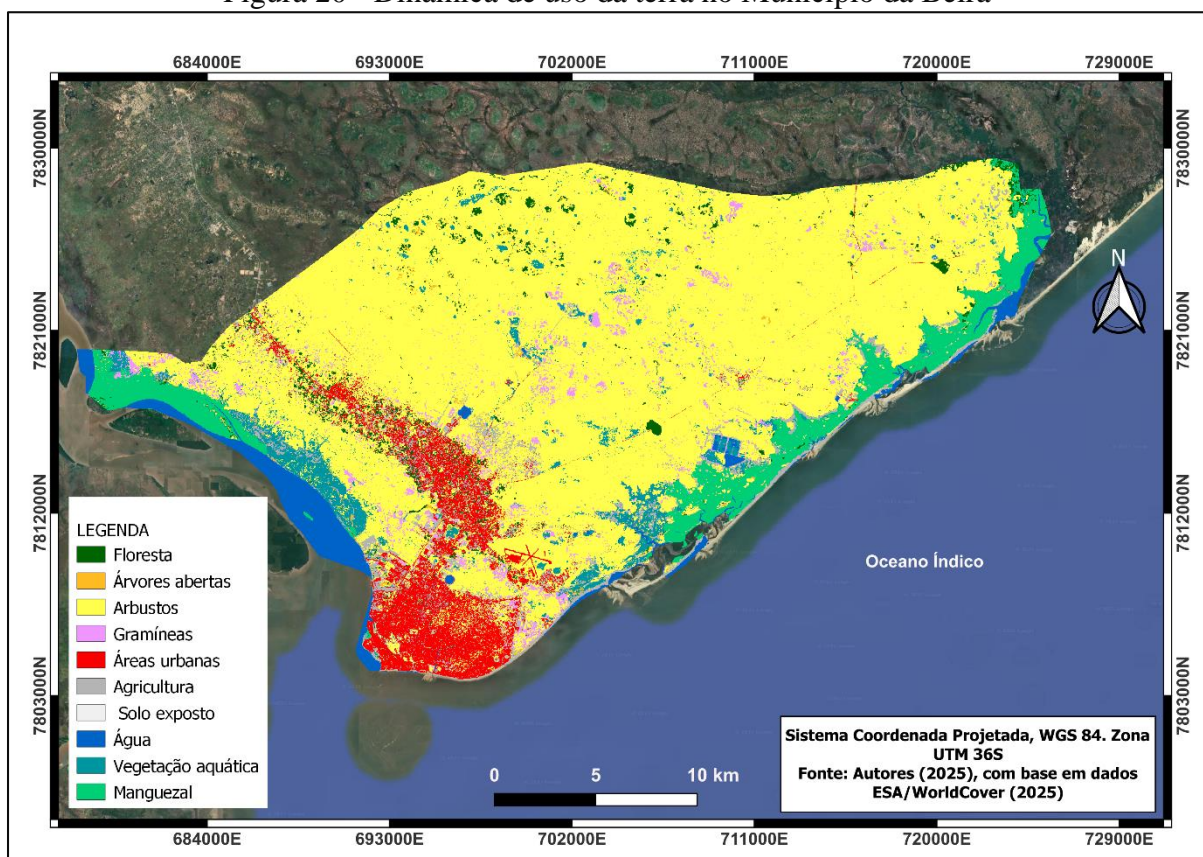
Fonte: Autores (2024), com base em dados do modelo digital de elevação, SRTM

A análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra no MB, ilustrada na Figura 20 revela que a maior parte de sua extensão territorial é composta predominantemente por formações de arbustos e vegetação esparsa, com ocorrência limitada de áreas cobertas por vegetação densa. Esse padrão reflete características ecológicas locais e processos históricos de ocupação do solo. Adicionalmente, o processo de urbanização tem se intensificado, sobretudo ao longo da faixa costeira, em zonas particularmente vulneráveis à erosão marinha. Essa vulnerabilidade decorre dos bairros em altitudes inferiores ao nível médio das águas do mar, o que os torna suscetíveis a inundações, intrusão salina e outros impactos associados à elevação do nível do mar.

Outro aspecto de destaque na paisagem costeira do MB é a presença significativa de ecossistemas de manguezal, que desempenham papel crucial na proteção do litoral, na

manutenção da biodiversidade e no sustento de atividades econômicas locais. Contudo, esses ecossistemas vêm sofrendo uma progressiva degradação, como a extração ilegal de madeira e a supressão vegetal promovida por comunidades residentes. Tal prática, motivada por finalidades domésticas (como lenha e construção) e comerciais, contribui para reduzir esses *habitats*, comprometendo tanto os serviços ecossistêmicos quanto a resiliência socioambiental da região frente às mudanças climáticas.

Figura 20 - Dinâmica de uso da terra no Município da Beira

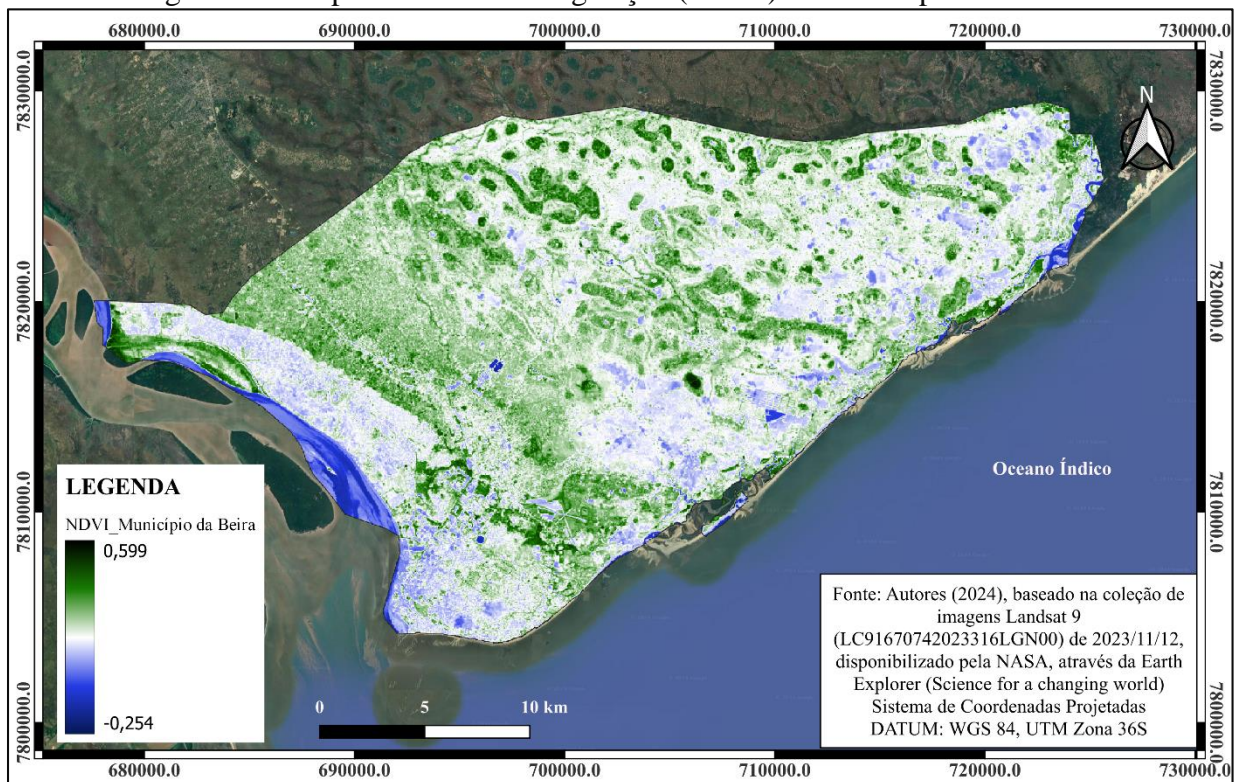


Fonte: Autores (2025), com base em dados da ESA/WorldCover (2025)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que permite analisar a saúde e a densidade da vegetação, foi igualmente analisada, com o uso de imagens orbitais do *Landsat* 9. O mapa abaixo (Figura 21) revela uma distribuição espacial pouco saudável ou densa da vegetação, com valores de NDVI majoritariamente próximos a zero. As imagens ilustram igualmente a presença de água (cor azul) em parte significativa da área municipal, decorrente em grande medida das características dos solos, marcadamente pantanosos (INGD, 2022). Os bairros de Munhava e Nhangau têm valores de NDVI próximos a zero, decorrente de um processo de urbanização espontâneo que não priorizou a restauração de áreas florestais destruídas. Conforme ilustram as imagens abaixo, consubstanciadas pelos dados da Figura 21,

o lençol freático (águas subterrâneas) desses dois bairros fica muito próximo da superfície, sendo portanto, áreas propensas às inundações.

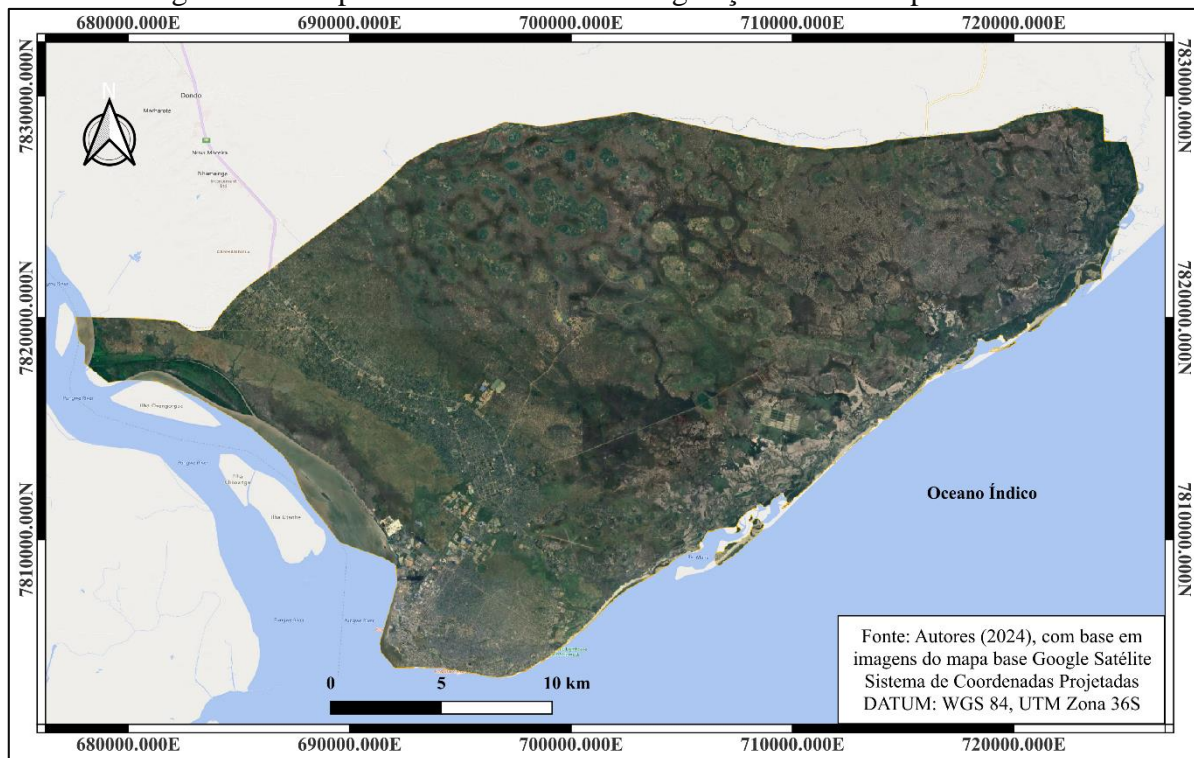
Figura 21 - Mapa de Índice de Vegetação (NDVI) do Município da Beira



Fonte: Autores (2024), com base em dados de imagem de Landsat 9 (USGS Earth Explorer)

A vegetação do MB é caracterizada por ecossistemas de manguezal nas áreas próximas aos estuários e zonas intertidais. Os mesmos desempenham um papel ecológico importante na proteção das margens contra a erosão e na conservação da biodiversidade marinha, (Bandeira; Paula, 2014; Izidine; Bandeira, 2002). A vegetação de savana, conforme ilustra a Figura 22 é igualmente predominante nas áreas mais afastadas da costa e nas zonas periurbanas, que é caracterizada por gramíneas altas, arbustos esparsos e algumas árvores adaptadas ao clima mais do inverno, (UNEP, [s. d.]). Por outro lado, há registros de ocorrência de plantas adaptadas a solos arenosos e salinos, compostos por espécies que toleram solos arenosos e com alta salinidade, típicos das dunas e praias, como gramíneas costeiras e arbustos resistentes ao sal, (Hatton; Couto; Oglethorpe, 2001).

Figura 22 - Mapa de características da vegetação do Município da Beira



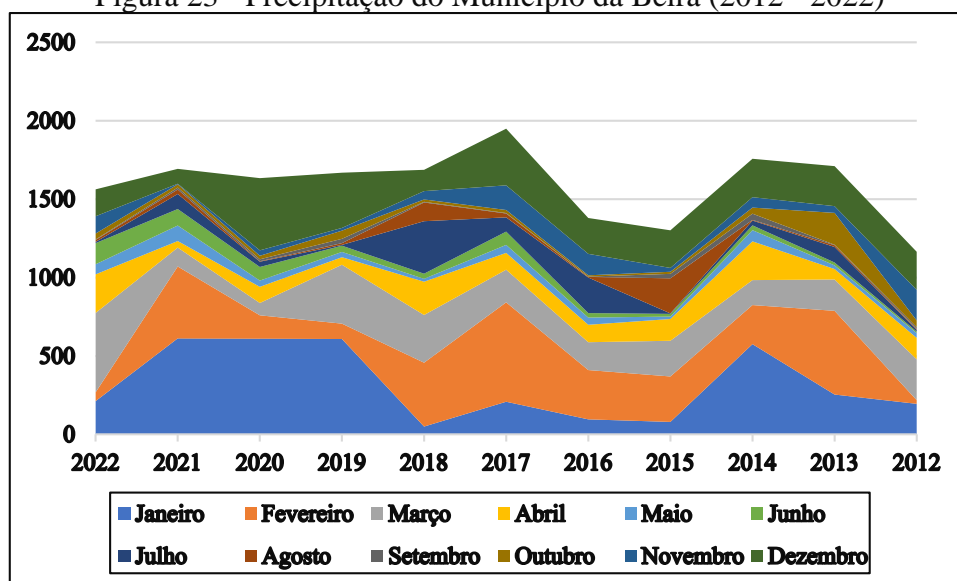
Fonte: Autores (2024), com base em dados de imagem da *Google Satélite*

4.1.4.2.1 Precipitação

A análise de série temporal desenvolvida entre os anos 2012 e 2022, revelou a tendência de distribuição irregular da precipitação ao longo do ano (*vide* em Figura 23). Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os mais chuvosos no período analisado, com uma precipitação acumulada de 2785,6 mm, 3501,1 mm e 3212,2 mm respectivamente (INAM, 2024). A precipitação acumulada nesses três meses, constituiu 54,3% da precipitação anual. Os meses de maio, agosto, setembro e outubro se revelaram menos chuvosos, com 491 mm, 448,5 mm, 145,7 mm e 475,7 mm respectivamente (INAM, 2024).

Esses dados validam as conclusões do relatório do IPCC, (2021) sobre a distribuição irregular da precipitação, com tendência de concentração em um determinado período de cada ano. Isso faz com que quantidades de chuvas que podiam cair durante períodos mais longos, caiam durante períodos mais curtos, em igual ou maior quantidade, exaurindo a capacidade de absorção da água no MB.

Figura 23 - Precipitação do Município da Beira (2012 - 2022)



Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM (2024).

Conforme ilustra a Figura 24, há uma tendência marcante de redução dos volumes anuais de precipitação e crescimento expressivo da frequência de dias secos consecutivos, indicando um padrão climático mais irregular e extremo. Esse comportamento é compatível com os sinais de alteração do regime hidrológico regional, reflexo de mudanças climáticas em curso e da crescente perturbação antrópica sobre os ecossistemas locais.

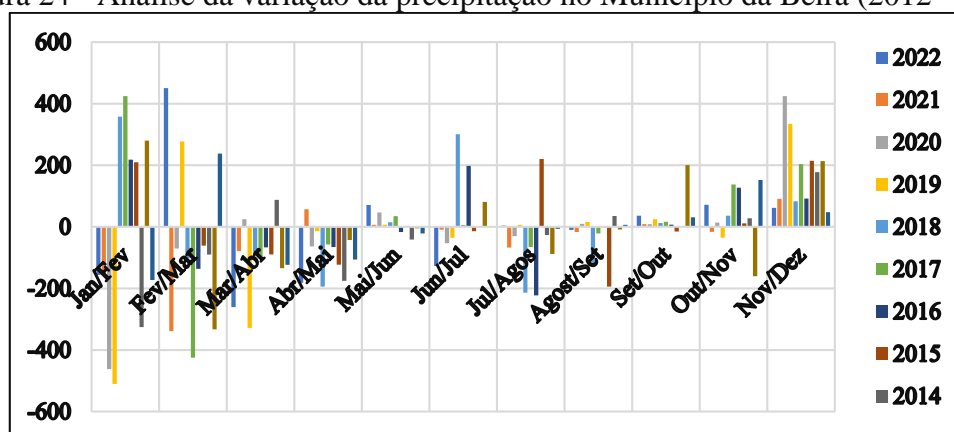
A análise das séries históricas de precipitação revela que os maiores decréscimos na precipitação acumulada ocorreram, principalmente, nos meses de março, abril, fevereiro, agosto e janeiro, com reduções expressivas de -1.161,6 mm, -967,5 mm, -591,8 mm, -302,8 mm e -288,9 mm, respectivamente, no comparativo entre os anos extremos da série (INAM, 2024). Tais variações apontam para um enfraquecimento progressivo da estação chuvosa, especialmente no início e no final do verão climático, comprometendo o equilíbrio hídrico da região e os ciclos agrícolas que dependem da regularidade pluviométrica.

Paradoxalmente, o mês de dezembro é o único período que não apresentou reduções significativas de precipitação anual durante a série analisada. Isso sugere uma concentração cada vez mais intensa das chuvas em eventos isolados nesse mês, o que pode levar ao acúmulo de volumes elevados em curto espaço de tempo. Esse padrão indica uma tropicalização dos eventos extremos, caracterizada pela intensificação de chuvas torrenciais intercaladas com longos períodos de seca. Isso agrava significativamente os riscos de inundações e de escassez hídrica alternadamente, afetando de maneira assimétrica a população. Essa reorganização espacial e temporal da chuva coincide com a intensificação de eventos de inundação urbana e rural, amplificados por fatores associados como a mudança no uso e cobertura da terra,

incluindo desmatamento, impermeabilização do solo, ocupação desordenada de áreas de risco e alterações nos padrões climáticos globais e regionais (INAM, 2024).

Esses dados sustentam a hipótese de que há um cenário de fragilidade socioecológica, no qual os impactos climáticos se sobrepõem às vulnerabilidades já existentes da população, sobretudo nos contextos urbanos periféricos e nas zonas rurais de baixa infraestrutura. O entendimento desses impactos, bem como do perfil demográfico, social e territorial da população afetada, será aprofundado na discussão do primeiro mecanismo causal deste estudo, voltado à análise da VSE da área de estudo.

Figura 24 - Análise da variação da precipitação no Município da Beira (2012 - 2022)



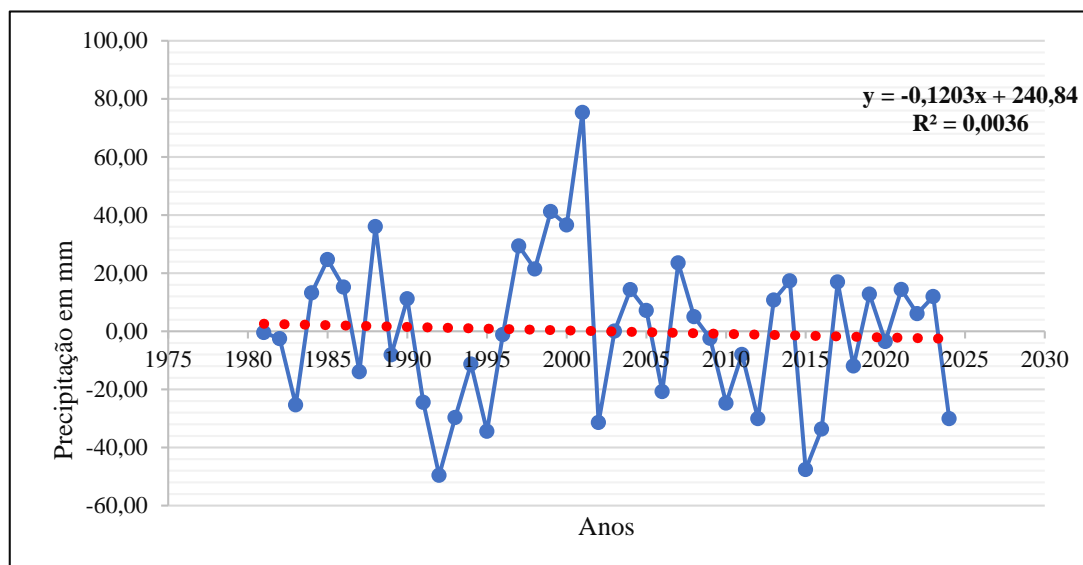
Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM, (2024)

A análise das anomalias de precipitação no município da Beira, no período compreendido entre 1981 e 2024, ilustradas na Figura 25, revela um quadro de elevada variabilidade interanual, cuja tendência linear pode ser interpretada à luz da equação de regressão obtida: $y = -0,1203x + 240,84$; $R^2 = 0,0036$. O coeficiente angular negativo (-0,1203) sugere, em termos estritamente matemáticos, uma tendência decrescente muito suave ao longo da série histórica, indicando que, em média, as anomalias anuais tenderiam a reduzir-se em aproximadamente 0,12 mm por ano. No entanto, esse declínio acumulado ao longo de mais de quatro décadas corresponderia a apenas cerca de 5 mm, um valor ínfimo quando comparado aos totais pluviométricos anuais do município, que oscilam geralmente entre 2.000 e 2.500 mm (INAM, 2024).

A interpretação dessa tendência precisa, contudo, ser matizada pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,0036$), que expressa a proporção da variância explicada pela regressão linear. Em termos práticos, tal valor indica que apenas 0,36% da variabilidade observada pode ser atribuída à tendência linear, o que significa que a série histórica de precipitação na Beira não apresenta um comportamento estatisticamente robusto de diminuição das anomalias ao longo do tempo. Ao contrário, o que se evidencia é uma forte variabilidade interanual, marcada

por flutuações positivas e negativas que obscurecem qualquer sinal consistente de redução ou aumento contínuo.

Figura 25: Anomalias de precipitação no Município da Beira (1981-2024)



Fonte: Autor (2025) baseado em dados da CHIRPS Daily: *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data*

Esse padrão é consistente com o contexto climático da região centro de Moçambique, altamente influenciado por sistemas atmosféricos de grande escala, como o *El Niño*–Oscilação Sul (ENSO) e o Dipolo do Oceano Índico, ambos fortemente associados a irregularidades na distribuição pluviométrica (Zhou; Wu; Dong, 2021). Além disso, a ocorrência de eventos extremos de elevada magnitude, como os ciclones tropicais Idai (2019) e Eloise (2021), introduz perturbações significativas na série temporal, produzindo picos abruptos de precipitação que não são capturados de forma satisfatória por um modelo de tendência linear simples.

A leitura da equação sugere que, embora exista um sinal negativo discreto na evolução das anomalias de precipitação entre 1981 e 2024, esse sinal é estatisticamente irrelevante diante da intensidade das flutuações interanuais e do peso dos eventos extremos. A precipitação no município da Beira caracteriza-se menos por uma tendência linear de redução e mais por uma dinâmica marcada pela irregularidade e pela imprevisibilidade, o que reforça o desafio de adaptação local frente às mudanças climáticas. Em outras palavras, a vulnerabilidade do município não decorre de uma diminuição sistemática da pluviosidade, mas sim da sua instabilidade temporal, da frequência crescente de episódios críticos e da interação desses fatores com as fragilidades estruturais do território, como sistemas de drenagem precários,

elevada densidade populacional em áreas de risco e limitada capacidade institucional de resposta (IPCC, 2022).

A análise da série de anomalias de precipitação para a Beira demonstra que a tendência estatística de queda é insignificante, mas confirma a centralidade da variabilidade interanual e da intensificação de extremos como fatores determinantes da dinâmica hidrometeorológica local. Tal constatação aponta para a necessidade de estratégias de adaptação que priorizem a gestão de riscos associados à variabilidade climática e à ocorrência de eventos extremos, em vez de se basearem apenas em projeções de tendências médias de longo prazo.

4.1.4.2.2 Temperatura

A Figura 26 ilustra a tendência, observada ao longo das últimas décadas no município, de redução progressiva do número de dias frios e, simultaneamente, aumento expressivo dos dias com temperaturas elevadas. Esta tendência reflete um padrão climático de aquecimento contínuo, compatível com as transformações climáticas globais e regionais documentadas por diferentes fontes científicas.

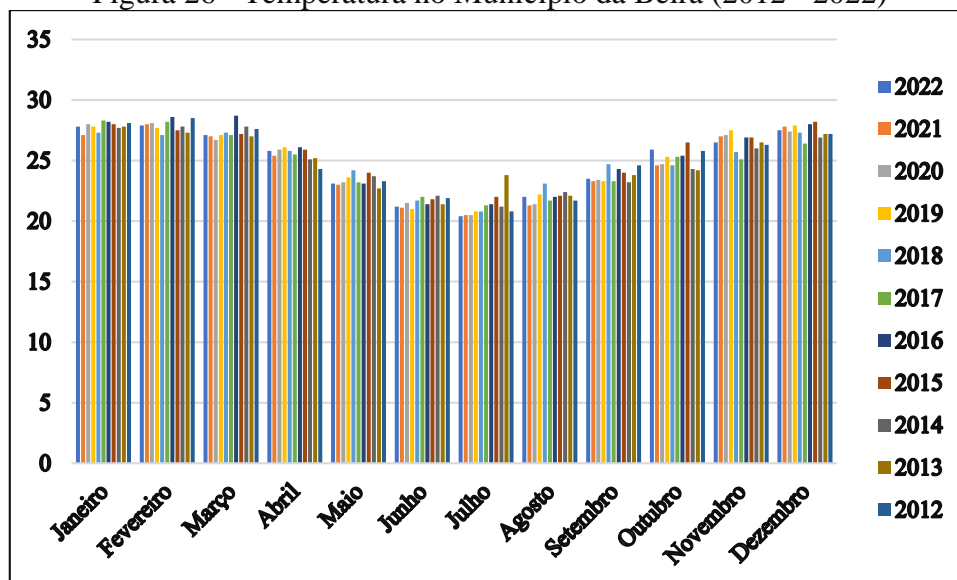
Entre os meses que registraram as temperaturas médias mensais mais elevadas, destacam-se janeiro (28,8 °C), fevereiro (27,9 °C), dezembro (27,4 °C) e março (27,3 °C), conforme os dados divulgados pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM, 2024). Esses valores não apenas superam a média histórica para a região, como também sinalizam uma intensificação do calor na estação chuvosa, coincidindo com o pico da radiação solar na Zona Intertropical, onde se insere a área de estudo. Esta zona é caracterizada por altos índices de insolação, baixa variação térmica anual e forte influência dos sistemas de circulação atmosférica como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que favorecem a permanência de temperaturas médias anuais elevadas e eventos extremos de calor (Pena, 2024).

Do ponto de vista climático, esse padrão se alinha aos processos de tropicalização do clima, nos quais eventos de calor extremo se tornam mais frequentes e prolongados, substituindo os ciclos tradicionais de frio moderado, mesmo nos períodos do ano anteriores, caracterizados por temperaturas amenas. Ocorre, portanto, um encurtamento da estação fresca e um alongamento dos períodos de calor intenso, com implicações diretas para a saúde humana, a agricultura, a biodiversidade e o consumo energético.

Essas observações empíricas corroboram com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), cujo relatório mais recente indica uma tendência histórica global de declínio dos dias frios e um aumento sistemático dos

dias quentes. Ainda segundo o IPCC, essa transformação não é homogênea no espaço, mas tende a ser mais acentuada em regiões tropicais e subtropicais, como o sul de Moçambique, onde se espera que os efeitos combinados do aumento da temperatura média, de alterações na precipitação e de mudanças nos padrões de circulação atmosférica agravem os impactos sobre os sistemas socioecológicos.

Figura 26 - Temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)



Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM, (2024)

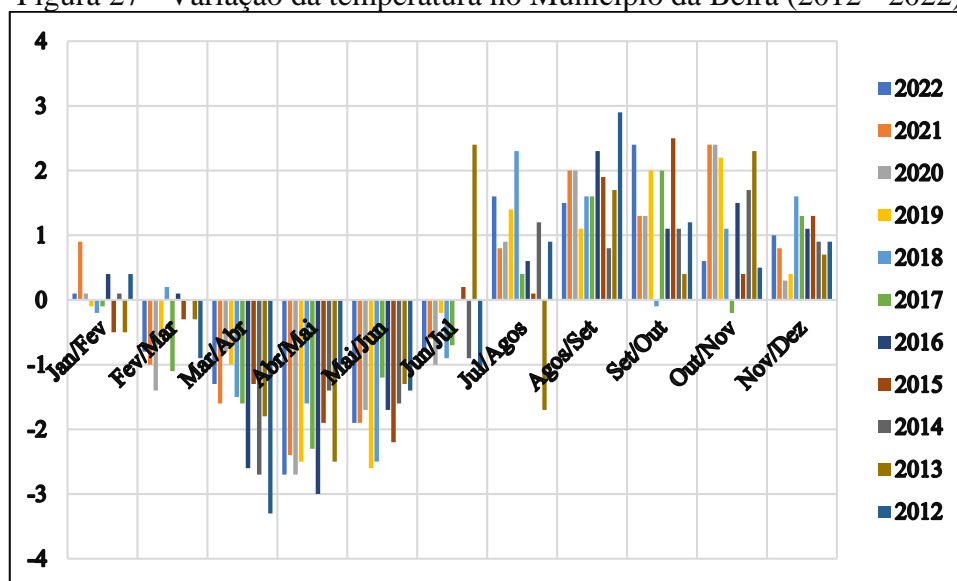
As Figuras 27 e 28 ilustram as tendências sazonais da temperatura média entre fevereiro e janeiro, com base nos dados climatológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM, 2024). Há uma tendência marcante de redução das temperaturas médias entre fevereiro e junho, com uma inflexão mais acentuada nos meses de abril e maio. Especificamente, abril apresentou uma anomalia térmica negativa de $-2,6^{\circ}\text{C}$ em relação à média histórica, enquanto maio registrou um decréscimo de $-1,7^{\circ}\text{C}$. Esses dados sugerem uma retração térmica significativa no segundo trimestre do ano, o que pode estar associado a mudanças nos padrões de circulação atmosférica regional, como a intensificação de massas de ar frio provenientes do sul do continente africano, ou ainda ao enfraquecimento das células de alta pressão responsáveis pela manutenção de temperaturas mais elevadas nos meses anteriores.

As figuras evidenciam também uma inversão dessa tendência a partir do mês de julho, com uma progressiva elevação das temperaturas médias que se estende até o mês de janeiro do ano seguinte. Esse comportamento térmico ascendente caracteriza o segundo semestre e o início do ano seguinte, como um período de aquecimento gradual, com destaque para novembro, dezembro e janeiro, nos quais as médias mensais se situam consistentemente acima

dos valores de referência climatológica. Essa elevação pode ser atribuída à intensificação da radiação solar, à redução da nebulosidade e à possível influência de fenômenos climáticos de grande escala, como o *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), que tendem a induzir anomalias positivas de temperatura em diversas regiões do sul da África.

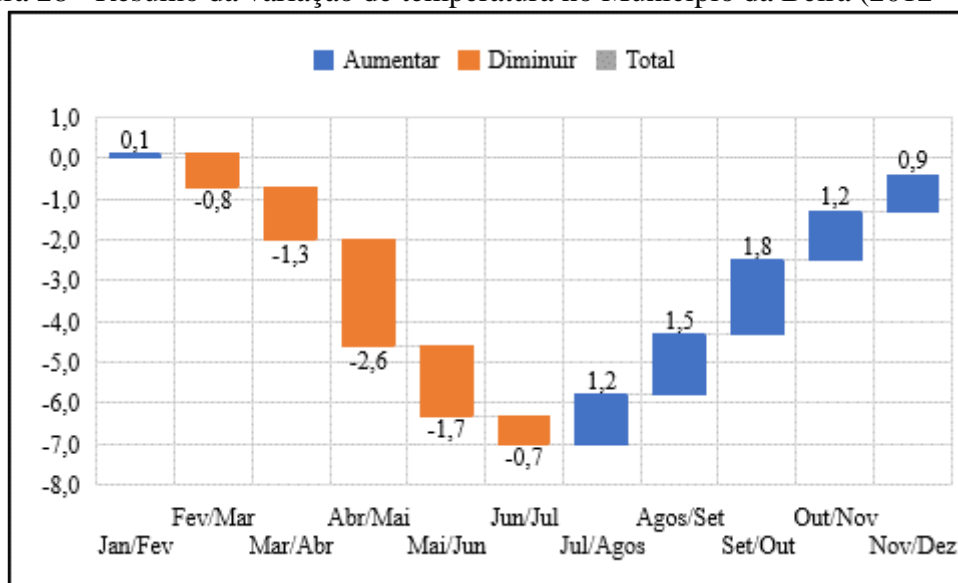
Com base nessa análise, inferimos que há um aumento substancial na duração e na frequência de dias caracterizados por temperaturas médias mais elevadas em detrimento dos dias mais amenos ou frios. Essa mudança no balanço térmico anual não apenas evidencia um processo de aquecimento regional, mas também têm implicações importantes para os ecossistemas locais, para a agricultura de subsistência e para o bem-estar humano, sobretudo em contextos urbanos e periurbanos com infraestrutura vulnerável. A distribuição assimétrica dos períodos quentes e frios ao longo do ano, tal como observada nas figuras analisadas, reforça a necessidade de políticas de AC que incorporem medidas sazonais e multissetoriais, com especial atenção à mitigação de eventos extremos associados ao calor excessivo.

Figura 27 - Variação da temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)



Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM, (2024)

Figura 28 - Resumo da variação de temperatura no Município da Beira (2012 - 2022)



Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM, (2024)

4.1.4.2.3 Eventos climáticos

Os principais eventos climáticos que incidem com frequência sobre o município são os ciclones tropicais e as chuvas torrenciais, conforme identificado pelo Ministério da Terra e Ambiente (2020) e ilustrado na Tabela 8. Estes fenômenos extremos têm se intensificado em número e intensidade nas últimas décadas, em decorrência das mudanças climáticas globais, afetando particularmente zonas costeiras e urbanas como a do município estudado. Esses eventos incidem sobre um território já marcado por elevados níveis de VSE, os quais se manifestam na urbanização desordenada, na ocupação irregular de zonas de risco, na precariedade habitacional, e na carência de infraestrutura adequada.

Somam-se a essa vulnerabilidade os desafios estruturais relacionados à gestão dos resíduos sólidos urbanos e à ineficiência do sistema de drenagem pluvial. A má gestão dos resíduos, frequentemente descartados em vias públicas, valas e canais de drenagem, compromete a funcionalidade do sistema de escoamento das águas das chuvas. Essa situação é agravada pelo fato de que a drenagem urbana é considerada o "pulmão" do sistema hidrológico local, ou seja, a sua obstrução compromete todo o equilíbrio hidrodinâmico da malha urbana, contribuindo diretamente para o acúmulo de águas e a consequente ocorrência de inundações.

A interação desses três fatores — (i) eventos climáticos extremos (ciclones e chuvas intensas), (ii) vulnerabilidades sociais e espaciais, e (iii) deficiências na gestão de resíduos e drenagem — gera um cenário crítico, caracterizado por inundações recorrentes, sobretudo nos períodos chuvosos. A análise cronológica dos eventos extremos, com base nos dados da Tabela

8, mostra que em 2012 e 2022, a totalidade dos eventos com impacto direto na dinâmica territorial — com exceção de uma frente fria isolada registrada no mês de julho — ocorreu entre dezembro e março. Esse padrão sazonal mostra que a maior parte das inundações é provocada por eventos climáticos associados à estação úmida, período em que o município se torna mais vulnerável devido a chuvas abundantes e à elevação do nível do lençol freático.

Durante este intervalo, os ciclones tropicais e chuvas torrenciais não apenas intensificam os impactos diretos, como evidenciam a fragilidade dos sistemas urbanos. As enchentes resultantes provocam a perda de bens materiais, comprometem o funcionamento de serviços públicos essenciais, aumentam a proliferação de doenças de veiculação hídrica e afetam negativamente as atividades produtivas e o bem-estar das populações, sobretudo das mais vulneráveis, que residem em áreas baixas e insalubres.

A conjugação de fatores climáticos, sociais e infraestruturais cria uma dinâmica de risco crônico repetido ano após ano, indicando a urgência de intervenções estruturantes voltadas à AC urbana. A ênfase deve recair sobre a requalificação do sistema de drenagem, o fortalecimento da gestão integrada de resíduos sólidos e a implementação de políticas habitacionais e ambientais que promovam maior resiliência do território.

Tabela 8 - Eventos climáticos ocorridos no Município da Beira (2012 e 2022)

ANO	MÊS	CAUSA
2022	março	ciclone Gombe (150 km/h)
2021	janeiro	ciclone Eloise (165 km/h)
2021	fevereiro	ciclone Guambe (155 km/h)
2020	janeiro	chuvas Fortes
2019	março	ciclone Idai (230 km/h)
2018	julho	frente Fria
2017	fevereiro	chuvas Fortes
2017	dezembro	chuvas Fortes
2016	fevereiro	chuvas Fortes
2015	março	chuvas Fortes
2013	fevereiro	chuvas Fortes

Fonte: Autor (2024), com base em dados do INAM, (2024)

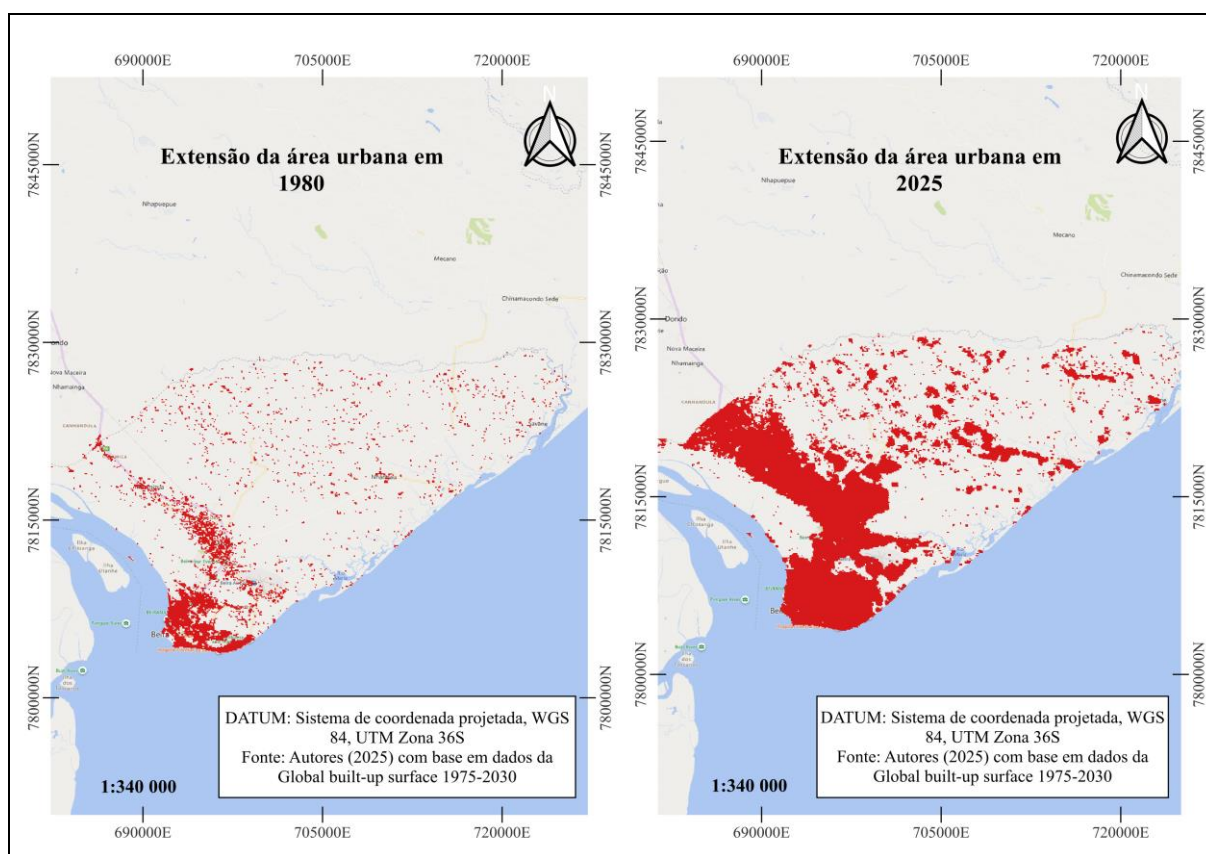
4.1.4.2.4 Área inundável e crescimento urbano

Entre 1980 e 2025, o município da Beira teve um crescimento urbano expressivo: a área urbana passou de 48,33 km² para 188,79 km² (*European Commission, 2023*), uma expansão de aproximadamente 390,63% (Figura 29). Esse salto quantitativo revela não apenas a expansão física da malha urbana, mas também a intensificação dos processos de urbanização que vêm se

consolidando ao longo das últimas quatro décadas. Considerando as projeções demográficas que apontam para a duplicação da população municipal nos próximos 25 anos (Instituto Nacional de Estatística, 2017), é plausível supor que a área urbana continue a se expandir, pressionando ainda mais os ecossistemas locais e a infraestrutura disponível.

Esse crescimento projetado da população da área urbanizada, tende a resultar em um crescimento da densidade populacional e em uma intensificação do consumo de bens e serviços. Esse movimento, por sua vez, acarreta inevitavelmente uma maior geração de resíduos sólidos urbanos, que hoje já constitui um dos principais desafios de gestão pública no município. Sem a devida planificação territorial, baseada em instrumentos urbanísticos e ambientais rigorosos, tal processo poderá conduzir a um cenário de degradação progressiva dos frágeis indicadores de desenvolvimento humano, afetando diretamente a qualidade de vida da população e ampliando a vulnerabilidade socioecológica da Beira.

Figura 29: Crescimento da área urbana do Município da Beira (1980 e 2025)



Fonte: Autores (2025), baseados em dados da *Global built-up surface* 1975-2030

A gravidade desse quadro fica ainda mais evidente quando se observa que cerca de 7,99% do território municipal (50,58 km²) (Pekel *et al.*, 2016) é classificado como área inundável, sobrepondo-se justamente a zonas de expansão urbana e industrial. Em outras

palavras, é precisamente nas áreas mais suscetíveis a inundações que se concentra uma parcela expressiva da dinâmica de urbanização e industrialização, o que cria um paradoxo territorial e ambiental: as mesmas áreas atraentes para a ocupação humana e atividades produtivas são aquelas mais expostas a riscos hidrometeorológicos e climáticos.

Essa situação é um desafio central para a gestão urbana e ambiental da Beira. A ausência de mecanismos eficazes de ordenamento do território poderá não apenas acentuar os impactos socioeconômicos decorrentes de eventos extremos, mas também comprometer a sustentabilidade futura do município, criando barreiras adicionais para a implementação de políticas públicas de adaptação climática e de redução da vulnerabilidade socioecológica.

4.1.4.3 Nível do mar

O município da Beira apresenta um conjunto de características físico-ambientais que o tornam particularmente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, sobretudo no que se refere à dinâmica costeira e à elevação progressiva do nível do mar. Localizada em uma planície costeira de baixa altitude, a cidade situa-se, em média, entre 0 e 14 metros acima do nível do mar, sendo que extensas áreas urbanas encontram-se em cotas inferiores a 5 metros (*UN-Habitat*, 2014; World Bank, 2019), condição que amplifica a suscetibilidade a inundações costeiras, alagamentos urbanos e intrusão salina. Essa vulnerabilidade é agravada pela tendência observada de aumento do nível médio do mar ao longo da costa moçambicana, que tem apresentado taxas estimadas entre 3,1 mm e 3,6 mm por ano nas últimas décadas (IPCC, 2021), em consonância com os padrões globais descritos nos relatórios do IPCC. Tais elevações, embora aparentemente discretas em termos anuais, acumulam impactos significativos no longo prazo, alterando gradualmente o equilíbrio hidrodinâmico e ampliando a exposição das zonas urbanas mais baixas.

Adicionalmente, a proximidade imediata entre terra firme e linha de costa — frequentemente inferior a 1 km em diversos trechos urbanos e periurbanos — reforça a intensidade das interações entre processos oceanográficos e o tecido urbano, condicionando a cidade a uma dinâmica costeira altamente sensível a tempestades tropicais, marés de tempestade e regimes de ventos sazonais (*UN-Habitat*, 2015). Em determinados setores, a distância entre áreas habitadas e o litoral é tão reduzida quanto 300 a 500 metros (INGC, 2012; *UN-Habitat*, 2015), o que estreita a zona de amortecimento natural e acentua os efeitos erosivos e de inundação durante eventos extremos. Em conjunto, esses elementos — elevação acelerada do nível do mar, baixa altitude e reduzida distância à linha costeira — configuram um quadro

de vulnerabilidade socioecológica complexa, que demanda estratégias robustas de adaptação climática e ordenamento territorial para mitigar riscos presentes e futuros no município da Beira.

4.1.4.4 Análise de índice de vulnerabilidade socioeconômica

Os dados referentes ao Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica, apurados para os dois bairros analisados, revelam uma situação crítica no que se refere aos estressores não climáticos. Conforme consta na Tabela 8, a maioria dos indicadores apresenta valor igual a 1, o que denota níveis máximos de vulnerabilidade dentro da metodologia adotada. Tal resultado evidencia a precariedade das condições socioeconômicas locais, refletindo alta fragilidade estrutural e social que agrava a exposição da população a riscos e limita significativamente sua capacidade adaptativa.

Dentre os indicadores considerados, apenas aquele relacionado à titularidade do imóvel teve desempenho positivo, com valor igual a 0. Isso significa que mais de 90% dos entrevistados declararam ser proprietários da casa onde residem, o que, à primeira vista, poderia ser interpretado como um fator de segurança habitacional e estabilidade socioeconômica. No entanto, esta aparente vantagem é relativizada quando lembramos que muitas dessas moradias, apresentam características de subnormalidade — como ausência de infraestrutura básica, materiais de construção precários e localização em áreas ambientalmente vulneráveis. Assim, mesmo diante da alta taxa de propriedade, o padrão construtivo e as condições de habitabilidade continuam refletindo e reproduzindo a vulnerabilidade socioeconômica da população.

Tabela 9 - Índice de vulnerabilidade socioeconômica

indicador	Munhava	Nhangau	geral
renda baixa	0,50	1,00	0,80
densidade populacional crítica	1,00	0,00	0,50
condições habitacionais críticas (proprietário/não proprietário de casa)	0,00	0,00	0,00
condições habitacionais críticas (tipo de assentamentos)	1,00	1,00	1,00
adequação/Inadequação de saneamento básico	1,00	1,00	1,00
escolaridade	0,80	1,00	0,90
média	0,71	0,67	0,70

4.1.4.5 Análise de índice de suscetibilidade biofísica

As características biofísicas do território do Município da Beira evidenciam um conjunto de elementos que acentuam a sua vulnerabilidade socioecológica, conforme demonstrado na Tabela (Tabela 10) a seguir. Dentre os indicadores analisados, destacam-se, de forma crítica, os valores relativos à declividade do relevo e às dinâmicas de uso e ocupação do solo, que alcançaram valores de 0,8 e 1,0, respectivamente. Esses índices revelam uma topografia predominantemente plana, combinada com padrões de ocupação que, em muitos casos, desconsideram as limitações ambientais do território, contribuindo para o agravamento da degradação ambiental.

Por outro lado, a erodibilidade dos solos, embora classificada com um valor relativamente baixo, desempenha um papel significativo na intensificação dos impactos causados por eventos extremos, especialmente as inundações. Tal efeito decorre do fato de que os solos locais, em grande parte pantanosos e com baixa capacidade de infiltração, dificultam a absorção eficiente das águas pluviais. Essa condição favorece o acúmulo de água na superfície, aumentando a suscetibilidade a alagamentos e à erosão, sobretudo em áreas densamente ocupadas e desprovidas de infraestrutura de drenagem adequada.

Tabela 10 - Índice de suscetibilidade biofísica

indicador	Munhava	Nhangau	geral
declividade territorial	1,00	1,00	1,00
densidade de drenagem	0,25	0,25	0,25
chuvas fortes (≥ 50 mm/dia)	0,25	0,25	0,25
dinâmicas do uso da terra	0,80	0,80	0,80
erodibilidade do solo	0,35	0,35	0,35
nível do mar	0.60*2	0.60*2	1,2
média	0,64	0.64	0,64

4.1.4.6 Análise de índice de vulnerabilidade socioecológica

A avaliação final do índice de vulnerabilidade da área de estudo indica “alta VSE”, com valores iguais a 0,67. As condições socioeconômicas tiveram um maior peso relativamente a suscetibilidade biofísica da área. Portanto, as condições socioeconômicas, entendidas como uma dimensão de risco (IPCC, 2014) estão contribuindo significativamente para o aumento do nível de VSE. Por conseguinte, para reduzir esse risco, exposição e vulnerabilidade, será crucial um investimento público para o melhoramento dos indicadores de desenvolvimento humano

(Cinner *et al.*, 2012; Foden *et al.*, 2013; IPCC, 2022), nomeadamente: o acesso à educação; mais empregos com melhores remunerações; maior acesso aos serviços de coleta de resíduos sólidos; jornadas de educação ambiental; e investimento em saneamento público e ordenamento territorial.

Do lado da dimensão da suscetibilidade biofísica (Burton, Inan, 1997) é crucial o investimento em processos de adaptação baseados em ecossistemas ou soluções baseadas na natureza (Carson, 1969; IPCC, 2014) para restauração de áreas degradadas. O NDVI ilustrado na Figura 14, evidencia extensas áreas do município com valores próximos a zero, indicando vegetação pouco saudável ou densa. Entretanto, ações mais integrativas e sistêmicas que acoplam indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e de suscetibilidade biofísica são mais efetivas para a redução da VSE (Iwama, Allann Yu *et al.*, 2016).

$$IVS = (IVSEc + ISBf)/2$$

$$IVS = (0,70+0,64)/2$$

$$IVS = 0,67$$

valores	parâmetros de avaliação
0,00 – 0,19	muito baixa VSE
0,20 – 0,39	baixa VSE
0,40 – 0,59	média VSE
0,60 – 0,79	alta VSE
0,80 – 1,00	muito alta VSE

4.1.5 Notas de conclusão

A presente pesquisa constatou que os bairros de Munhava e Nhangau apresentam uma acentuada tendência de VSE elevada. A análise revelou que os indicadores socioeconômicos desempenham um papel determinante nessa avaliação, destacando-se, entre os fatores estruturais de maior criticidade, a elevada densidade populacional, as precárias condições habitacionais, a inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário e a gestão ineficiente dos resíduos sólidos. Esses elementos são componentes centrais da fragilidade observada, amplificando, de forma significativa, a vulnerabilidade socioeconômica.

No que tange à dimensão da suscetibilidade biofísica, os dados obtidos por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) indicaram a presença de cobertura vegetal pouco densa e/ou degradada, com baixa vitalidade, tornando essas áreas particularmente vulneráveis aos impactos dos eventos climáticos extremos, com destaque para as inundações. Diante desse panorama, uma abordagem de intervenção baseada na perspectiva

socioecológica, ancorada no fortalecimento dos indicadores de sensibilidade e na restauração ecológica de áreas ambientalmente degradadas, mostra-se fundamental para reduzir os riscos da região.

Ademais, embora o estudo tenha se restringido a apenas dois dos 26 bairros que compõem o MB, conforme as delimitações metodológicas previamente estabelecidas, é importante salientar que a abordagem adotada tem um elevado potencial de replicabilidade e aprofundamento em investigações futuras. Com os devidos recursos técnicos, financeiros e institucionais, a metodologia poderá ser ampliada de modo a abranger a totalidade dos bairros municipais, permitindo a categorização de cada um conforme os diferentes níveis de VSE: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

A realização de um estudo de abrangência municipal voltado à análise da VSE se revela, portanto, estratégica. A elaboração de um mapa temático que classifique os bairros segundo seus respectivos níveis de vulnerabilidade não apenas permitirá uma compreensão mais acurada dos riscos socioecológicos enfrentados, como também fornecerá subsídios técnicos fundamentais para o desenho e a implementação de políticas públicas orientadas à agenda de AC. Tais políticas deverão priorizar, sobretudo, o enfrentamento das inundações e a promoção de modelos de desenvolvimento baseados em EC, de modo a conciliar justiça social, resiliência ambiental e sustentabilidade urbana.

4.2 MECANISMO CAUSAL 2: NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO MUNICÍPIO BEIRA (ARTIGO 2)

Situação do artigo	Submetido para a <i>Revista de Desenvolvimento Econômico</i> no dia 12/09/2025
---------------------------	--

RESUMO. O Município da Beira (MB) decorrente das suas características de vulnerabilidade tem vindo a implementar práticas de gestão de resíduos sólidos, centradas na lógica de Economia Circular (EC). Por via disso, o presente estudo centrou a sua abordagem na análise do nível de implementação da EC no MB, em três níveis (micro, meso e macro), visando identificar potenciais barreiras e oportunidades, diante das ameaças das mudanças climáticas. O estudo realizou entrevistas às empresas e associações que operam na área de gestão de resíduos sólidos, na abordagem circular, visando aferir as metodologias de operacionalização dos princípios da EC, por elas usadas. As entrevistas foram igualmente extensivas às comunidades com o objetivo de aferir o nível de envolvimento comunitário na agenda circular. Os aspectos normativos e legais foram também objeto de análise, como elementos centrais para implementação eficaz da EC. Os resultados da pesquisa evidenciam uma expressiva fissura entre os potenciais teóricos da EC e a sua efetiva implementação, o que aponta para a persistência de barreiras estruturais que comprometem a sua institucionalização plena. Entre os principais entraves identificados, destacam-se: (i) os elevados níveis de informalidade na economia; (ii) a limitada capacidade técnica e gerencial das empresas; (iii) o baixo nível de consciência ambiental; (iv) a fragilidade dos indicadores socioeconômicos; e (v) a reduzida capacidade financeira e institucional.

Palavras-chave: Economia circular. Economia linear. Adaptação climática.

Abstract. Due to its vulnerability, the Municipality of Beira (MB) has been implementing solid waste management practices centred on the Circular Economy (CE) approach. Therefore, this study focused on analysing the level of CE implementation in MB at three levels (micro, meso, and macro), aiming to identify potential barriers and opportunities in the face of climate change threats. The study conducted interviews with companies and associations operating in the solid waste management sector, following a circular approach, to assess their methodologies for implementing CE principles. The interviews were also extended to communities to assess the level of community engagement in the circular economy agenda. Regulatory and legal aspects were also analysed as key elements for the effective implementation of the CE. The research results reveal a significant gap between the theoretical potential of the CE and its effective implementation, which points to the persistence of structural barriers that compromise its full institutionalisation. Among the main obstacles identified are: (i) high levels of informality in the economy; (ii) limited technical and managerial capacity of companies; (iii) low levels of environmental awareness; (iv) weak socioeconomic indicators; and (v) limited financial and institutional capacity.

Keywords: Circular economy. Linear economy. Climate adaptation

4.2.1 Breve contextualização

O mecanismo causal 2 foi concebido a partir de uma abordagem metodológica mista, combinando técnicas de análise qualitativas e quantitativas. Esse desenho metodológico é ancorado em uma perspectiva multiescalar, estruturada em três níveis interdependentes de análise — micro, meso e macro (Aquino; Pantoja; Luz, 2023; EMF, 2014; Herrero, Luis y Laguela, 2019).

No nível micro, a ênfase recaiu sobre as práticas empresariais e operacionais, buscando identificar como organizações individuais internalizam ou não princípios da Economia Circular (EC) em seus processos produtivos, estratégias de gestão de resíduos, inovações tecnológicas e mecanismos de eficiência no uso de recursos. Já no nível meso, o foco se deslocou para as articulações interindustriais e setoriais, explorando as formas de cooperação entre empresas, associações e cadeias de valor, capazes de viabilizar simbioses industriais, ciclos fechados de materiais e parcerias voltadas à circularidade. Finalmente, no nível macro, a análise considerou os marcos institucionais, normativos e políticos, compreendendo tanto o enquadramento regulatório e as políticas públicas quanto a atuação de organismos multilaterais e estratégias governamentais no incentivo ou na limitação da adoção da EC.

Para atingir esse objetivo adotamos um conjunto integrado de técnicas de coleta e análise de dados, que incluiu entrevistas semiestruturadas com atores-chave do setor empresarial e institucional; a análise documental de políticas públicas, legislações e relatórios técnicos de relevância para a temática; a observação direta em campo, possibilitando captar nuances práticas e contextuais que dificilmente emergiriam apenas de fontes secundárias. Essa triangulação metodológica buscou assegurar maior validade e confiabilidade às inferências, permitindo avaliar de maneira sistemática o grau de adoção da economia circular na área de estudo, tanto em sua dimensão prática quanto em seus desdobramentos estruturais e institucionais.

4.2.2 Referencial metodológico

O segundo mecanismo causal buscou compreender em que medida os princípios e práticas associados a este paradigma de desenvolvimento têm sido internalizados nas diferentes esferas sociais, econômicas e institucionais. A análise contemplou distintas escalas de observação e intervenção. No plano micro, consideramos as iniciativas empresariais e associativas, desde pequenas unidades produtivas e empreendimentos locais até experiências organizadas em torno da gestão de resíduos e do reaproveitamento de recursos. Nesse nível,

entrevistamos os gestores das empresas e das associações e fizemos observações *in loco*. No nível meso, o foco recaiu sobre os complexos industriais e cadeias produtivas setoriais, para verificar em que medida, esses arranjos incorporam práticas circulares capazes de reduzir a extração de matérias-primas, otimizar fluxos de energia e minimizar a geração de resíduos. Finalmente, na dimensão macro, investigamos as estruturas de governança, os marcos regulatórios e as políticas públicas, identificando instrumentos de planejamento urbano e ambiental que possam favorecer (ou, eventualmente, limitar) a adoção de estratégias circulares mais amplas.

Essa abordagem multiescalar possibilita não apenas mapear as barreiras institucionais, econômicas e culturais que dificultam a consolidação de modelos circulares, mas também destacar as oportunidades emergentes e as dinâmicas que sinalizam potenciais trajetórias de transformação.

4.2.3 Referencial teórico

4.2.3.1 Origem e dinâmicas do conceito de Economia Circular (EC)

O crescimento demográfico, associado à rápida urbanização, assentes no modelo capitalista têm suscitado debates sobre a capacidade biofísica do planeta de sustentar a crescente demanda por recursos. Portanto, sob a tripla pressão (urbanização, crescimento populacional e expansão urbana), a coleta de resíduos e a valorização de sua reutilização constituem um dos grandes desafios que as sociedades urbanas enfrentam atualmente (Möslinger; Ulpiani; Vettters, 2023). Desses debates, destacam-se as crescentes críticas à Economia linear (EL), concebida como um modelo de baseado em "extrair-produzir-desperdiçar", altamente extrativista, com uso intensivo de recursos e produção de gases do efeito estufa que estão causando a atual crise climática (EMF, 2019). A EL, também denominada economia do processamento, ou economia do lixo (Weetman, 2016), é um sistema econômico predominante atualmente no mundo. As suas bases foram instituídas durante a Revolução Industrial, com as explorações científicas e inovações tecnológicas, que ignoravam os limites do meio ambiente e os danos causados à sociedade, a longo prazo (Ormazabal *et al.*, 2018; EMF, 2017; Rizos; Tuokko; Behrens, 2017). Ahmed; Mahmud; Acet, (2022) destacam que esse modelo, para além de poluir o meio ambiente, resulta em enormes desperdícios e no uso ineficiente de recursos.

Sariatli, (2017) pontua que embora a EL tenha sido um sistema capaz de gerar riqueza e desenvolvimento para as nações industrializadas, a sua falta de circularidade operacional vem

gerando críticas sobre os seus impactos no meio ambiente. Uma grande variedade de empresas ainda está imersa em uma EL tradicional e insustentável, que consiste em “pegar, fazer, usar e desperdiçar” (Prieto-Sandoval; Jaca; Ormazabal, 2018). Bellezoni *et al.* (2022) mencionam que as externalidades negativas do modelo linear nas cidades incluem poluição do ar e da água, liberação de substâncias tóxicas e emissões de gases de efeito estufa. Portanto, esse modelo econômico tende a ser insustentável, diante dos limites biofísicos do planeta (Frosch; Gallopoulos, 1989).

Latouche, (2008) elaborou uma crítica estrutural ao paradigma linear de produção e consumo, questionando seus fundamentos econômicos, sociais e ambientais. Em suas reflexões, ele enfatiza que a lógica linear, assentada na extração ilimitada de recursos, na maximização do consumo e na conseqüente geração de resíduos, constitui não apenas uma ameaça ecológica, mas também um mecanismo de reprodução de desigualdades e de alienação social. Nesse sentido, Latouche, (2008) propõe um conjunto de princípios orientadores, frequentemente sintetizados pelos “R’s” (reduzir, reutilizar, reciclar, realocar, revalorizar, repensar, entre outros), como alternativa civilizatória ao modelo vigente. Esses princípios, embora ressoem com o discurso contemporâneo da economia circular, são mobilizados por Latouche de maneira a transcender sua apropriação meramente técnica ou instrumental.

Sua perspectiva alerta para o risco de que a economia circular seja transformada em um simples dispositivo de perpetuação do crescimento econômico, esvaziando seu potencial transformador. Para Latouche, (2008), não se trata apenas de tornar mais eficientes os processos produtivos ou de inserir resíduos em novos ciclos de uso, mas de repensar radicalmente a própria noção de progresso e de bem-estar. Nesse sentido, sua crítica se orienta pela necessidade de uma mudança paradigmática que rompa com a obsessão pelo crescimento ilimitado e abra espaço para uma economia que valorize a suficiência, a justiça socioambiental e a preservação das condições de habitabilidade do planeta.

Por conseguinte, em resposta a EL emerge o modelo de EC que traz consigo a promessa de uma prosperidade restauradora e regenerativa da natureza (Petit-Boix; Leipold, 2018). Trata-se de uma abordagem de desenvolvimento econômico projetada para beneficiar as empresas, a sociedade e o meio ambiente (EMF, 2013). Em contraste com o modelo linear atual, a EC visa dissociar o crescimento do consumo de recursos finitos e do esgotamento dos recursos naturais (Steffen *et al.*, 2011). Essa dissociação pode ser alcançada quando os ciclos de produção e consumo, minimizam a geração de resíduos e sobretudo, lhes dão destinação imprópria (Teixeira; Rodriguez Ramos; Maria da Silva Bezerra, 2023). Para conseguir uma

transição circular, EMF (2015) advoga um enfoque sistêmico em quatro áreas, a destacar: negócios, governo, conhecimento e educação.

O conceito de EC é baseado em um conjunto fragmentado de ideias derivadas de alguns campos científicos, numa perspectiva interdisciplinar (Murray, Alan; Skene; Haynes, 2017). Esse conjunto de ideias abrange áreas da ecologia industrial (Frosch; Gallopoulos, 1989; Graedel, 1996), ecossistemas industriais (Jelinski *et al.*, 1992), simbioses industriais (Chertow; Ehrenfeld, 2012), produção mais limpa (Stevenson; Evans, 2004), fluxos de materiais circulares de sistemas de fabricação e desenvolvimento (Lieder; Rashid, 2016), sistemas de produtos e serviços (EMF, 2013), ecoeficiência (Haas *et al.*, 2015), *design* do “berço ao berço” (Braungart; McDonough, 2002), biomimética (Benyus, 2002), resiliência dos sistemas socioecológicos (Crépin *et al.*, 2012; Folke, 2006), economia de desempenho (EMF, 2013; Stahel, 2006), capitalismo natural (Hawken; Lovins; Lovins, 2000; Lovins, Amory; Paul, 1999) e o conceito de emissões zero (Braungart; McDonough, 2002; Connet, 2016).

Na operacionalização do conceito de EC, algumas obras dão contribuições substanciais, nomeadamente: *Silent Spring* de Carson (1962), que alertava para os efeitos nocivos do uso desenfreado de pesticidas; em *The tragedy of the Commons*, Hardin (1968), argumenta que os indivíduos, agindo estritamente de acordo com seus próprios interesses, esgotam os bens de uso comum; *The Economics of the Coming Spaceship Earth* de Boulding (1966), definiu os pilares da EC, alertando sobre a finitude dos recursos terrestres, argumentando que a poluição gerada pelos homens não estava sendo absorvida pela natureza, sendo preciso agir para evitar escassez e problemas maiores no futuro.

Entretanto, no período compreendido entre o final da década de 1980 e início de 1990, ocorre a cunhagem do termo EC (Schneider; Parreira; Guimarães, 2023). O termo foi criado pelos economistas e ambientalistas Pearce e Turner (Pearce; Turner, (1989), que criticavam o modelo de economia tradicional e linear que não abrangia a reciclagem (Rizos; Tuokko; Behrens, 2017).

A difusão e a popularização do termo EC se deve, em grande parte, aos trabalhos da Fundação Ellen MacArthur, instituição fundada no Reino Unido em 2010 com o propósito de acelerar a transição global para uma EC (Schneider; Parreira; Guimarães, 2023). Herrero, (2019) destaca a ideia de que a EC tardou em ganhar ímpeto, como conceito estruturante, porque se chocava com os princípios do modelo linear de produção e consumo, que toma como referência macroeconômica e de PIB, a criação de riqueza baseada na lógica de extração e descarte.

Schneider; Parreira; Guimarães (2023), propõem que a EC é um conceito guarda-chuva que associa o desenvolvimento econômico a uma utilização melhor dos recursos naturais, a ser alcançado por meio de novos modelos de negócio capazes de otimizar os processos de fabricação, o fluxo de materiais e a gestão de resíduos. Murray; Skene; Haynes (2017), destacam que o termo circular, descreve uma economia que não produz efeito líquido sobre o meio ambiente, restaurando quaisquer danos causados aos recursos e garantindo que pouco desperdício seja gerado na história de vida do produto. Trata-se de um sistema econômico que busca minimizar o desperdício e promover o uso sustentável de recursos, mantendo materiais e produtos em uso pelo maior tempo possível (Schneider; Parreira; Guimarães, 2023).

Kirchherr (2017) evidencia, a partir da análise crítica de múltiplas definições, que a economia circular tem sido frequentemente reduzida ao tripé reduzir–reutilizar–reciclar, mas que, para ser conceitualmente robusta e transformadora, requer mudança sistêmica (inovação tecnológica, organizacional e institucional) e articulação explícita com os objetivos do desenvolvimento sustentável. Ghisellini; Cialani; Ulgiati, (2016) ampliam essa leitura ao sintetizarem a economia circular como um paradigma multinível (micro, meso e macro) orientado ao fechamento de ciclos (materiais/energia), à reorganização de cadeias de valor e ao equilíbrio dinâmico entre dimensões ambientais e econômicas. Korhonen *et al.*, (2018) problematizam a circularidade como um conceito essencialmente contestado, alertando que seus benefícios não são automáticos e que há limites biofísicos e desafios (p.ex., termodinâmica, fronteiras do sistema, efeitos rebote, governança e justiça distributiva) que condicionam se — e em que medida — a economia circular efetivamente entrega ganhos de sustentabilidade, exigindo rigor analítico e desenho institucional compatível com realidades territoriais e sociais.

A EC visa criar benefícios socioeconômicos e ambientais, passando de uma EL, na qual os recursos são extraídos, usados e descartados, para um modelo que prioriza a eficiência e a reciclagem (Weetman, 2016), com três objetivos: eliminar o desperdício e a poluição, manter produtos e materiais em uso e regenerar os sistemas naturais (EMF, 2014). Por essas razões, a EC ganhou destaque no debate acadêmico como um modelo de gestão que busca integrar a atividade econômica e o bem-estar ambiental, pois reduz resíduos ao transformá-los em novos instrumentos de produção e, conseqüentemente, reduz o consumo de recursos naturais para a fabricação de novos produtos (Aquino; Pantoja; Luz, 2023). Ela configura uma mudança ambiental em resposta à necessidade global de uma economia ecológica, que requer atividades produtivas que sejam consistentes com os três princípios R's: Reduzir, Reutilizar e Reciclar (Ying; Li-Jun, 2012).

Sobre a materialização dos princípios de R's da EC, Eckhardt, (2012); Linder; Williander, (2017); Sundin; Bras, (2005) afirmam que sempre que possível, a reutilização e a remanufatura são preferíveis à reciclagem por razões econômicas, porque grande parte do valor acrescentado no processo de fabrico original permanece com os componentes. Valero; Valero (2019), catalogam as medidas de reciclagem como antieconômicas. A circularidade máxima dos materiais pode ajudar a criar uma economia eficiente em recursos-resíduos, entretanto, a dependência ambiental continuaria, uma vez que seriam necessários novos insumos e matérias-primas virgens em recursos renováveis e não renováveis (Herrero, 2019). Por isso, quantidades consideráveis de resíduos finais seriam produzidos e retornariam ao meio ambiente (Herrero, 2019). O autor desenvolve o conceito do “*mito da reciclagem permanente*” associando-o à lei da termodinâmica. Destaca o autor que as leis da termodinâmica e da economia fazem com que seja impossível um sistema de economia completamente circular. Portanto, a recuperação total dos materiais não é possível por causa das perdas ao longo do processo. O autor conclui que o processo de reciclagem não é a solução final porque está sujeito à lei de rendimento decrescente, e porque para reciclar é necessário dispor de quantidades crescentes de materiais e energia. A reciclagem como solução final deve ser revista, atendendo à entropia, que é um dos conceitos mais importantes na conexão entre os fundamentos ecológicos, biofísicos e econômicos da dinâmica da escassez dos recursos (Herrero, 2019). Cada processo de transformação implica a utilização de recursos naturais e energéticos para gerar produtos e serviços (Herrero, 2019). Diante da crítica ao processo de reciclagem, PBL (2016) define uma hierarquia de estratégias de circularidade, posicionando a reciclagem e recuperação de materiais como últimas opções, como ilustra a Tabela 1 abaixo:

Tabela 11 - Estratégia de hierarquia da circularidade das matérias

Uso e fabricação de produtos mais inteligentes	R0 Recusar	Fazer com que o produto seja redundante, abandonando sua função ou oferecer a mesma função com um produto radicalmente diferente
	R1 Repensar	Fazer que o uso do produto seja mais intensivo (por exemplo, compartilhando produtos ou colocando produtos multifuncionais no mercado)
	R2 Reduzir	Aumentar a eficiência na fabricação ou no uso do produto, consumindo menos recursos naturais
	R3 Reutilizar	Reutilização do produto descartado por outro consumidor, que ainda se encontra

Extender a vida útil do produto e suas partes		em boas condições e cumpre a sua função original
	R4 Reparar	Reparação e manutenção de um produto defeituoso para que seja utilizado em sua função original
	R5 Renovar	Restaurar um produto velho, atualizando-o
	R6 Remanufaturar	Usar partes do produto descartado em um novo produto, com a mesma ou diferente função
	R7 Readaptar	Adaptar o uso de partes do produto descartados em produtos novos com uma função diferente
Aplicação útil de materiais	R8 Reciclar	Processar materiais para recuperar o produto descartado
	R9 Recuperar	Incineração de materiais com recuperação de energia

Fonte: PBL, (2016)

A mudança para um modelo circular pode oferecer enormes oportunidades, incluindo redução de custos por meio da redução de desperdícios, melhor gestão da cadeia de abastecimento, menor sensibilidade à volatilidade dos preços dos recursos e relações mais duradouras e melhores com os clientes (Kortmann; Piller, 2016; Linder; Williander, 2017). A transição para uma EC impulsiona também a inovação, cria empregos e beneficia a agenda climática, ao contribuir para consumo e produção responsáveis (ODS 12) e desenvolvimento de sistemas operacionais sustentáveis (Fortes *et al.*, 2019; Lahti; Wincent; Parida, 2018; Rizos *et al.*, 2016).

A EC é igualmente operacionalizada por outras variáveis conceituais, a destacar: downcycling (ou subreciclagem), upcycling (ou superreciclagem), desenho ecológico, ciclos biológicos e técnicos (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2014). Em ciclos biológicos, os alimentos e materiais de base biológica retornam ao sistema natural, por meio de processos como compostagem e digestão anaeróbica. E esses ciclos regeneram sistemas vivos (como o solo), que fornecem recursos renováveis à economia (EMF, 2019). Os ciclos técnicos recuperam e restauram produtos, componentes e materiais por meio da reutilização, remanufatura ou reciclagem, esta é o último recurso (EMF, 2019).

Quer em processos de ciclos biológicos, quer em processos de ciclos técnicos, o desenho ecológico é crucial para a sustentabilidade da EC (Braungart; McDonough, 2002; Carson, 1962). Todos os componentes dos produtos se dividem em dois grupos: nutrientes biológicos e nutrientes técnicos (Hériz, I., 2018). O primeiro é o metabolismo biológico, neste caso, a biosfera, e o segundo é o metabolismo técnico, a tecnosfera (Hériz, I., 2018). Enquanto no metabolismo biológico todos os componentes retornam à natureza, no metabolismo técnico os elementos passam por reutilização, remanufatura ou, em última instância, a reciclagem (Hériz, I., 2018). O processo de desenho ecológico garante que produtos e materiais sejam projetados, desde o início, para permanecer em uso e/ou regenerar sistemas naturais (Connet, 2016; EMF, 2019). Essa abordagem exige que os produtos sejam projetados, por exemplo, pensando-se na desmontagem, modularidade, reparos, flexibilidade, reciclagem ou compostagem, tornando possível o reuso, a reforma, a remanufatura e a regeneração (EMF, 2013).

A outra dimensão conceptual da EC está relacionada à *downcycling* e *upcycling* (EMF, 2013). *Downcycling* é o processo de conversão de materiais em subprodutos, de menor qualidade e funcionalidade; *upcycling* é justamente o oposto, obtendo materiais de melhor qualidade e funcionalidade na conversão (Schneider; Parreira; Guimarães, 2023). Weber; Dasnois, (2021) pontuam que *downcycling* ocorre com muito mais frequência que o *upcycling* em processos de reciclagem, desgastando os materiais e deteriorando seu valor agregado, além de aproximá-lo de um ponto de irrecuperabilidade e, em seguida, de descarte.

De ponto de vista de implementação, o modelo de EC pode ocorrer de forma integrada e coordenada em três níveis: micro, meso e macro (Yuan, 2006; Sánchez-Ortiz *et al.*, 2020). No nível macro, os indicadores são orientados a apoiar decisões em áreas como integração de políticas econômicas, comerciais e ambientais, estratégias e planos de ação para o desenvolvimento sustentável e políticas nacionais de gestão de resíduos e conservação de recursos (Connet, 2016; EMF, 2013; Ihobe, 2018). Este nível pontua mais para o desenvolvimento de municípios e províncias (Jaca *et al.*, 2018). Para o nível meso, os indicadores permitem um acompanhamento mais diferenciado das informações e uma análise mais detalhada dos fluxos de materiais na economia, distinguindo categorias de materiais e setores ou ramos de produção e categorias de consumo, numa abordagem de ecologia industrial (Connet, 2016; EMF, 2013; Ihobe, 2018). Esse nível é constituído por um grupo de empresas que desenvolvem relações entre si para conjuntamente melhorar o uso dos recursos e reduzir seus impactos negativos, de maneira conjunta (Jaca *et al.*, 2018).

Embora a literatura sobre a EC reconheça a operacionalização em níveis micro (produto/empresa/consumidor), meso (redes interorganizacionais, simbiose industrial, eco-parques) e macro (cidades, regiões, países), persistem lacunas recorrentes: (i) desalinhamento conceitual e fragmentação — muitos estudos tratam a EC como um “guarda-chuva” de práticas (especialmente reciclagem) sem explicitar a mudança sistêmica e suas conexões com sustentabilidade, o que dificulta comparabilidade entre níveis e casos (Kirchherr, 2017); (ii) viés empírico e setorial no micro — há forte concentração em intervenções técnico-operacionais e indicadores corporativos/produto, mas com dificuldade de captar externalidades, efeitos indiretos e dependências institucionais, levando a avaliações parciais do “progresso circular” (Costa; Scur; Streit, 2024); (iii) dificuldades de mensuração e causalidade no macro — políticas e estratégias territoriais são frequentemente avaliadas por indicadores agregados pouco sensíveis a fluxos materiais reais, fronteiras do sistema e efeitos rebote, enfraquecendo inferências sobre ganhos líquidos de sustentabilidade (Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018); e (iv) lacuna de integração multinível — há insuficiência de modelos e desenhos de pesquisa que conectem, de forma rastreável, decisões micro (design/consumo), dinâmicas meso (infraestruturas, mercados secundários, logística reversa) e resultados macro (metabolismo urbano, equidade, emprego, emissões), o que mantém a EC vulnerável à transferência de impactos entre escalas e territórios (Harris; Martin; Diener, 2021).

Por outro lado, ecologia industrial analisa as interações e interdependências entre os sistemas industriais e o ambiente natural, com o objetivo de imitar os sistemas de circuito fechado encontrados na natureza, em que os resíduos de um processo se tornam matéria-prima para outro, visando pouco ou nenhum desperdício (Chagas; Caldeira-Pires, 2022; Jelinski *et al.*, 1992; Stahel, 2006). A ecologia industrial também exige cooperação entre as empresas para intercambiar recursos ou subprodutos, de maneira que se maximize o seu uso, dentro da abordagem circular, melhorando a eficiência no consumo dos recursos, aproveitamento de excedentes e resíduos como recursos e a gestão compartilhada de infraestruturas (Jaca *et al.*, 2018).

No nível micro, os indicadores fornecem informações detalhadas para processos de decisão específicos em nível empresarial ou local, ou referentes a substâncias específicas ou produtos individuais (Braungart; McDonough, 2002; Connet, 2016; Dane, 2020; Herrero, Luis y Laguela, 2019; Sánchez-Ortiz *et al.*, 2020; Yuan, 2006).

4.2.3.2 Métricas da Economia Circular

Para acompanhar o nível de eficácia e eficiência dos resultados da EC, diferentes autores e organizações têm definidos indicadores de controle e avaliação (Dane, 2020; EY-Parthenon, 2020; Geng *et al.*, 2012; Ihobe, 2018; OECD, 2021; Sánchez-Ortiz *et al.*, 2020; Van Hoof; Maarten; Vercasteren, 2018). Entretanto, Sánchez-Ortiz *et al.*, (2020) destacam que a definição de indicadores de eficiência na EC é altamente complexa. Essa complexidade decorre da existência de um maior número de indicadores de sustentabilidade (Van Hoof; Maarten; Vercasteren, 2018). Medir elementos como a pegada ambiental, a cota de reciclagem ou os impactos ambientais na gestão de resíduos envolve grande complexidade para pesquisadores, governos e gestores de empresas (EMF, 2014). Para avaliar as dinâmicas de transição e as políticas de circularidade, são necessários indicadores inovadores relacionados com os processos metabólicos de uso de recursos e gestão de resíduos (Lagueta; Herrero, 2019). Uma forma de analisar a EC é ver como os materiais entram na economia, fluem nela e a abandonam (Lagueta; Herrero, 2019). Os autores afirmam igualmente que os indicadores de fluxo de materiais estão relacionados com diferentes estilos de vida, tamanho da população, dependência de material do exterior, extração da matéria-prima em outros países e outros indicadores demográficos e sociológicos.

Entretanto, antes do processo de definição de indicadores, Sustainn, (2017), propõe primeiro a realização de um diagnóstico de toda a cadeia operacional linear, que pode ser dividido em quatro etapas: (1) análise dos fluxos de materiais, recursos e resíduos; (2) análise do custo do ciclo de vida; (3) definição de indicadores de circularidade; e (4) sustentabilidade e identificação de oportunidades de circularidade. Os indicadores apoiam a implementação de políticas e decisões em áreas como políticas de produtos, eficiência energética e gestão integrada de resíduos (Geng *et al.*, 2012). Haas *et al.*, (2015) explicam a necessidade de definir indicadores confiáveis como ferramentas para mensurar e quantificar as melhorias geradas pela EC. Linder; Williander, (2017) sublinham a necessidade urgente de rever explicitamente as soluções disponíveis para medir a circularidade, a fim de encontrar soluções para as suas diferentes fragilidades, ou de identificar algumas complementaridades. É por essas limitações metodológicas e técnicas que as organizações e governos tendem a fracassar nas soluções para os problemas derivados da economia, devido à escassez de indicadores e metas (Goddin *et al.*, 2019).

Os indicadores atualmente definidos se centram em diversas dimensões de sustentabilidade, todos eles tendendo a propor soluções ao dilema dos limites biofísicos da

escassez dos recursos, que geram a atual crise climática (Gates, 2021). Desses indicadores, se destacam: contratação pública verde (governos e instituições públicas que priorizam a compra de bens, serviços e obras com menor impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida, promovendo a reutilização, remanufatura, reciclagem e redução de resíduos), responsabilidade alargada do produtor (nível de responsabilidade do produtor pelo ciclo de vida completo de seus produtos, inclusive após o consumo) taxa de uso de materiais circulares (proporção de materiais secundários em relação ao total de materiais utilizados na economia), taxa de reciclagem de resíduos (proporção de resíduos reciclados em relação ao total de resíduos gerados), taxa de geração de resíduos por unidade de PIB (eficiência da economia em reduzir a geração de resíduos por unidade de valor gerado), índice de circularidade (percentual da economia global que é circular), intensidade de uso de recursos (quantidade de valor econômico [PIB] gerado por unidade de material consumido), taxa de remanufatura e reutilização (percentual de produtos, componentes ou materiais remanufaturados ou reutilizados ao invés de descartados), durabilidade dos produtos (tempo médio de vida útil dos produtos, antes de serem descartados ou substituídos) (Antonio Casadei Teixeira; Rodriguez Ramos; Maria da Silva Bezerra, 2023; Ey-Parthenon, 2020; Ihobe, 2018; OECD, 2021).

4.2.3.3 Barreiras e limitações da Economia Circular

Como referido acima, a introdução do modelo de EC é relativamente recente e enfrenta desafios estruturais e operacionais para a sua integral efetivação. Estudos indicam que poucas organizações e governos conseguiram migrar da EL para a EC (Gates, 2021). Os desafios estão relacionados à capacidade institucional, financiamento, tecnologia, condições econômicas e estruturais, *déficits* de infraestrutura e crescimento da população urbana (Preston; Lehne; Wellesley, 2019). Debrah; Teye; Dinis, (2022), destacam a inadequação ou ausência de políticas e regulamentações relativas à gestão de resíduos, financiamento insuficiente, falta de comprometimento e de vontade política, déficit de recursos humanos e falta de investimento no setor por parte de governos e empresários. Melati; Nikam; Nguyen, (2021) mencionam a falta de *expertise* na EC, que inclui a falta de um conhecimento técnico e científico para migrar de ciclos de vida de produtos lineares para circulares – como por exemplo, definir uma estratégia de negócios circulares, desenho de produto e fluxo de materiais – e outros *insights* relevantes. Ritzén, (2017) lista outros desafios centrados na dinâmica estrutural (falta de intercâmbio de informação), operacional (infraestrutura/gestão da cadeia de abastecimento), atitudinal (déficit de percepção da sustentabilidade e aversão ao risco), tecnológico (desenho

de produto, integração em processos produtivos), financeiro (medição dos benefícios financeiros da EC e rentabilidade financeira). No mesmo sentido, Wright *et al.*, (2019) apontam para a persistência de lacunas significativas na adoção de práticas da EC no Sul Global e dúvidas sobre se ela contribuirá positivamente para o crescimento econômico, o emprego e o desenvolvimento sustentável. Por fim, Moyo, (2011) e Gates, (2021) alertam para o dilema dos ciclos governamentais e os altos níveis de corrupção, que tendem a interromper a implantação da agenda de sustentabilidade.

A alta informalidade da economia é outra dimensão dos desafios de implementação da EC, principalmente em países de baixa renda (Worldwide Governance Indicators) (WGI) (World Bank, 2023). Wright *et al.*, (2019) Ahmed; Mahmud; Acet, (2022) afirmam que a EC em países de baixa e média renda ocorre, de maneira informal, impulsionada pela pobreza e pelo desemprego. Para eles, as atividades empregadas para extrair valor dos resíduos (particularmente nos estágios iniciais da cadeia de valor) nesse grupo de países estão impondo riscos à saúde ambiental, incluindo exposição a ambientes de trabalho perigosos e tóxicos, emissões e materiais, e doenças infecciosas. Dada a natureza precária dessa atividade nesses casos, é importante considerar as ameaças à saúde ambiental que grupos vulneráveis, especialmente mulheres e crianças, podem enfrentar na adoção da EC (Wright *et al.*, 2019).

A competitividade dos produtos e serviços da EC, também figuram como barreira estrutural e operacional para sua afirmação no mercado (EMF, 2014; Gates, 2021). Ou seja, a redução dos prêmios verdes desses produtos é um fator crítico de sucesso para fechar a lacuna entre intenção e ação dos consumidores (Connet, 2016; Emf, 2013; Gates, 2021; Tan; Tan; Ramakrishna, 2022). A pesquisa desenvolvida por Tan; Tan; Ramakrishna, (2022) constatou que os consumidores estariam dispostos a migrar para produtos mais ecológicos se os prêmios verdes não fossem superiores a 50% em relação às alternativas do mercado de massa. No entanto, segundo o mesmo estudo, os preços atualmente pesquisados para produtos mais ecológicos tendem a exceder ou estar mais próximos do limite superior da faixa de preço aceitável para o consumidor. As diferenças acentuadas de preço podem ser explicadas pela escassez, pelas limitações de recursos e pelas ineficiências inerentes à produção e à operação (Tan; Cha, 2021). Gates, (2021) argumenta que a pouca externalidade de preços do modelo linear, comparativamente ao modelo circular, permitiu a produção em massa de produtos a baixo custo. Tan; Tan; Ramakrishna, (2022) consubstanciam isso, realçando que o sistema linear tende a ser mais barato do que um sistema de produção circular, pois as externalidades negativas para a sociedade, o meio ambiente e a economia não são internalizadas. Os plásticos

de uso único são um excelente exemplo desse dilema de sustentabilidade ambiental (Dewit *et al.*, 2021).

O dilema da redução dos prêmios verdes na cadeia operacional da EC, também impacta a percepção do risco da classe empresarial, ao alocar seus investimentos em modelos circulares de negócios (EMF, 2013; Gates, 2021). Os baixos preços de matérias-primas e o baixo engajamento social no quesito ambiental podem incentivar as empresas a manter seu *status quo*, evitando investimentos que iniciem sua transição ao modelo circular, o que pode instituir um ciclo vicioso que perpetua o modelo linear (Silva *et al.*, 2019). Por isso Ormazabal *et al.*, (2018) fazem referência à aversão geral ao risco e à lógica empresarial de dar pequenos passos seguros no desenvolvimento organizacional, indicando claramente que uma mudança mais disruptiva em direção à EC tende a ser complexa. Essa aversão ao risco leva os líderes a criar instintivamente uma inércia que os impede de tomar as medidas necessárias para transformar seus negócios e participar do modelo circular (Tan; Tan; Ramakrishna, 2022).

Para suprir essa aversão ao risco e atender à necessidade de investimentos adicionais para a adoção de processos de produção circular, alguns autores defendem a implementação de políticas de subsídios e de recompensa financeira (Connet, 2016; EMF, 2013; Gates, 2021). As medidas de apoio que aliviem o ônus financeiro das empresas e ampliem os esforços de alinhamento com as partes interessadas, as incentivariam a transitar para a EC (Tan; Tan; Ramakrishna, 2022).

Algumas economias desenvolvidas, com destaque para a União Europeia, vêm implementando uma série de legislações de incentivos fiscais e subsídios para dinamizar a transição para a EC (EMF, 2014; *Europea*, 2020). Todavia, essa realidade tende a ser contrária em países de baixa e média renda, que se debatem com estruturantes e profundos problemas sociais, impossibilitando-os de canalizar investimentos necessários que respondam às demandas de transição para a EC (Tan; Tan; Ramakrishna, 2022; Wright *et al.*, 2019; Ahmed; Mahmud; Acet, 2022). Portanto, os governos dos países em desenvolvimento enfrentam diferentes obstáculos na gestão adequada, na formulação de políticas, na implementação de políticas e nas barreiras tecnológicas (Ding *et al.*, 2019). Entretanto, Gates, (2021) afirma que é responsabilidade do governo investir em pesquisa e desenvolvimento. O autor acredita que um enfoque tridimensional (tecnologia, políticas e mercados), tendo o Estado como facilitador, pode promover a inovação, criação de novas empresas e rápida comercialização de novos produtos circulares.

Outra dimensão das barreiras à EC, também relacionada ao dilema de sustentabilidade, está ligada ao efeito rebote, atrelado ao conceito de eficiência de recursos (Gates, 2021).

Preston; Lehne; Wellesley, (2019) alertam para esse efeito, no qual as reduções de preço de uma mercadoria, que ocorrem à medida que as práticas circulares se consolidam, podem ampliar o consumo, resultando em maiores demandas. Ou seja, quando a eficiência da produção aumenta, os custos de produção diminuem assim como, os preços dos produtos, o que impulsiona o consumo (Murray, Alan; Skene; Haynes, 2017), aumentando em última análise a demanda por recursos, contrário ao desenvolvimento do modelo de EC (Manickam; Duraisamy, 2019; Murray, Alan; Skene; Haynes, 2017; Rizos; Tuokko; Behrens, 2017).

Herrero, (2019) frisa que as tentativas nas últimas décadas evidenciam que os mecanismos de eficiência não são capazes de reduzir os impactos ambientais globais. Para enfrentar o efeito rebote, Jackson, (2009), propõe algumas ações: limites absolutos de consumo e emissões, taxaço de recursos e externalidades negativas, incentivo a novos modelos de negócios baseados em suficiência e educação e mudança comportamental do consumidor. Portanto, a eficiência na EC, por si só, não garante sustentabilidade (Murray, Alan; Skene; Haynes, 2017). O efeito rebote mostra que é essencial articular eficiência com políticas de suficiência e mudança cultural, evitando que soluções circulares acabem retroalimentando o consumo desenfreado (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2014; Gates, 2021).

4.2.4 Resultados e discussão

A apresentação e discussão dos resultados a seguir se estruturam a partir de uma abordagem multiescalar e sistêmica, fundamentada nos três níveis hierárquicos de implementação da EC — macro, meso e micro — conforme delineado por Yuan (2006) e, posteriormente, aprofundado por Kirchherr (2017) e por Sánchez-Ortiz *et al.* (2020). Essa abordagem, permite captar, com maior precisão, a complexidade e a transversalidade das práticas circulares, bem como os entraves e as oportunidades que se manifestam em diferentes escalas territoriais e institucionais.

4.2.4.1 Nível macro

Nesse nível da análise, a investigação se concentrou em duas dimensões inter-relacionadas: (1) o exame crítico das políticas públicas, da legislação vigente, dos planos estratégicos e das diretrizes normativas que orientam a gestão de resíduos sólidos urbanos; e (2) a avaliação empírica dos mecanismos e práticas de gestão desses resíduos no contexto local (Europea, 2020; Pires; Martinho, 2019). A abordagem adotada permitiu ir além da descrição formal dos instrumentos legais, possibilitando a identificação do grau de coerência e

efetividade das estruturas institucionais voltadas para a promoção de uma economia circular. Especificamente, buscamos compreender em que medida o Estado tem sido capaz de estabelecer um arcabouço normativo e institucional que favoreça a circularidade dos materiais, a minimização da geração de resíduos e o fortalecimento da resiliência socioecológica.

Essa análise revelou aspectos fundamentais das as condições políticas e administrativas que influenciam a adoção de estratégias sustentáveis de gestão de resíduos, evidenciando tanto avanços quanto limitações que afetam diretamente a viabilidade de transição para modelos mais integrados e sustentáveis de desenvolvimento urbano.

4.2.4.1.1 Análise de políticas públicas, legislação, planos e políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos

Analizamos os instrumentos normativos de nível nacional e local (municipal), em busca de elementos, abordagens e/ou princípios inerentes à operacionalização da EC. A integração da normativa nacional nessa abordagem, decorre fato de dos municípios estarem sujeitos igualmente à jurisdição nacional, apesar da sua *relativa* autonomia administrativa, financeira e patrimonial (BR_Moçambique, 2008). Dessa forma, selecionamos elementos normativos e estratégicos centrados na área ambiental e no desenvolvimento sustentável, com impacto direto ou indireto na dinâmica da sustentabilidade territorial do MB.

A análise dos instrumentos normativos e estratégicos revela um avanço progressivo na incorporação dos princípios e variáveis da EC no planejamento de médio e longo prazo da área de estudo. De forma geral, vemos que documentos como políticas nacionais, estratégias temáticas e planos de desenvolvimento territorial passaram a integrar elementos operacionais e conceituais centrais da EC, a exemplo da reciclagem, reutilização, eficiência no uso de recursos, remanufatura, valorização energética e redução de resíduos em todas as fases do ciclo de vida dos produtos.

Conforme ilustram os dados da Tabela 12, a distribuição deles varia em profundidade e grau de institucionalização entre os instrumentos analisados. Enquanto alguns documentos os mencionam de forma descritiva e normativa, outros demonstram um esforço mais robusto de integração transversal, alinhando a EC com objetivos mais amplos de sustentabilidade, competitividade econômica e resiliência climática.

Destaca-se, neste contexto, a Estratégia Nacional de Desenvolvimento (2025–2044), que apresenta uma abordagem mais consolidada da EC, estruturada em torno de eixos interdependentes que contemplam desde a transição energética e a industrialização verde até a

promoção de sistemas alimentares sustentáveis e a bioeconomia. O documento explicita, por exemplo, metas relacionadas à redução da extração de recursos primários, ao estímulo à inovação tecnológica para materiais recicláveis e à formalização de cadeias de valor circulares com ênfase na inclusão socioproductiva.

De igual modo, a Estratégia de Desenvolvimento da Economia Azul (2024–2033) incorpora a EC em sua arquitetura programática como uma dimensão central do uso sustentável dos recursos marinhos e costeiros. A EC é aqui associada à gestão integrada dos resíduos portuários, à valorização de resíduos pesqueiros, ao incentivo à ecoeficiência nos processos industriais navais e ao desenvolvimento de infraestruturas resilientes e adaptativas nos litorais vulneráveis às mudanças climáticas. Essas estratégias demonstram uma perspectiva de transversalidade temática, ao alinhar os princípios da EC a outras agendas prioritárias, como a descarbonização da economia, o emprego verde, a transição digital, a educação ambiental, e o fortalecimento da governança territorial. Isso indica um movimento de superação da abordagem setorial fragmentada, avançando em direção a uma visão sistêmica e interministerial, que reconhece a EC como uma ferramenta para transformar padrões de produção e consumo no longo prazo.

O programa Quinquenal do Governo moçambicano (2025 – 2029) menciona igualmente à EC, no seu quinto pilar sobre “Sustentabilidade Ambiental, Mudanças Climáticas e EC”. Ele se propõe a promover um modelo econômico mais sustentável e inclusivo, baseado na reutilização, remanufatura, reciclagem e redução de resíduos, visando minimizar o impacto ambiental e maximizar a eficiência no uso de recursos naturais (Governo de Moçambique, 2025). De ponto de vista de indicadores, o instrumento define que até 2029 o volume de resíduos reaproveitados em centros de triagem deverá chegar a 10% e a percentagem de empresas que adotam tecnologias de reutilização de resíduos deverá chegar também a 10% (Governo de Moçambique, 2025). No entanto, esses indicadores são demasiadamente gerais, sintéticos e ambíguos para monitorar um processo de transição para a EC. São necessários parâmetros específicos para mensurar, dentro de uma regularidade temporal, a taxa de reciclagem, reutilização, redução, redesenho, remanufatura, de dependência de matérias virgens, de reaproveitamento de subprodutos, etc (Dane, 2020; Oecd, 2021; Sánchez-Ortiz *et al.*, 2020).

Como se pode depreender, ainda não existe um instrumento normativo, quer a nível do MB, quer a nível nacional, que aborde específica e exclusivamente a EC, na forma de política, plano, decreto, regulamento ou lei. A EC, como ilustra a Tabela 12, é abordada em instrumentos normativos de áreas transversais, carecendo ainda de elementos cruciais para sua

materialização, como por exemplo, medidas de monitoramento e indicadores para a EC, mecanismos de financiamento de transição para a circularidade, pesquisa e inovação, etc. (Debrah; Teye; Dinis, 2022)

Tabela 12 - Síntese dos instrumentos normativos e estratégicos relacionados a EC do Município da Beira e Moçambique

nível	instrumentos legais	escopo	palavras-chaves da EC
Nacional	Decreto n° 83/2014 de 31 de Dezembro (Regulamento sobre gestão de resíduos perigosos)	produção e gestão de resíduos perigosos, com destaque para resíduos bio-médicos, radioativos, emissões e descargas de efluentes, águas residuais e outros tipos de resíduos perigosos sujeito à regulação específica	proibição de reciclagem de resíduos perigosos
	Estratégia Nacional de Desenvolvimento (2025-2044)	promover um desenvolvimento econômico e social que seja sustentável, inclusivo, equitativo e justo	eficiência no uso dos recursos, reciclagem, reutilização, valorização e redução de resíduos
	Estratégia de Desenvolvimento da Economia Azul (2024 – 2033)	induzir mudanças profundas com vista à exploração sustentável dos recursos naturais	aproveitamento dos subprodutos; reduzir a produção, importação e uso de plásticos; remanufatura; reciclagem; intervenção dos agentes económicos e de poderes públicos na adoção de medidas incentivadoras de reciclagem; insuficiência de tecnologias de reciclagem; reutilização; eficiência energética e descarbonização da economia; e eficiência do uso de recursos.
	Decreto n.º 16/2015 de 5 de Agosto (Regulamento sobre a Gestão e Controlo do Saco de Plástico)	regulamentar a produção, importação, comercialização e uso do saco de plástico com vista, a reduzir os seus impactos negativos na saúde humana, infra-estruturas, biodiversidade e no ambiente em geral devido principalmente à sua característica de não biodegradabilidade	somente define a reciclagem, sem no entanto, detalhar o seu processo de operacionalização

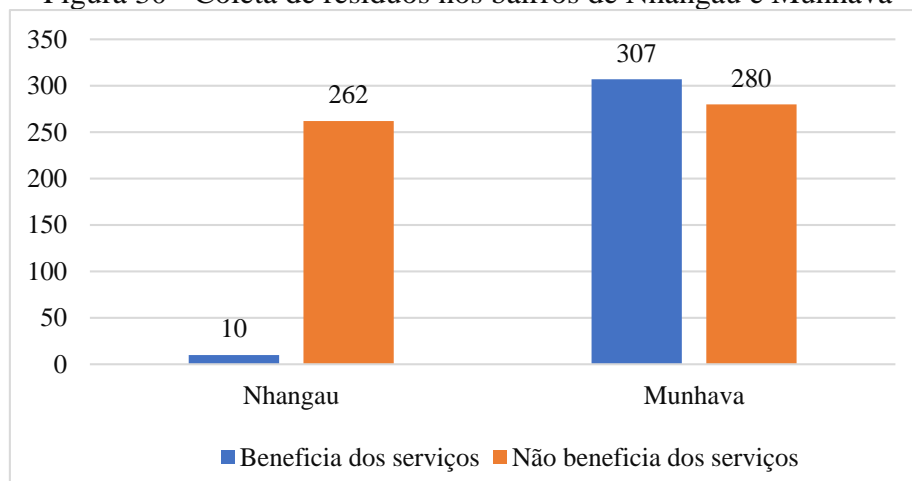
	Decreto n.º 94/2014 de 31 de Dezembro (Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos)	regulamentar a gestão correta de resíduos sólidos urbanos resultantes das atividades humanas, dadas as consequências nefastas que a sua má gestão acarreta para a saúde pública e o meio ambiente	reciclagem, compostagem, recolha selectiva, aterros sanitários, prevenção, redução, reutilização e recuperação de resíduos
	Decreto n.º 24/2008 de 1 de julho (Regulamento sobre a Gestão das Substâncias que Destroem a Camada de Ozono)	proteger o ambiente, proibindo o lançamento para atmosfera, de quaisquer substâncias tóxicas ou poluidoras	reciclagem, reutilização e recuperação
Municipal	Postura Municipal da Beira para a Gestão de Resíduos Sólidos (CMB)	define procedimentos operacionais, atribuições dos serviços municipais, modalidades de coleta e ações educativas	reduzir, reutilizar, reciclar, recusar, repensar
	Planos anuais e Plano Diretor Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos	planificação de infraestrutura e gestão sustentável até 2025	separação na origem, reciclagem, tratamento e uso energético dos resíduos

Fonte: Autores (2025), com base na legislação moçambicana

4.2.4.1.2 Gestão de resíduos sólidos

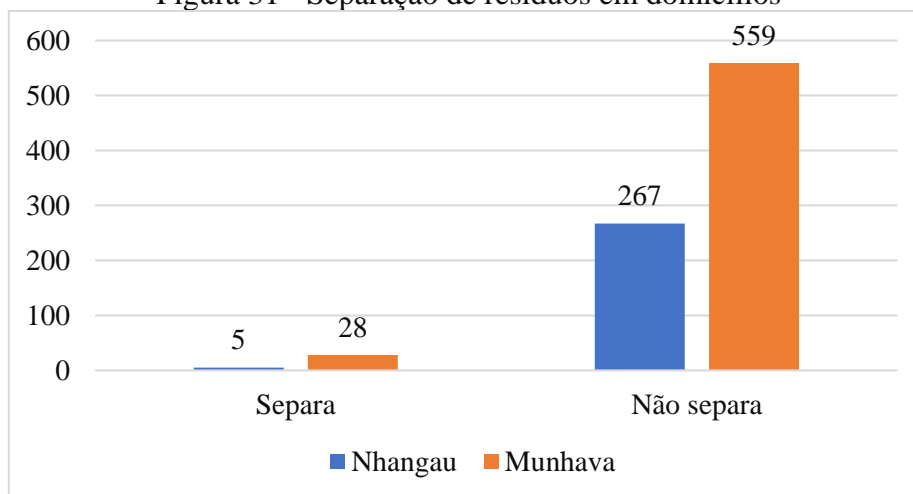
A coleta de resíduos sólidos possibilita um melhor escoamento das águas pluviais, em períodos chuvosos, melhorando o funcionamento do sistema de drenagem (Kaza *et al.*, 2018). Nessa variável, o bairro de Munhava apresentou maiores índices dos serviços de coleta de resíduos sólidos (96,3%), enquanto que Nhangau apresentou baixos índices de coleta, com cerca de 53,3%. Essa diferença proporcional entre os dois bairros pode ser explicada pelo facto de o bairro Nhangau ser relativamente novo, com um padrão de urbanização espontâneo e desordenado (INGC, 2009), o que dificulta o acesso eficiente e eficaz desses serviços. O deficiente funcionamento desses serviços, como ilustram os dados da Figura 29, tem sido notório em períodos de chuvas, que em conjugação com o perfil de solos (pantanosos), tem gerado extensas inundações nos dois bairros (CMB, 2023; INGD, 2022).

Figura 30 - Coleta de resíduos nos bairros de Nhangau e Munhava



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

Figura 31 - Separação de resíduos em domicílios

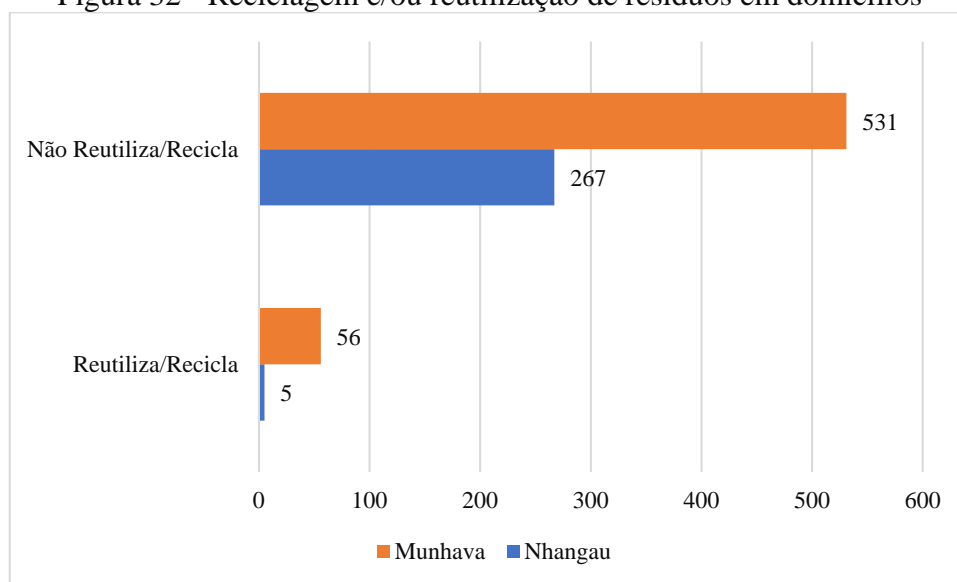


Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

Um sistema municipal de coleta de resíduos sólidos sem contribuição dos domicílios na separação, tende a ser ineficiente (Braungart; McDonough, 2002; Connet, 2016; Kaza *et al.*, 2018), principalmente quando a meta é o modelo de EC (EMF, 2015). A Figura 30, mostra níveis substancialmente baixos de separação de resíduos sólidos a nível do domicílio (acima de 95% dos domicílios) no MB. Esta situação impacta toda uma cadeia de valor de gestão de resíduos sólidos, tornando o processo do seu reaproveitamento comercial ou logística reversa ainda mais caro para as organizações recicladoras, decorrente do custo adicional de separação. Portanto, a conjugação do baixo acesso aos serviços públicos de coleta de resíduos sólidos, da rede de esgoto deficiente e da baixa taxa de separação de resíduos ao domicílio, torna os territórios ainda mais vulneráveis e menos resilientes aos eventos climáticos, com particular destaque para as inundações.

A reutilização, redução, redesenho, remanufatura e reciclagem (última opção) são processos estruturantes do modelo de EC porque possibilitam o reaproveitamento comercial das matérias secundárias ou subprodutos, *reprolongando* o seu ciclo de vida e, concomitantemente, reduzindo a dependência das matérias-primas ou virgens, (Braungart; McDonough, 2002; Carson, 1969; Connet, 2016; Ward *et al.*, 2016). O reaproveitamento comercial reduz igualmente o descarte de resíduos no meio ambiente, principalmente nos de sistemas de drenagem. À luz dos outros indicadores de desempenho do modelo de EC acima avaliados, a reciclagem e/ou reutilização apresentam índices baixos nos dois bairros. Isso associado aos elementos de gestão de resíduos e de inundações, pode comprometer as possibilidades de uma adaptação sustentável do território (Figura 31).

Figura 32 - Reciclagem e/ou reutilização de resíduos em domicílios



Fonte: Autores (2023), com base em dados de entrevistas

Um aspecto de destaque identificado durante a etapa de coleta de dados junto às comunidades envolvidas refere-se à limitada familiaridade dos participantes com conceitos fundamentais da EC. Existe uma tendência generalizada de desconhecimento ou de compreensão parcial de noções-chave, tais como reciclagem, reutilização, redução, redesenho, remanufatura e separação de resíduos. Isso representou um desafio metodológico relevante, exigindo dos pesquisadores uma abordagem cuidadosa e pedagógica (Melati; Nikam; Nguyen, 2021). Antes do início das entrevistas propriamente ditas, foi necessário dedicar tempo à explicação detalhada de cada um desses conceitos, recorrendo a exemplos práticos e à linguagem acessível. Essa etapa prévia revelou-se essencial para garantir que os participantes pudessem compreender plenamente os temas abordados, permitindo a coleta de dados mais consistentes e alinhados aos objetivos da pesquisa (Ritzén, 2017).

4.2.4.1.3 Insuficiências do nível macro

No entanto, é importante notar que, embora esses documentos (acima referenciados) representem avanços significativos, ainda persistem desafios quanto à operacionalização dos princípios circulares, especialmente na ausência de indicadores específicos de monitoramento, de mecanismos de financiamento dedicados e de uma maior articulação entre níveis de governo (nacional, provincial e local) (Dane, 2020; EY-Parthenon, 2020; Geng *et al.*, 2012).

Há, portanto, um descompasso entre o discurso estratégico e a capacidade institucional de implementação, o que demanda esforços coordenados de capacitação, sensibilização social e investimentos públicos e privados para criar ecossistemas circulares em escala nacional e regional (Preston; Lehne; Wellesley, 2019).

4.2.4.1.4 A reciclagem e outras formas de circularidade

Os documentos analisados tendem a posicionar a reciclagem no mesmo patamar hierárquico que outras estratégias de EC, como a reutilização, remanufatura, redesenho e redução do uso de materiais. Essa equiparação, embora comum em discursos institucionais e em algumas políticas públicas, revela uma limitação conceitual e prática importante: ela ignora que essas estratégias têm profundas diferenças em termos de impacto ambiental, consumo energético e uso de recursos naturais (Herrero, Luis y Lagueta, 2019; PBL, 2016). A reciclagem, embora seja um componente fundamental da EC, é frequentemente intensivo em energia, tecnologia e infraestrutura, especialmente quando envolve materiais complexos ou mistos (Valero; Valero, 2019). Além disso, muitos processos de reciclagem exigem insumos adicionais de recursos virgens — como água, produtos químicos ou energia de fontes fósseis — para viabilizar a separação, a purificação e a transformação dos resíduos em novos produtos (Herrero, Luis y Lagueta, 2019). Esse padrão, ao invés de romper com o modelo linear de produção e consumo, pode, em alguns casos, reproduzir as formas existentes de extração e dependência de matérias-primas e perpetuar os desequilíbrios ambientais e socioeconômicos existentes.

Em contraste, a redução (do consumo e da geração de resíduos) ou a reutilização direta de produtos e componentes costumam demandar significativamente menos energia e recursos adicionais, configurando-se como soluções ambientalmente mais eficientes e desejáveis (Eckhardt, 2012; Linder; Williander, 2017; Sundin; Bras, 2005). A remanufatura, por sua vez, prolonga a vida útil de produtos complexos (como equipamentos eletrônicos, maquinários ou veículos) sem a necessidade de retornar à cadeia produtiva desde o estágio de matérias-primas,

promovendo ganhos substanciais em termos de emissões evitadas e economia de materiais (Connet, 2016). Portanto, ao não reconhecer essas distinções, os documentos analisados reforçam uma narrativa tecnicista da circularidade, centrada na reciclagem como solução central, e minimizam o papel transformador de abordagens mais preventivas e sistêmicas. Essa lógica pode inclusive induzir decisões políticas e investimentos equivocados, priorizando a instalação de infraestrutura de reciclagem em detrimento de políticas públicas voltadas à educação ambiental, à mudança de padrões de consumo ou à inovação no redesenho de produtos, que evitariam a geração de resíduos desde a origem. Esse entendimento limitado compromete o potencial emancipador da EC e perpetua a dependência estrutural de recursos naturais, dificultando a transição para um modelo verdadeiramente sustentável, regenerativo e adaptado às particularidades socioambientais locais (Hériz, I., 2018).

4.2.4.1.5 Redesenho de produtos e serviços

A segunda dimensão da insuficiência — frequentemente negligenciada nos documentos estratégicos e nas políticas públicas — se refere à ausência de integração do desenho ecológico no ciclo de vida dos produtos, especialmente no que tange à distinção e ao aproveitamento dos ciclos técnicos e biológicos, conforme proposto por Braungart; McDonough, (2002) na lógica do *cradle-to-cradle*. Essa lacuna compromete a efetividade da transição para a EC pois desconsidera que a circularidade não se limita apenas ao reaproveitamento de materiais, mas requer uma transformação profunda nos modos de conceber, fabricar e consumir bens.

Atualmente, a maioria dos produtos é projetada segundo os princípios da EL, priorizando eficiência de curto prazo, custos reduzidos e obsolescência programada (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2015). Isso resulta em bens que frequentemente combinam materiais incompatíveis para a reciclagem, contêm substâncias químicas tóxicas ou persistentes, e apresentam baixo potencial de desmontagem ou reintegração segura ao meio ambiente ou aos ciclos industriais. Em vez de fluxos metabólicos circulares, prevalecem materiais de difícil ou impossível revalorização, sobretudo no fim de vida útil, o que gera resíduos residuais que não se encaixam nem nos ciclos biológicos, nem nos ciclos técnicos (EMF, 2019).

Essa realidade implica barreiras substanciais para a EC, sobretudo por parte do setor privado. A incorporação de práticas circulares em cadeias produtivas que operam com insumos lineares e contaminantes implica riscos técnicos, financeiros e regulatórios (Gates, 2021; Tan; Tan; Ramakrishna, 2022). Tais riscos incluem desde a incerteza quanto à viabilidade

econômica do reaproveitamento, até a possibilidade de responsabilidade legal em caso de contaminação ambiental ou riscos à saúde pública. Por essa razão, muitos empresários percebem a circularidade mais como um ônus do que uma oportunidade, retardando ou evitando o engajamento com modelos de negócios baseados em circuitos fechados de matéria e energia (Gates, 2021; Silva *et al.*, 2019).

A transição para a EC impõe, portanto, um desafio de redesenho sistêmico. Isso significa repensar, desde a origem, as cadeias de valor, os fluxos de materiais, os padrões de consumo e os processos industriais, incorporando desde a concepção inicial dos produtos, os princípios de modularidade, durabilidade, desmontabilidade, reparabilidade e separação de materiais. Esse redesenho deve ser orientado pela maximização do *upcycling* — ou seja, pela revalorização de materiais em produtos de maior valor agregado — e não pelo *downcycling*, prática dominante atualmente, na qual os materiais reciclados retornam ao ciclo produtivo com qualidade inferior, comprometendo sua utilidade em ciclos subsequentes e perpetuando perdas entropicamente inevitáveis (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2014).

Nesse contexto, o desenho ecológico — quando orientado por princípios de biomimética, engenharia verde e ciclo fechado de materiais — não deve ser visto como um custo adicional, mas como um elemento estratégico de inovação, competitividade e sustentabilidade. A superação dessa insuficiência exige, portanto, uma combinação entre pressões regulatórias eficazes, incentivos econômicos bem calibrados e capacitação técnica dos atores produtivos, capazes de transitar da lógica do produto descartável para o paradigma do produto como serviço, da funcionalidade duradoura e da responsabilidade estendida do produtor.

4.2.4.1.6 Redesenho do sistema de produção linear para circular

Um dos pressupostos fundamentais para a transição de um modelo linear para um modelo circular de produção e consumo reside na capacidade de redesenhar produtos e processos produtivos, de modo a maximizar a durabilidade, reutilização, revalorização e reintegração de materiais nos ciclos produtivos. Esse redesenho, por sua vez, depende de dois fatores interligados: (i) o controle sobre a cadeia de valor, especialmente sobre os fluxos a jusante (*downstream*) — ou seja, as etapas que envolvem a distribuição, o consumo, a coleta pós-uso e a reintegração dos resíduos ao sistema produtivo — e (ii) a disponibilidade de investimentos expressivos, necessários para promover a substituição de tecnologias convencionais (baseadas em extração, produção, consumo e descarte), por tecnologias que

incorporem os princípios da circularidade, como desenho ecológico, manufatura reversa, simbiose industrial, logística reversa e uso de materiais recicláveis ou biodegradáveis (Braungart; McDonough, 2002).

Entretanto, no contexto analisado, o MB enfrenta limitações estruturais significativas que comprometem a viabilidade desses dois pressupostos. Em primeiro lugar, é um território predominantemente importador, com frágil base industrial local, o que implica uma baixa capacidade de intervenção ou controle sobre os elos finais da cadeia de valor. A dependência externa de produtos industrializados, insumos e tecnologias — geralmente originados de centros urbanos mais dinâmicos ou de mercados internacionais — limita a atuação local sobre o pós-consumo e a gestão dos resíduos, enfraquecendo mecanismos como a logística reversa, a rastreabilidade de materiais e a possibilidade de negociação com fornecedores ou distribuidores para fins de circularidade (EMF, 2013). Nesse cenário, o município assume um papel passivo e periférico na estrutura produtiva, atuando maioritariamente como consumidor e depositário final de resíduos, com pouca ou nenhuma influência sobre os estágios de concepção, desenho e logística.

Em segundo lugar, há restrições orçamentárias severas, discutidas anteriormente, que impedem a realização de investimentos de médio e longo prazo voltados à transição tecnológica. A EC, embora potencialmente geradora de benefícios econômicos e ambientais no longo prazo, demanda investimentos iniciais significativos, seja na construção de infraestrutura adequada (como centros de triagem, unidades de compostagem, estações de reparo e reuso, *hubs* logísticos), na formação de capital humano (capacitação técnica, qualificação profissional) ou na reestruturação institucional (criação de marcos regulatórios, incentivos fiscais, mecanismos de governança multissetorial) (Debrah; Teye; Dinis, 2022; Melati; Nikam; Nguyen, 2021; Preston; Lehne; Wellesley, 2019). No entanto, o cenário de limitações fiscais, aliado à ausência de políticas de financiamento ambiental robustas e à baixa atratividade para investimentos privados, impõe um obstáculo estrutural à conversão do modelo produtivo vigente.

A conjunção entre a falta de controle sobre a cadeia produtiva a jusante e as restrições orçamentárias crônicas compromete a possibilidade de o município adotar os princípios da EC. Esse cenário revela uma condição de assimetria estrutural, em que a responsabilidade pela circularidade é deslocada para territórios que não dispõem nem de instrumentos de controle nem de recursos para a transição, configurando um paradoxo entre os objetivos globais da circularidade e a capacidade local de implementação (Lumpkin; Steier; Wright, 2011). Isso exige, portanto, uma abordagem crítica e situada das estratégias de EC, que reconheça os

diferenciais de capacidade institucional, tecnológica e financeira entre os territórios, e promova mecanismos de cooperação multinível, transferência tecnológica e solidariedade fiscal como formas de viabilizar uma transição justa e equitativa.

4.2.4.1.7 Efeito rebote da eficiência dos recursos naturais e o dilema dos prêmios verdes

Os documentos analisados — sejam eles planos estratégicos, políticas públicas locais ou diretrizes institucionais — não contemplam medidas explícitas ou eficazes para o enfrentamento de dois desafios estruturantes e muitas vezes negligenciados na implementação da EC: o efeito rebote da eficiência dos recursos naturais (Latouche, 2008) e o dilema dos prêmios verdes (EMF, 2013; Gates, 2021; Murray, A.; Skene; Haynes, 2017; Silva *et al.*, 2019). Esses elementos são determinantes para a viabilidade do modelo circular, sobretudo quando se busca uma transição justa, sustentável e estruturalmente transformadora.

Nível Meso

No nível meso, a investigação se concentrou na análise do potencial de ocorrência de simbiose industrial no Parque Industrial da Beira — reconhecido como o segundo maior polo industrial de Moçambique, tanto em diversidade setorial quanto em capacidade instalada. O parque abriga unidades produtivas de diversos ramos industriais, incluindo os setores de cimento, fertilizantes, bebidas, mobiliário, confecções têxteis e metalurgia, configurando um ambiente com significativo potencial para práticas de integração material e energética entre empresas (CMB, 2023).

A presença dessa diversidade setorial constitui, em si, uma condição estrutural favorável à viabilidade de trocas interindustriais, uma vez que diferentes processos produtivos geram subprodutos com características físicas e químicas potencialmente úteis para outras atividades produtivas dentro do mesmo território (Connet, 2016; EMF, 2013; Ihobe, 2018). Essa complementaridade de insumos e resíduos é o fundamento da simbiose industrial, cujos princípios consistem na transformação de subprodutos de uma empresa em insumos para outra, promovendo eficiência sistêmica, redução de custos operacionais, minimização de resíduos e ganhos ambientais significativos (EMF, 2015).

Todavia, os dados empíricos obtidos indicam que, apesar do elevado potencial teórico, a simbiose industrial no Parque Industrial da Beira ocorre de forma incipiente ou inexistente. Identificamos níveis reduzidos de intercâmbio de fluxos materiais e energéticos entre as empresas instaladas, evidenciando uma desarticulação sistêmica e a ausência de estratégias colaborativas para o reaproveitamento de subprodutos. Como resultado, materiais com valor

residual significativo — como resíduos orgânicos, energias térmicas desperdiçadas, biomassa e efluentes industriais — acabam sendo descartados ou subutilizados, causando perdas econômicas e ambientais evitáveis.

Essa lacuna operacional parece estar fortemente associada à prevalência de modelos produtivos lineares no interior do parque, baseados em sistemas tecnológicos que não foram concebidos para o reaproveitamento de insumos ou para a reconfiguração de fluxos de entrada e saída entre unidades industriais vizinhas (Preston; Lehne; Wellesley, 2019; Ritzén, 2017). A baixa interoperabilidade técnica entre os processos produtivos, aliada à falta de incentivos econômicos, à ausência de uma governança industrial integrada e à escassa cultura de cooperação empresarial, constituem obstáculos estruturais à transição para a circularidade (Ritzén, 2017; Wright *et al.*, 2019).

Além disso, a inexistência de um inventário sistematizado de resíduos e subprodutos e de plataformas de mapeamento de fluxos materiais, dificulta o reconhecimento de sinergias potenciais entre as empresas. Sem informação transparente e acessível sobre os excedentes industriais, as possibilidades de trocas produtivas permanecem invisíveis ou inviáveis (EMF, 2013).

Por via disso, concluímos que, embora o Parque Industrial da Beira reúna condições estruturais promissoras para o desenvolvimento de uma simbiose industrial robusta, a sua concretização exige mudanças substanciais no modelo de gestão produtiva, na cultura empresarial e na infraestrutura institucional. Investimentos em tecnologias mais adaptáveis à circularidade, o fortalecimento da governança multissetorial e a criação de mecanismos de cooperação técnica entre empresas locais são medidas fundamentais para transformar o potencial existente em práticas de circularidade (Preston; Lehne; Wellesley, 2019).

4.2.4.2 Nível micro

A análise no nível micro se concentrou na identificação do potencial de empresas e associações locais para contribuir para a transição de EL para EC. Nesse contexto, analisamos 11 micro e pequenas empresas, de diferentes setores produtivos e 5 principais associações que se dedicam à compra e à venda de resíduos sólidos. A investigação envolveu uma avaliação detalhada de suas cadeias de produção, com foco nos fluxos de entrada e saída de materiais, práticas de gestão de resíduos, estratégias de reaproveitamento de insumos e o grau de integração de princípios circulares, como reutilização, reciclagem e extensão do ciclo de vida dos produtos. A análise buscou compreender em que medida essas organizações incorporam

práticas sustentáveis e quais são os principais desafios e oportunidades percebidos para intensificar a circularidade em seus processos produtivos.

4.2.4.2.1 Contribuição das micro e pequenas empresas para a circularidade dos materiais

Um dos primeiros elementos que se destacou nas interações com os gestores das 11 empresas analisadas foi a existência de um déficit estrutural significativo no domínio dos processos necessários à operacionalização da EC. Esse déficit é especialmente crítico dentro do contexto contemporâneo, em que é imperativo transitar da EL para EC..

Embora os gestores tenham participado antes de capacitações no âmbito do projeto “Inovação Circular”, financiado pela União Europeia — o qual tinha como objetivo fomentar a adoção de modelos circulares de negócios —, persistem neles lacunas importantes tanto na compreensão conceitual, quanto na capacidade prática de implementação dos princípios da EC nas atividades empresariais cotidianas. Em muitos casos, constatamos uma assimilação superficial dos fundamentos da EC, sem a correspondente internalização de estratégias operacionais, como o redesenho de processos produtivos, a incorporação de fluxos reversos ou a valorização de subprodutos (Melati; Nikam; Nguyen, 2021). Essa limitação estrutural não apenas compromete a eficácia das ações voltadas à sustentabilidade, como também indica a necessidade de intervenções mais profundas e contínuas, que aliem formação técnica, acompanhamento personalizado e suporte institucional à criação de condições estruturais para a transição circular (Debrah; Teye; Dinis, 2022).

Por outro lado, as empresas enfrentam uma série de dificuldades diretamente relacionadas às limitações identificadas no nível macro da análise. Em primeiro lugar, destacamos a ausência de um quadro legal específico que regule e incentive a adoção da EC, o que compromete a criação de um ambiente institucional favorável à sua implementação (EMF, 2014; Gates, 2021). Além disso, os investimentos em modelos produtivos circulares permanecem insuficientes, limitando tanto a inovação tecnológica quanto a reestruturação organizacional necessária para uma mudança (Melati; Nikam; Nguyen, 2021).

Outro entrave importante se refere ao diferencial de preços: os produtos ecologicamente responsáveis ainda têm, de modo geral, um custo mais alto do que os produtos tradicionais (Tan; Tan; Ramakrishna, 2022). Essa realidade se mostra especialmente desafiadora em mercados caracterizados por baixo poder aquisitivo, como o caso em questão, no qual a demanda por produtos sustentáveis é reduzida pela limitação do consumo.

Adicionalmente, faltam tecnologias apropriadas que permitam às empresas adotar a EC. As soluções tecnológicas existentes, muitas vezes importadas ou de alto custo, são inacessíveis à maioria das empresas analisadas, comprometendo a operacionalização de práticas como a reutilização, a remanufatura e o reaproveitamento de materiais (Wright *et al.*, 2019).

Como consequência dessas limitações estruturais e contextuais, muitas empresas até expressam a intenção de adotar princípios da EC em seus processos produtivos. No entanto, essa intenção frequentemente esbarra em estruturas tecnológicas e organizacionais ainda rudimentares, incapazes de sustentar uma transição robusta (Ritzén, 2017). Conforme já evidenciado na análise macro, a maioria das empresas inquiridas não detém controle sobre a cadeia produtiva e de distribuição, sobretudo nas etapas a jusante. Essa limitação impede que elas abordem aspectos fundamentais da circularidade, como o redesenho ecológico de produtos e serviços (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2015).

A dependência de cadeias de fornecimento fragmentadas e a ausência de controle sobre as fases iniciais e finais do ciclo de vida dos produtos dificultam, por exemplo, a eliminação de materiais tóxicos ou de difícil reciclagem, que ainda compõem parte expressiva dos insumos utilizados (Braungart; McDonough, 2002). Esse quadro compromete a capacidade de internalizar os benefícios da circularidade e, portanto, os retornos econômicos esperados.

Em decorrência disso, nenhuma das empresas participantes da pesquisa obteve retorno financeiro dos investimentos realizados em práticas circulares, havendo inclusive casos em que foram contabilizados prejuízos consideráveis. Esse cenário reforça a urgência de intervenções estruturais em nível macro que permitam criar as condições mínimas para a viabilidade econômica e técnica da EC no setor produtivo (Connet, 2016; EMF, 2013; Gates, 2021).

4.2.4.2.2 Contribuição das associações para a circularidade dos materiais

As principais associações que atuam no campo da EC no MB concentram suas atividades, maioritariamente, na comercialização de resíduos sólidos, com destaque para operações de compra e venda voltadas ao mercado internacional. Nesse cenário, o destino predominante desses resíduos tem sido o mercado chinês, cuja demanda por materiais recicláveis impulsionou, durante décadas, o comércio global de resíduos, como ilustra a Figura 7. No entanto, o panorama internacional tem sofrido alterações significativas: desde 2021, a China adotou uma política rigorosa de restrição e, posteriormente, proibição da importação de diversos tipos de resíduos sólidos, como parte de sua estratégia de proteção ambiental e reestruturação industrial (PNUMA, 2021). Essa mudança teve consequências diretas para os

fluxos comerciais de resíduos em escala global, afetando inclusive os agentes locais que dependem dessa cadeia.

Figura 33 - Aspectos de resíduos sólidos armazenados no Município da Beira, prontos para exportação para a China



Fonte: Autores (2023)

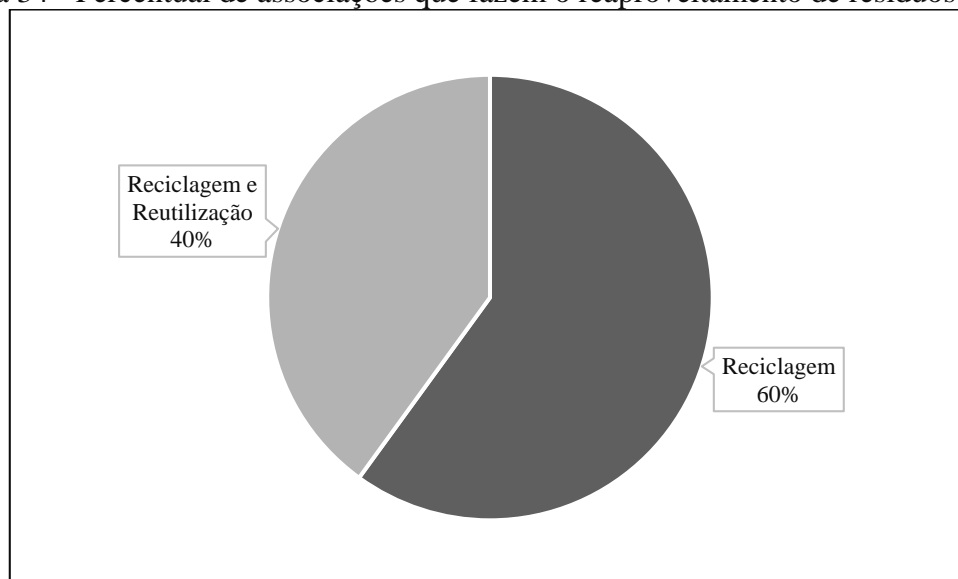
Diante dessa conjuntura, é cada vez mais premente que as associações, em articulação com o governo municipal da Beira, busquem alternativas para o processamento e a absorção interna desses materiais. Isso implica não apenas investimentos em infraestrutura e tecnologia, mas também a criação de mercados locais e regionais capazes de valorizar os resíduos como matéria-prima secundária, reduzindo a dependência das exportações e promovendo cadeias produtivas mais resilientes e sustentáveis.

A nossa pesquisa aponta que 60% das associações estudadas estão voltadas exclusivamente para a atividade de reciclagem, enquanto os 40% restantes atuam de forma integrada, combinando práticas de reciclagem e reutilização de materiais — conforme ilustrado na Figura 8. Nota-se, assim, a predominância da reciclagem como estratégia principal no reaproveitamento de resíduos. No entanto, é importante destacar que, embora a reciclagem seja uma prática essencial dentro dos princípios da EC, ela não está isenta de limitações. Trata-se de um processo que, frequentemente, demanda elevado consumo de energia e, em muitos casos, a adição de matérias-primas virgens para garantir a qualidade do produto final — o que pode contrariar, em certa medida, os objetivos de redução de impacto ambiental e de desmaterialização econômica propostos pela EC (Herrero, Luis y Laguela, 2019; PBL, 2016).

Portanto, é necessário repensar a centralidade da reciclagem como solução única, promovendo maior ênfase em estratégias que demandem menos energia e recursos, como a reutilização, a reparação e a remanufatura (PBL, 2016). Tais abordagens não apenas ampliam o ciclo de vida dos produtos, mas também podem gerar oportunidades econômicas mais

acessíveis, especialmente em contextos urbanos de baixa renda como o do MB, onde o setor informal de gestão de resíduos possui grande representatividade.

Figura 34 - Percentual de associações que fazem o reaproveitamento de resíduos sólidos



Fonte: Autores (2023) com base em entrevistas

É importante destacar que os resíduos plásticos representam uma parcela significativa do total de resíduos sólidos gerados, com ênfase especial para as garrafas PET provenientes do consumo de água mineral. Isso está diretamente relacionado à percepção generalizada, entre a população, de que a água distribuída pela rede pública de abastecimento não tem qualidade satisfatória para o consumo humano. Como resultado, observa-se uma crescente preferência pela aquisição de água mineral engarrafada, o que tem impulsionado o aumento expressivo do volume de garrafas PET descartadas no ambiente urbano.

Apesar das garantias fornecidas pela entidade gestora responsável pelo sistema de abastecimento — a qual assegura que a água distribuída atende integralmente aos padrões de potabilidade definidos por normas nacionais e internacionais —, a desconfiança persiste entre os consumidores. Essa percepção negativa da qualidade da água da rede pública parece enraizada em fatores como experiências anteriores de contaminação, falhas na comunicação institucional, ou ausência de campanhas educativas eficazes que esclareçam a população sobre os parâmetros de segurança da água fornecida.

Consequentemente, o consumo de água mineral engarrafada se consolidou, especialmente nas zonas urbanas, contribuindo para o agravamento dos desafios relacionados à gestão de resíduos plásticos, em especial os resíduos pós-consumo de embalagens PET. Essa tendência, caso não seja enfrentada com políticas públicas integradas e estratégias de educação

ambiental, tende a se intensificar, comprometendo ainda mais os esforços de promoção da EC e de redução da poluição plástica nos centros urbanos.

Como mencionado nos tópicos anteriores, a economia do MB se caracteriza por um elevado grau de informalidade. Isso se reflete diretamente na adoção de práticas associadas à EC, especialmente no que tange à gestão e à coleta de resíduos sólidos (Ahmed; Mahmud; Acet, 2022; Wright *et al.*, 2019). Nesse contexto, observa-se que grande parte da atividade de recolha e separação de resíduos é realizada por grupos sociais em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Eles operam maioritariamente de forma autônoma, sem vínculos formais de trabalho e com acesso limitado — ou mesmo sem acesso — a equipamentos adequados de proteção individual e infraestrutura apropriada (figura 9).

Isso impede a efetividade das práticas circulares, quanto para a garantia de dignidade e de saúde desses trabalhadores. A exposição contínua a materiais potencialmente perigosos, a ausência de condições mínimas de higiene e segurança, bem como a inexistência de políticas públicas específicas voltadas à inclusão social desses catadores, ampliam os riscos sanitários e acentuam a marginalização desse segmento (Wright *et al.*, 2019). Trata-se, portanto, de uma dinâmica que reforça as desigualdades estruturais, ao mesmo tempo em que limita o potencial transformador da EC no território (World Bank, 2023).

Figura 35 – Condições de trabalho dos catadores de lixo no Município da Beira



Fonte: Autores (2023)

Dessa forma, a redução dos elevados níveis de informalidade que caracterizam a atividade de coleta e separação de resíduos sólidos configura-se como uma condição indispensável para o avanço rumo à circularidade no município. A informalidade compromete a eficiência, a rastreabilidade e a integração dos agentes envolvidos nas cadeias de valor dos resíduos, dificultando o estabelecimento de sistemas organizados e sustentáveis (Ahmed; Mahmud; Acet, 2022). Considerando que essa atividade desempenha um papel central na

operacionalização da EC — ao permitir a reintrodução de materiais no ciclo produtivo —, sua formalização é estratégica. Isso inclui o fortalecimento de cooperativas, o reconhecimento jurídico e institucional dos catadores, além da implementação de políticas públicas que promovam inclusão social, melhoria das condições de trabalho e incentivos à triagem qualificada (Wright *et al.*, 2019). Sem esses avanços estruturais, os princípios da EC dificilmente serão plenamente materializados no contexto local (EMF, 2015).

A gestão inadequada de resíduos sólidos — marcada por deposição a céu aberto, baixa cobertura de recolha e obstrução recorrente de valas e canais de drenagem — atua como vetor de risco, ampliando a frequência e a severidade de alagamentos e seus efeitos sobre saúde pública, mobilidade urbana e perdas econômicas. Nesse arranjo, os catadores de materiais recicláveis emergem como atores-chave de um “sistema circular de facto” (Guarnieri, 2011), ao realizarem a triagem, recuperação e reinserção de materiais nas cadeias de valor, com ganhos ambientais (redução de resíduos destinados ao descarte e mitigação de entupimentos) e socioeconômicos (geração de renda em contextos de informalidade e desemprego). Contudo, a pesquisa evidencia que a contribuição dos catadores para a adaptação climática depende do enfrentamento de barreiras estruturais — precariedade laboral, estigma social, riscos ocupacionais e assimetrias de poder na cadeia de reciclagem —, além da necessidade de articulação com ONGs que já operam em educação ambiental, mobilização comunitária, saúde e gestão de riscos, e que podem atuar como mediadoras institucionais na construção de confiança, no fortalecimento organizacional (associações/cooperativas) e na ligação entre comunidades, município e setor privado.

As implicações práticas do estudo apontam para um pacote integrado de adaptação circular, no qual a redução do risco de inundações é tratada como co-benefício direto do redesenho do metabolismo urbano dos resíduos. Como sugestões, destacam-se: (i) formalização progressiva e reconhecimento dos catadores por meio de credenciamento municipal, contratos de prestação de serviços, inclusão em planos locais de gestão de resíduos e acesso a infraestrutura mínima (pontos de entrega voluntária, centros de triagem, balanças, prensas), combinados com vacinação e protocolos de segurança; (ii) fortalecimento de parcerias com ONGs para capacitação técnica (triagem, qualidade do material, contabilidade básica), campanhas continuadas em bairros críticos e escolas, e programas de comunicação de risco que conectem descarte correto, drenagem urbana e prevenção de doenças; (iii) implementação de instrumentos econômicos e regulatórios — como responsabilidade estendida do produtor, incentivos para compra pública de reciclados, tarifas diferenciadas e acordos com comércio/indústria — para estabilizar demanda e preços e reduzir a dependência

de atravessadores; (iv) integração operacional entre limpeza urbana e drenagem, com monitoramento georreferenciado de pontos de entupimento, rotas otimizadas de recolha e priorização de “hotspots” de inundação; e (v) criação de um arranjo de governança multiatores (município–catadores–ONGs–universidades–setor privado) com metas, indicadores e transparência, assegurando que os ganhos ambientais se traduzam em justiça climática: redução de riscos para os bairros mais expostos, melhoria de serviços e valorização social e econômica do trabalho dos catadores como infraestrutura humana essencial para a resiliência urbana

4.2.4.2.3 Análise crítica do processo de implementação da EC no MB e sugestões práticas

A pesquisa parte de uma problemática estrutural que se manifesta na percepção social da baixa qualidade da água fornecida pela rede pública de abastecimento, frequentemente associada a riscos à saúde e à descontinuidade do serviço, o que induz parcelas significativas da população a recorrerem ao consumo alternativo de água mineral engarrafada. Essa mudança de comportamento, embora compreensível sob a ótica da segurança hídrica doméstica, produz um efeito cascata no sistema urbano: o aumento exponencial do consumo de garrafas PET intensifica a geração de resíduos sólidos plásticos, amplia a pressão sobre um sistema municipal de coleta já fragilizado e contribui para o entupimento de valas de drenagem, agravando a vulnerabilidade a inundações em um território litorâneo, de baixa altitude e altamente exposto a eventos climáticos extremos. Assim, um problema inicialmente percebido como sanitário e de confiança institucional revela-se um vetor indireto de vulnerabilidade socioecológica, articulando consumo, resíduos, drenagem urbana e riscos climáticos.

Nesse contexto, a pesquisa aprofunda criticamente o papel da reciclagem, frequentemente apresentada como a principal — e por vezes única — estratégia de economia circular em países em desenvolvimento (Valero; Valero, 2019). Tal centralidade revela limitações importantes, uma vez que esses países historicamente receberam grandes volumes de resíduos provenientes de economias desenvolvidas, seja por vias formais ou informais, convertendo-se em receptores de passivos ambientais da economia linear global. Essa herança estrutural compromete a eficácia da reciclagem como solução sistêmica, pois opera majoritariamente no “fim do tubo”, sem enfrentar as causas do problema, como padrões de produção, comércio internacional de resíduos e assimetrias tecnológicas. Ademais, a frágil infraestrutura industrial, a informalidade do setor e a baixa agregação de valor aos materiais recicláveis dificultam a consolidação de cadeias circulares robustas. Desse modo, a economia circular, quando reduzida à reciclagem, corre o risco de reproduzir desigualdades globais e

perpetuar modelos de gestão reativos, pouco alinhados à lógica preventiva e regenerativa que fundamenta o paradigma circular.

A investigação evidencia ainda as dificuldades de implementação da logística reversa, da coleta seletiva e de arranjos institucionais integrados de economia circular no município da Beira, condicionadas por limitações financeiras, lacunas regulatórias, baixa articulação entre atores públicos e privados e insuficiente engajamento comunitário. Apesar desses entraves, o estudo aponta caminhos promissores, como a instalação de parques baseados na simbiose industrial, capazes de transformar resíduos plásticos em insumos produtivos, reduzir a pressão sobre o sistema de drenagem urbana e gerar emprego e renda local. As implicações socioecológicas são significativas: a má gestão dos resíduos amplifica riscos de inundação, degrada ecossistemas urbanos e costeiros e afeta desproporcionalmente populações vulneráveis. Como sugestões práticas, a pesquisa propõe o fortalecimento da confiança no abastecimento público de água, programas de redução do consumo de plásticos de uso único, incentivos a modelos de negócio circulares locais, inclusão socioeconômica de catadores, educação ambiental comunitária e a integração da economia circular às políticas municipais de adaptação climática, consolidando-a não apenas como estratégia ambiental, mas como instrumento estruturante de resiliência urbana e justiça socioecológica.

4.2.5 Notas de conclusão

A análise do estágio atual de implementação da EC nos três níveis — macro, meso e micro — revela a existência de falhas e limitações estruturais significativas na internalização e na operacionalização da EC como uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Embora o discurso político-institucional e os referenciais teóricos apontem a EC como uma abordagem promissora para fortalecer a resiliência dos sistemas socioeconômicos frente aos riscos e ameaças climáticas, a realidade empírica observada no MB (MB) mostra um descompasso substancial entre as intenções normativas e as condições para sua materialização. Os resultados da pesquisa evidenciam uma expressiva fissura entre os potenciais teóricos da EC e a sua implementação, o que aponta para a persistência de barreiras estruturais que comprometem a sua institucionalização.

Apesar das reconhecidas potencialidades da EC para contribuir com a agenda de AC — por meio da redução da vulnerabilidade ambiental, do estímulo à inovação sustentável e da diversificação econômica —, sua consolidação no contexto do MB tende a ser um processo gradual e de longo prazo. Isso porque os fatores que limitam sua implementação são, em grande

parte, de natureza estrutural e sistêmica. Entre os principais entraves identificados, destacam-se: (i) a fragilidade dos indicadores socioeconômicos do município, que refletem um baixo dinamismo econômico e dificultam a atração de investimentos sustentáveis; (ii) a reduzida capacidade financeira e institucional do Estado municipal, o que limita a formulação e execução de políticas públicas voltadas à transição circular; (iii) o baixo nível de consciência ambiental por parte de cidadãos, empresas e agentes públicos, o que compromete o engajamento social necessário para a mudança de paradigma; (iv) a limitada capacidade técnica e gerencial das empresas locais para liderar e sustentar processos de inovação circular; e (v) os elevados níveis de informalidade na economia, que dificultam a regulamentação, o controle e a indução de práticas mais sustentáveis.

Em suma, embora a EC represente um caminho estratégico para o enfrentamento dos impactos climáticos no MB, sua implementação requer transformações estruturais profundas, que ultrapassem o escopo de ações pontuais e demandam investimentos continuados em capacidades institucionais, infraestrutura, educação ambiental e governança colaborativa. A construção de um ambiente propício à transição circular exige, portanto, uma abordagem integrada, de médio e longo prazo, que articule múltiplos atores e escalas de atuação.

4.3 MECANISMO CAUSAL 3: POSSIBILIDADES DE CONTRIBUIÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR PARA A REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA (ARTIGO 3)

Situação do artigo	Submetido para a <i>Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento</i> no dia 12/09/2025
---------------------------	--

RESUMO. O MB sofre do fenômeno de dupla exposição (estressores climáticos e não climáticos), o que influencia negativamente no aumento da dimensão da sua VSE. A geração de resíduos sólidos tem sido um dos elementos potenciadores dessa VSE. Alternativamente, o MB, em parceria com o setor privado e organizações não governamentais (ONGs) tem estado a implementar um modelo de gestão de resíduos baseado na lógica de EC, em vista a não apenas de aumentar os índices de reutilização e valorização econômica dos resíduos, mas também de mitigar os seus impactos ambientais e, simultaneamente, integrar a gestão de resíduos à agenda mais ampla de AC urbana. Partindo dos achados empíricos da pesquisa dos mecanismos causais 1 e 2, que abordam tanto o diagnóstico da VSE quanto o grau atual de implementação da EC no município, este estudo propõe-se a analisar em que medida a EC pode representar uma via viável e eficaz para a redução dos fatores estruturantes da vulnerabilidade local. O estudo revela um quadro marcado por significativas barreiras estruturais, institucionais e socioeconômicas que dificultam a atuação efetiva da EC como instrumento de redução da VSE no MB (MB). Por estas razões, a capacidade da EC em gerar impactos concretos na diminuição da VSE no MB é limitada.

Palavras-chave: EC. Resíduos sólidos. VSE.

ABSTRACT. Beira Municipality (MB) is affected by the phenomenon of double exposure (climatic and non-climatic stressors), which negatively influences the expansion of its socioecological vulnerability. The generation of solid waste has been one of the driving factors behind this vulnerability. As an alternative response, MB, in partnership with the private sector and non-governmental organizations (NGOs), has been implementing a waste management model based on the principles of the circular economy (CE), aiming not only to increase the rates of reuse and economic valorization of waste, but also to mitigate its environmental impacts and, simultaneously, to integrate waste management into the broader agenda of urban climate adaptation. Based on empirical findings from causal mechanisms 1 and 2—which address both the diagnosis of socioecological vulnerability and the current level of CE implementation in the municipality—this study seeks to analyze the extent to which the circular economy can represent a viable and effective pathway for reducing the structural drivers of local vulnerability. The findings reveal a scenario marked by significant structural, institutional, and socioeconomic barriers that hinder the effective role of CE as a tool for reducing socioecological vulnerability in the Municipality of Beira (MB). As a consequence, its capacity to generate concrete impacts in reducing such vulnerability remains extremely limited.

Keywords: Circular economy. Solid waste. Socioecological vulnerability.

4.3.1 Breve contextualização

O terceiro mecanismo causal está associado às possibilidades concretas de a economia circular contribuir para a mitigação da vulnerabilidade socioecológica no Município da Beira. Nesse eixo analítico, buscamos compreender de que maneira a EC pode ser estratégia de adaptação às mudanças climáticas, capaz de fortalecer simultaneamente a resiliência ecológica e social do território. A investigação se concentrou em identificar as interseções entre práticas circulares e os objetivos de redução de riscos climáticos, partindo da premissa de que a gestão sustentável dos fluxos de recursos pode representar uma alternativa robusta diante da dupla exposição que caracteriza a realidade local.

4.3.2 Referencial metodológico

Esse terceiro mecanismo causal é um elo articulador e integrador dos dois mecanismos precedentes, aprofundando a investigação das inter-relações de causalidade e dos *nexus* de conectividade entre os fatores socioeconômicos e ambientais responsáveis pela conformação da vulnerabilidade socioecológica (VSE) no município. Sob essa ótica ampliada, procuramos compreender de que maneira as estratégias e práticas associadas à EC — tais como a valorização e reintrodução de resíduos nos ciclos produtivos, o prolongamento da vida útil dos produtos, a destinação correta dos resíduos, o uso racional e eficiente dos recursos naturais e a promoção de cadeias produtivas locais mais resilientes — podem dialogar com os determinantes estruturantes da VSE, atenuando riscos potenciais e contribuindo para o fortalecimento das capacidades adaptativas da população e das instituições locais.

Esse mecanismo não se limita, portanto, a identificar pontos de convergência entre os princípios norteadores da EC e as fragilidades socioeconômicas e ambientais do território. Vai além, ao analisar de que modo tais interações se materializam nas dinâmicas locais de organização espacial e socioeconômica, expressas no uso e na ocupação do solo, nos padrões de geração e gestão de resíduos, no acesso desigual a serviços essenciais e nas formas de inserção laboral e produtiva da população. Construimos um quadro analítico no qual a EC é concebida não apenas como uma estratégia técnica ou ambiental, mas como um instrumento de reconfiguração estrutural, capaz de reorientar práticas sociais, produtivas e institucionais para a redução da vulnerabilidade e para a consolidação de processos de adaptação mais robustos e sustentáveis.

4.3.3 Referencial teórico

Como referenciado no mecanismo causal 2, as bases teóricas e conceituais da EC estão essencialmente centradas nos princípios da sustentabilidade e, por conseguinte, fornecem substanciais *insights* para a adaptação baseada na dimensão socioecológica (Braungart; McDonough, 2002; Connet, 2016; IPCC, 2022). Aqui a adaptação é entendida como o ajustamento dos sistemas naturais ou humanos em resposta aos estímulos climáticos (reais ou esperados) ou aos seus efeitos, que modera os danos ou explora oportunidades (Begum *et al.*, 2014; IPCC, 2021).

A EC complementa o que é necessário para enfrentar a crise climática, por meio de um enfoque sistêmico orientado à redução da VSE (Folke, Carl, Biggs *et al.*, 2016; Folke, 2006; Ghisellini, Patrizia; Cialani; Ulgiati, 2016; Petit-Boix; Leipold, 2018). Ela oferece uma abordagem que não é apenas alimentada pela energia renovável, mas também transforma a forma como os produtos são projetados e utilizados (Carson, 1962; Chertow; Ehrenfeld, 2012; EMF, 2019). Esse modelo corta as emissões de GEE ao longo da economia e das cadeias de suprimentos, retém energia incorporada aos produtos e sequestra carbono do solo e dos produtos (EMF, 2019; Fortes *et al.*, 2019).

Estudos preocupados com o impacto ambiental das medidas de circularidade, demonstram que a redução substancial das emissões de CO₂ e outras emissões de GEE é possível por meio de políticas adequadas de uma gestão eficaz de materiais, desenho ecológico e reutilização (Bellezoni *et al.*, 2022; Hailemariam; Erdiaw-Kwasie, 2023). Outras pesquisas desenvolvidas em cidades pioneiras em conceitos de EC revelam como a ecologia industrial traz consigo uma economia colaborativa de recursos e uma mitigação da pegada de carbono (Möslinger; Ulpiani; Vettters, 2023).

As práticas de EC podem também contribuir para a adaptação e resiliência climática, incluindo o uso mais eficiente dos recursos hídricos e energéticos, a gestão melhorada dos ecossistemas terrestres para mitigar as perdas de rendimento induzidas pelo clima e abordagens inovadoras para a construção de edifícios e infraestruturas preparadas para desastres (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2013; Gates, 2021; Möslinger; Ulpiani; Vettters, 2023). Com a previsão de que países de média e baixa renda sofram os piores efeitos das mudanças climáticas no curto e médio prazo, explorar as sinergias entre a EC e a mitigação e a AC será fundamental para reduzir as várias dimensões da VSE (Möslinger; Ulpiani; Vettters, 2023).

A EC, ao propor um modelo alternativo ao sistema linear de produção e consumo, oferece potenciais contribuições para a redução dessa vulnerabilidade, ao integrar princípios

de resiliência, regeneração e eficiência de recursos ((EMF, 2014; Geissdoerfer *et al.*, 2017). Isso reduz a pressão sobre ecossistemas vulneráveis, contribuindo para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos, essenciais para a resiliência socioecológica, especialmente em comunidades que dependem diretamente da natureza para sua subsistência (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017).

A promoção de cadeias produtivas circulares locais pode fortalecer economias comunitárias e gerar empregos mais sustentáveis, descentralizados e resilientes a choques globais (Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018; Murray, Alan; Skene; Haynes, 2017). A EC pode reduzir a dependência de importações, melhorar o acesso a insumos reaproveitados e promover redes de colaboração, o que aumenta a capacidade adaptativa das populações frente a desastres climáticos ou instabilidades econômicas (EMF, 2017).

A práticas da EC relacionadas às soluções baseadas na natureza, como a reutilização de águas pluviais, compostagem e agricultura urbana circular, podem reduzir a exposição a riscos como inundações e insegurança alimentar (Carson, 1962; Connet, 2016; EEA, 2021). Essas práticas promovem o redesenho urbano e o uso eficiente do solo, contribuindo para cidades mais resilientes e adaptadas às mudanças climáticas (Braungart; McDonough, 2002; IPCC, 2023).

Por outro lado, ao reduzir a geração de resíduos perigosos, emissões de gases de efeito estufa e poluição ambiental, a EC contribui para a mitigação das causas estruturais de VSE (Caroline; Gomes, 2019; Connet, 2016). Modelos circulares baseados em energia renovável, mobilidade sustentável e uso eficiente de recursos reduzem tanto a exposição quanto os impactos de fenômenos climáticos extremos (EMF, 2015).

No entanto, embora promissora, a EC enfrenta limitações quando implementada de forma tecnocrática ou desvinculada do contexto socioeconômico local (Valenzuela; Böhm, 2017). Em muitos casos, o foco excessivo na eficiência de recursos pode invisibilizar desigualdades estruturais e aprofundar a vulnerabilidade de populações periféricas que não são incluídas nos modelos de negócio circulares dominantes (Melati; Nikam; Nguyen, 2021; Ritzén, 2017). Assim, é necessário que a EC seja incorporada a partir de abordagens de justiça climática e transições justas (Agyeman *et al.*, 2016).

4.3.4 Resultados e discussão

A discussão a seguir, conforme delineado na metodologia, está ancorada nos resultados obtidos a partir da análise dos mecanismos causais 1 e 2. O objetivo central desta discussão é

refletir criticamente sobre como o nível de implementação da EC, conforme tratado no mecanismo causal 2, influencia — direta ou indiretamente — a magnitude da VSE, dimensão analisada no mecanismo causal 1.

O mecanismo causal 1 permitiu identificar os principais vetores que agravam a VSE nos contextos investigados, incluindo fatores como a degradação ambiental, a exclusão socioeconômica e a frágil capacidade adaptativa das comunidades locais frente às mudanças climáticas. Já o mecanismo causal 2 trouxe evidências empíricas sobre o estágio de desenvolvimento e aplicação prática dos princípios da EC nas escalas analisadas (micro, meso e macro), destacando limitações estruturais, lacunas institucionais e desafios de articulação intersetorial.

A partir dessa base, esta seção estabelece uma articulação crítica entre os dois mecanismos, com o intuito de compreender se (e em que medida) a baixa internalização e operacionalização da EC contribuem para a perpetuação ou agravamento da VSE. Dessa forma, a discussão segue uma lógica dialética: ao mesmo tempo em que analisa os limites da EC como estratégia de transformação territorial e climática, também reconhece seus potenciais quando bem integrada às políticas públicas, à governança local e aos processos produtivos. A seguir, cada uma dessas dimensões será explorada de forma inter-relacionada, com base nas evidências empíricas e nas referências teóricas mobilizadas.

4.3.4.1 Relação entre a adoção da EC e a magnitude da VSE

A área de estudo evidenciou uma tendência marcante de elevada VSE, resultado da interação complexa entre fatores biofísicos e socioeconômicos que afetam diretamente a capacidade adaptativa do município frente às mudanças climáticas (Folke, Carl, Biggs *et al.*, 2016; Ghisellini, P.; Cialani; Ulgiati, 2016; Petit-Boix; Leipold, 2018). Embora a dimensão biofísica tenha apresentado, em algumas variáveis, índices consideráveis de vulnerabilidade — como riscos associados a eventos extremos, degradação ambiental e exposição a áreas de risco — foi no conjunto dos indicadores socioeconômicos que se concentrou a maior incidência de variáveis com níveis críticos de vulnerabilidade. Esse cenário revela um déficit estrutural profundo da capacidade adaptativa local, dificultando respostas eficazes e sustentáveis às ameaças climáticas emergentes.

Entre os fatores mais críticos identificados na dimensão socioeconômica, destacam-se a elevada densidade populacional em áreas vulneráveis, as precárias condições habitacionais, a insuficiência ou inadequação do sistema de esgotamento sanitário, e as fragilidades na gestão

de resíduos sólidos. Esses elementos não apenas refletem as desigualdades socioespaciais persistentes no município, como também contribuem ativamente para a intensificação da vulnerabilidade socioeconômica, tornando o território mais suscetível aos impactos das mudanças climáticas. Tais condições estruturais de precariedade social funcionam como barreiras à resiliência comunitária, dificultando qualquer tentativa de planejamento ambiental sustentável e, especialmente, a adoção de estratégias inovadoras como a EC (IPCC, 2023).

No âmbito do *mecanismo causal 1*, os elevados índices de vulnerabilidade socioeconômica observados indicam que tais condições limitam diretamente as possibilidades de implementação bem-sucedida da EC no município (Möslinger; Ulpiani; Vettters, 2023). Isso ocorre porque a transição para um modelo circular — baseado na minimização de resíduos, reuso de recursos, inovação tecnológica e reconversão produtiva — exige pré-condições sociais mínimas, como níveis adequados de educação ambiental, acesso a serviços básicos, capacitação técnica e políticas públicas de inclusão socioeconômica (EMF, 2013). Quando essas condições não estão presentes ou se mostram altamente deficitárias, como no caso analisado, as bases sociais para a circularidade tornam-se frágeis ou inviáveis.

Corroborando esse diagnóstico, os achados do *mecanismo causal 2* revelam falhas e limitações estruturais substanciais na internalização dos princípios da EC e na sua operacionalização enquanto estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Há uma lacuna evidente entre os pressupostos teóricos da EC — que apontam para sua capacidade de fomentar resiliência ambiental, dinamizar economias locais e promover justiça socioambiental — e a realidade empírica do município, onde os entraves estruturais, normativos e institucionais impedem sua implementação de forma integrada e eficaz. Essa disparidade sugere a existência de barreiras persistentes de ordem sistêmica, institucional e cultural que comprometem a consolidação de políticas públicas voltadas à circularidade (EMF, 2013; Gates, 2021).

Apesar de reconhecidamente promissora, a EC tende, no contexto do município em análise, a se configurar como um processo gradual, de médio a longo prazo, cuja consolidação dependerá da superação de entraves estruturais que extrapolam o campo ambiental e técnico. A redução da VSE, nesse sentido, pressupõe a adoção de estratégias intersetoriais e multiescalares que articulem intervenções nos campos da educação, da infraestrutura urbana, da equidade social e da governança ambiental.

Em síntese, enquanto prevalecerem as atuais condições de desigualdade socioeconômica e déficits institucionais, a implementação plena e efetiva da EC permanecerá limitada e fragmentada (Braungart; McDonough, 2002; EMF, 2013). Para que o município alcance o patamar de circularidade almejado, torna-se imprescindível a formulação de políticas

públicas integradas que promovam melhorias nos indicadores socioeconômicos — especialmente em habitação, renda, saneamento, educação e trabalho — e o fortalecimento de instrumentos normativos e institucionais voltados para a sustentabilidade, a justiça ambiental e a inclusão social.

4.3.4.2 Possibilidades de contribuição da EC na redução da VSE no MB

Apesar das reconhecidas potencialidades da EC na redução da VSE — evidenciadas em diversas pesquisas científicas nacionais e internacionais —, sua efetiva implementação requer a observância de um conjunto de pressupostos críticos (Folke, Carl, Biggs *et al.*, 2016). Estes constituem condições estruturantes sem as quais a EC tende a permanecer como uma aspiração teórica, dissociada das realidades práticas dos territórios onde se pretende aplicá-la.

Entre os pressupostos mais relevantes, destacam-se: (i) a realização de investimentos substanciais e contínuos para fomentar a inovação tecnológica voltada à circularidade dos materiais, incluindo o desenvolvimento de soluções em desenho ecológico, logística reversa, reprocessamento e simbiose industrial; (ii) a existência de um arcabouço normativo claro, articulado e dotado de indicadores mensuráveis que possibilitem monitorar e avaliar o desempenho circular de setores, regiões e cadeias produtivas; (iii) a presença de capacidade institucional sólida, com órgãos públicos e agências reguladoras capazes de liderar, coordenar e fiscalizar os processos de transição para a circularidade em múltiplas escalas; e (iv) a disponibilidade de capital humano qualificado, com competências técnicas e analíticas para conceber e operacionalizar elementos-chave como o redesenho ecológico de produtos, a distinção entre ciclos técnicos e biológicos, a implementação de estratégias de simbiose industrial, bem como a conversão de cadeias lineares em fluxos circulares, com geração de indicadores robustos de mudança (EMF, 2014, 2019).

Tais elementos pressupõem, por sua vez, a existência de estruturas sociais, culturais, políticas e econômicas minimamente robustas, interconectadas e funcionais — uma condição que, infelizmente, ainda não se verifica no MB, tampouco em muitos contextos territoriais de países subdesenvolvidos. Como descrito na seção de contextualização, o MB enfrenta sérias limitações em seus indicadores socioeconômicos, o que obriga o mesmo a concentrar grande parte de seus escassos recursos financeiros na garantia das necessidades mais básicas da população, como saneamento, saúde e habitação.

Nesse cenário, torna-se extremamente difícil conceber e operacionalizar uma agenda de EC. Sem o fortalecimento dos pilares institucionais, normativos, técnicos e financeiros

anteriormente mencionados, qualquer tentativa de implementação da EC corre o risco de ser superficial, ineficaz e, por vezes, contraproducente (EMF, 2015). Em vez de promover a redução da VSE, a ausência dessas condições estruturantes tende a perpetuar — e até intensificar — a lógica linear de produção e consumo, com seus conhecidos impactos ambientais, sociais e econômicos. É imprescindível reconhecer que, embora a EC ofereça um arcabouço promissor para lidar com os desafios da sustentabilidade e da adaptação às mudanças climáticas, sua eficácia depende de pré-condições estruturais que ainda estão em processo incipiente ou ausentes em muitos territórios periféricos, como o caso do MB. A superação desses entraves estruturais deve, assim, ser tratada como prioridade estratégica para que a EC possa, de fato, contribuir para a construção de resiliência socioecológica.

Portanto, a ausência de condições estruturais e operacionais adequadas compromete não apenas a adoção de práticas circulares, mas também o seu potencial transformador diante das crescentes ameaças das mudanças climáticas e da degradação ambiental (EMF, 2019; Gates, 2021). Em consequência, torna-se inviável esperar que a EC contribua de forma significativa para a redução da VSE local. Pelo contrário, a persistência de indicadores socioeconômicos precários favorece a manutenção do atual modelo linear de produção e consumo, caracterizado pela extração intensiva de recursos, geração excessiva de resíduos e baixa capacidade de reintegração de materiais nos ciclos produtivos. Esse cenário perpetua desigualdades, intensifica a pressão sobre os ecossistemas urbanos e naturais e amplia os riscos associados à VSE, sobretudo entre os grupos populacionais mais expostos e menos resilientes.

4.3.5 Notas de conclusão

A análise relacional entre o mecanismo causal 1 — referente ao diagnóstico da VSE — e o mecanismo causal 2 — correspondente ao nível de implementação da EC — revela um quadro marcado por significativas barreiras estruturais, institucionais e socioeconômicas que dificultam a atuação efetiva da EC como instrumento de redução da VSE no MB. Os resultados demonstram que, nas condições atuais, a EC encontra-se em um estágio incipiente, muitas vezes restrita a iniciativas isoladas e desarticuladas de reutilização e reciclagem, sem respaldo em políticas públicas integradas nem em capacidades institucionais robustas. Como consequência, sua capacidade de gerar impactos concretos na diminuição da VSE é extremamente limitada. Em outras palavras, a EC, tal como vem sendo operacionalizada no município, contribui muito pouco — ou quase nada — para a mitigação dos riscos e fragilidades socioecológicas enfrentados pelas populações urbanas mais expostas.

Além disso, observa-se a persistência de modelos de produção e consumo baseados em lógicas lineares, caracterizadas por extração intensiva de recursos, descarte ineficiente de resíduos e baixíssima valorização de fluxos materiais locais. Esses processos não apenas reproduzem desigualdades socioespaciais, como também potencializam os fatores que agravam a VSE, sobretudo em bairros periféricos e em áreas sujeitas a riscos climáticos e ambientais.

Diante desse cenário, torna-se evidente que a implementação de estratégias circulares deve ser precedida — ou ao menos acompanhada — por investimentos estruturantes voltados à melhoria dos indicadores socioeconômicos locais, como acesso a serviços básicos, renda, infraestrutura urbana resiliente, educação ambiental e inclusão produtiva. A EC, portanto, não pode ser tratada como um fim em si mesma, mas sim como um instrumento complementar, a ser introduzido de forma gradual e adaptativa, à medida que se consolidem as condições mínimas de bem-estar, equidade e governança.

Em suma, como um dos caminhos para a transição para a circularidade, a análise aponta para a necessidade de investir no aprimoramento dos indicadores de desenvolvimento humano, com ênfase especial naqueles vinculados à dimensão socioeconômica. Tal investimento se configura como uma das estratégias fundamentais para a promoção de um desenvolvimento mais equitativo e sustentável, capaz de reduzir desigualdades estruturais e fortalecer as bases materiais e institucionais do bem-estar coletivo.

5 CONCLUSÃO FINAL DA PESQUISA

A análise integrada, processual e relacional dos resultados associados aos três mecanismos causais investigados permitiu a formulação de um conjunto de conclusões robustas, que revelam com profundidade, a complexidade do cenário socioecológico e institucional do Município da Beira (MB) frente à agenda de adaptação climática e à potencialidade da Economia Circular (EC) como estratégia de resposta.

5.1 MAGNITUDE DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA

No que tange ao diagnóstico da VSE (Mecanismo Causal 1), os dados evidenciaram que os indicadores socioeconômicos, associado a elementos culturais tiveram um papel central e determinante na configuração da vulnerabilidade local. Dentre os fatores estruturais de maior criticidade, destacam-se a elevada densidade populacional em áreas urbanas precárias, as condições habitacionais deficitárias, a ausência de infraestrutura sanitária adequada — particularmente no que se refere aos sistemas de esgotamento — e a gestão ineficiente e fragmentada dos resíduos sólidos. Tais elementos constituem núcleos estruturantes da fragilidade social e ambiental, acentuando os níveis de exposição e de vulnerabilidade da população frente a eventos climáticos extremos.

No tocante à dimensão biofísica da suscetibilidade territorial, os resultados apontaram para uma expressiva vulnerabilidade, associada a variáveis como a expansão desordenada do uso do solo, a precariedade das condições topográficas em áreas densamente habitadas, bem como a distribuição irregular da precipitação em termos espaciais e temporais. Esses fatores conjugam-se para conformar um quadro de alta instabilidade ecológica e social.

5.2 NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR

A avaliação do nível de implementação da EC nos planos macro, meso e micro (Mecanismo Causal 2) revelou a existência de lacunas estruturais profundas, que comprometem sua efetiva inserção como estratégia de enfrentamento às mudanças climáticas. Apesar do crescente reconhecimento político-institucional e acadêmico quanto ao potencial transformador da EC — especialmente no que diz respeito ao fortalecimento da resiliência socioeconômica —, a realidade empírica observada no MB evidencia uma dissonância significativa entre o arcabouço normativo e as condições materiais e institucionais necessárias para sua implementação concreta.

A pesquisa constatou a persistência de entraves estruturais e sistêmicos, cuja superação depende de mudanças de longo prazo. Entre os obstáculos mais relevantes, destacam-se: (i) a alta taxa de informalidade da economia, que inviabiliza mecanismos de regulação, monitoramento e indução de práticas circulares em larga escala; (ii) a limitada capacidade técnica e de governança das empresas locais para liderar processos de reestruturação produtiva sustentáveis; (iii) o déficit de consciência ambiental nos diferentes segmentos sociais, o que dificulta a construção de uma cultura circular; (iv) ausência de marcos regulatórios que abordem exclusivamente os mecanismos de transição da economia linear para circular; e (v) ausência de linhas de investimento e/ou financiamento público para tecnologias circulares.

5.3 CONTRIBUIÇÕES POTENCIAIS DA ECONOMIA CIRCULAR NA REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA

Ao articular os achados dos mecanismos causais 1 e 2, o estudo identificou que, embora a EC contenha, em seu desenho teórico, um potencial considerável para contribuir na redução da VSE, sua expressão prática no MB é extremamente limitada. O contexto atual é marcado por iniciativas pontuais, fragmentadas e desvinculadas de uma política pública estruturada de transição ecológica. A EC no município encontra-se em estágio embrionário, concentrando-se, sobretudo, em práticas informais e dispersas de reaproveitamento e reciclagem, carentes de suporte institucional, normativo e técnico. Diante disso, sua capacidade de efetivamente induzir transformações nos padrões de vulnerabilidade permanece restrita, não conseguindo alterar significativamente os fatores estruturantes que perpetuam a exposição e a fragilidade das populações urbanas mais vulneráveis. Em outras palavras, a EC, nos moldes em que vem sendo operacionalizada, contribui de maneira marginal — ou quase nula — para a mitigação dos riscos socioecológicos contemporâneos do município.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz dessas três constatações, infere-se que, apesar das potencialidades teóricas, normativas e tecnológicas que sustentam a proposta da EC, sua funcionalidade como mecanismo de AC no MB encontra-se profundamente condicionada por um conjunto de desafios demográficos, biofísico, institucionais, culturais e políticos. A EC, neste contexto, tem pouca capacidade em solucionar o problema da alta vulnerabilidade socioecológica do MB. Os condicionantes supracitados restringem suas potencialidades resolutivas.

Os precários indicadores socioeconômicos, reiteradamente evidenciados ao longo da análise — especialmente no mecanismo causal 3 —, operam como condicionantes críticos que dificultam a criação de um ambiente propício à circularidade. Assim, os determinantes culturais, políticos, institucionais e econômicos favorecem a persistência do modelo linear de produção e consumo, reproduzindo padrões de exclusão, degradação ambiental e vulnerabilidade socioespacial. Tal cenário compromete a capacidade adaptativa do território e amplia sua sensibilidade aos impactos das mudanças climáticas, exigindo, portanto, intervenções coordenadas, de longo prazo, e centradas na justiça socioecológica, contidas em grande parte na Economia Circular.

Dessa forma, todas as hipóteses formuladas — tanto a hipótese geral quanto aquelas correspondentes a cada um dos mecanismos causais específicos — foram confirmadas à luz dos referenciais teórico-metodológicos utilizados no processo de análise causal. Os achados empíricos corroboram as premissas teóricas, evidenciando de maneira clara e consistente que ainda não existem, no contexto analisado, as condições estruturais necessárias para a efetiva operacionalização da EC em conformidade com os seus princípios fundantes.

Em outras palavras, a EC, enquanto paradigma orientado à reconfiguração dos sistemas produtivos e de consumo com base na regeneração dos recursos, no alogamento dos ciclos das mercadorias e na minimização de perdas, demanda a existência de pré-requisitos institucionais, econômicos, técnicos e socioculturais que, no caso estudado, ainda não estão suficientemente consolidados. Tal constatação reforça o argumento de que a transição para modelos circulares não ocorre de forma espontânea ou automática, mas depende de transformações estruturais profundas e sustentadas no tempo, as quais envolvem desde o fortalecimento da governança local e a ampliação da capacidade estatal, até a promoção de novos valores socioculturais e a reorientação de incentivos econômicos.

Assim, a validação das hipóteses indica que, embora a EC represente uma alternativa teoricamente robusta e desejável para enfrentar os desafios da sustentabilidade e da AC, sua aplicação prática no contexto do MB permanece limitada por um conjunto de fatores estruturais que dificultam sua internalização nas políticas públicas, nos arranjos institucionais e nas práticas econômicas do município analisado. No entanto, não se deve esperar que todas as condições socioeconômicas se apresentem para se experimentar práticas mais sistêmicas e contínuas contidas da EC. Uma governança mais robusta articulando setores públicos e privados podem gradativamente superar a fragmentação e incipiências das práticas até aqui adotadas.

5.5 TENDÊNCIA PARA PESQUISAS FUTURAS

Conforme delineado na seção metodológica, e em virtude de limitações logísticas, financeiras e temporais — somadas à indisponibilidade de dados censitários atualizados para a maioria dos bairros urbanos do município —, a coleta de dados primários foi circunscrita a dois bairros representativos, utilizados como amostra exploratória. Reconhecendo-se essa limitação empírica, os autores projetam, como desdobramento futuro da pesquisa, a ampliação do diagnóstico da VSE para os demais bairros do município. O objetivo é possibilitar um mapeamento mais abrangente das áreas críticas e, com isso, subsidiar a formulação e priorização de políticas públicas de adaptação territorialmente orientadas.

Além disso, considerando as inferências obtidas neste estudo — particularmente aquelas que revelam a inexistência de fundamentos estruturais contextuais necessários à implementação eficaz da EC nos moldes teóricos convencionais —, os autores propõem o desenvolvimento de novas investigações voltadas à concepção de modelos alternativos de EC. Tais modelos deverão estar sintonizados com as especificidades socioterritoriais e as limitações estruturais de economias pouco desenvolvidas, como é o caso do MB. A intenção é contribuir com a construção de abordagens de transição circular que sejam não apenas ambientalmente sustentáveis, mas também socialmente justas e economicamente viáveis, à luz das realidades locais. Por outro lado, que esses novos modelos possam ser aplicados em outras regiões com maior poder resolutivo de enfrentamentos dos riscos decorrentes das mudanças climáticas e elevação da VSE que estas proporcionam, particularmente em países de economias pouco desenvolvidas social e tecnologicamente.

6 REFERÊNCIAS

ABBOTT, P.; WALLACE, C. Social Quality: A Way to Measure the Quality of Society. **Social Indicators Research**, [s. l.], v. 108, p. 153–167, 2012.

ADGER, W. N. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. **World development**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 249–269, 1999.

ADGER, W. N.; KELLY, P. M. Social Vulnerability to Climate Change and the Architecture of Entitlements. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Changes**, [s. l.], v. 4, p. 253–266, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009601904210>.

AGYEMAN, J. *et al.* Trends and directions in environmental justice: from inequity to everyday life, community, and just sustainabilities. **Annual Review of Environment and Resources**, [s. l.], v. 41, p. 321–340, 2016.

AHMED, Z.; MAHMUD, S.; ACET, D. H. Circular economy model for developing countries: evidence from Bangladesh. **Heliyon**, [s. l.], v. 8, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09530>.

ALLAN, J. A. Virtual water – the water food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor?. **Water International**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 106–113, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/241604848>.

ANTONIO CASADEI TEIXEIRA, M.; RODRIGUEZ RAMOS, H.; MARIA DA SILVA BEZERRA, C. Circular Economy in Entrepreneurial Business Models: a Systematic Literature Review. **E&G Economia e Gestão**, [s. l.], v. 23, n. 66, 2023.

AQUINO, M.; PANTOJA, M.; LUZ, K. Economia Circular: uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. **UIIPS- Impact Science**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 260–263, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25746/ruiips.v11.i2.32802>.

AYRES, R. U.; AYRES, L. W. **A Handbook of Industrial Ecology**. [S. l.]: Edward Elgar, 2002.

BANCO DE MOÇAMBIQUE. **Taxa de Câmbio**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.bancomoc.mz/>. Acesso em: 1 nov. 2024.

BANDEIRA, S. O.; PAULA, J. Ecology of mangroves in Mozambique: Dynamics, structure and regeneration of *Avicennia marina* forests at Inhaca Island. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 11–25, 2014.

BEACH, D.; PEDERSEN, R. B. **Causal Case Study Methods: Foundations and Guidelines for Comparing, Matching, and Tracing**. [S. l.: s. n.], 2018-. ISSN 0094-3061.v. 47

BEGUM, R. A. *et al.* Toward conceptual frameworks for linking disaster risk reduction and climate change. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 10, p. 362–373, 2014.

BELLEZONI, R. A. *et al.* Tackling climate change through circular economy in cities. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 381, 2022.

BENNETT, A.; CHECKEL, J. T. Process tracing: From metaphor to analytic tool. [s. l.], 2014.

BENNETT, N. J. *et al.* Communities and change in the anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. **Regional Environmental Change**, [s. l.], v. 16, p. 907–926, 2016.

BENYUS, J. M. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**. New York: [s. n.], 2002.

BOULDING, K. E. The Economics of the Coming Spaceship Earth. **Johns Hopkins University Press**, [s. l.], n. Environmental Quality in a Growing Economy, Resources for the Future, p. 3–14, 1966. Disponível em: <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsprometheus/BOULDING.pdf>.

BOUSQUET, F. *et al.* **Socio-ecological theories and empirical research: Comparing social-ecological schools of thoughts in action**. [S. l.: s. n.], 2015.

BR_MOÇAMBIQUE. **Lei nº 1/2008 de 16 de janeiro**. [S. l.: s. n.], 2008.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. Firsted. New York: [s. n.], 2002.

BURTON, Inan. Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. **Climatic Change**, [s. l.], v. 36, p. 185–196, 1997. Disponível em: <https://eurekamag.com/research/009/729/009729949.php>.

BURTON, I. Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. **Climatic Change**, [s. l.], v. 36, n. 1–2, p. 185–196, 1997. Disponível em: <https://eurekamag.com/research/009/729/009729949.php>.

CAROLINE, P.; GOMES, G. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Uma aplicação prática**. 1ª edição. Curitiba: [s. n.], 2019.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa - Rachel Carson - Pt.Pdf**. [S. l.: s. n.], 1969. Disponível em: http://www.rbma.org.br/mab/unesco_01_oprograma.asp.

CARSON, R. **Silent Spring**. Firsted. New York: [s. n.], 1962. *E-book*. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/templates/library/pdf/Silent_spring.pdf.

CHAGAS, M. J. R.; CALDEIRA-PIRES, A. D. A. Relação conceitual entre Economia Circular, Ecologia Industrial e Cradle to Cradle: um ensaio teórico. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 211–231, 2022.

CHANG, M. *et al.* **Metodologias de Estudos de Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2015.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 313–337, 2000.

CHERTOW, M.; EHRENFELD, J. Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 13–27, 2012.

CINNER, J. E. *et al.* Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on

coral reef fisheries. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 22, p. 12–20, 2012.

CMB. **Gestão de Urbana de Resíduos**. Beira: [s. n.], 2023.

COCHRAN, W. G. **Sampling Techniques**. 3^aed. New York: John Wiley & Sons, 1977. *E-book*. Disponível em: https://fsapps.nwgc.gov/gtac/CourseDownloads/IP/Cambodia/FlashDrive/Supporting_Documentation/Cochran_1977_Sampling_Techniques.pdf.

COIMBRA, P. GESTÃO DE DESASTRES NATURAIS ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO A CICLONES E INUNDAÇÕES: Baixa da Beira – Zona do Goto. [s. l.], 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/6164629/UNIVERSIDADE_EDUARDO_MOPNDLANE_GESTÃO_DE_DESASTRES_NATURAIS.

COLLIER, D. Understanding Process Tracing. **Political Science and Politics**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 823–830, 2011. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/ps-political-science-and-politics/article/understanding-process-tracing/183A057AD6A36783E678CB37440346D1>.

CONNET, P. **Solución Residuo Cero**. Kaicroned. Castellón: [s. n.], 2016.

COSTA, L.; SCUR, G.; STREIT, J. A. C. Challenges of circular economy assessment tools at the micro level: a bibliometric exploration and systematic review. **RAE-Revista de Administracao de Empresas**, [s. l.], 2024.

CRÉPIN, A. S. *et al.* Regime shifts and management. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 84, p. 15–22, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.09.003>.

CUMMING, G. S.; MORRISON, T. H.; HUGHES, T. P. New Directions for Understanding the Spatial Resilience of Social–Ecological Systems. **Ecosystems**, [s. l.], v. 20, p. 649–664, 2017.

DANE. Indicadores de economia circular para Colombia. [s. l.], p. 75, 2020.

DEBRAH, J. K.; TEYE, G. K.; DINIS, M. A. P. Barriers and Challenges to Waste Management Hindering the Circular Economy in Sub-Saharan Africa. **Urban Science**, [s. l.], v. 6, n. 3, 2022.

DEWIT, W. *et al.* **Plastics: The Costs to Society, the Environment, and the Economy**. Gland, Switzerland: [s. n.], 2021.

DING, X. *et al.* Addressing uncertainty of environmental governance in environmentally sensitive areas in developing countries: A precise-strike and spatial-targeting adaptive governance framework. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 16, 2019.

ECKHARDT, G. M. Access-Based Consumption : The Case of. [s. l.], v. 39, n. December, 2012.

EEA. **Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction**. [S. l.: s. n.], 2021.

EMF. **Circular economy in Cities: An initial exploration**. [S. l.: s. n.], 2017.

EMF. **Completando a Figura: como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas.** [S. l.: s. n.], 2019.

EMF. **How the circular economy tackles climate change.** [S. l.: s. n.], 2021.

EMF. **TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY: BUSINESS RATIONALE FOR AN ACCELERATED TRANSITION.** [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/ip2fh05h21it-6nvypm/@/preview/1?o..>

EMF. **Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-Up across Global Supply Chains.** Cowes: [s. n.], 2014.

EMF. **Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.** Cowes: [s. n.], 2013.

ERIKSEN, S.; BROWN, K. Sustainable adaptation to climate change. **Climate and Development**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 3–6, 2011.

EUROPEA, U. **Plano de Ação para a Economia Circular: Para uma Europa mais limpa e competitiva.** Luxemburgo: [s. n.], 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY – EEA. **Circular economy in Europe: Developing the knowledge base.** [S. l.: s. n.], 2016.

EY-PARTHENON. **Indicadores de Economia Circular: Um Contributo para o Sistema Estatístico Nacional.** [S. l.: s. n.], 2020.

FERREIRA, A. J. D. *et al.* Roads as sources of heavy metals in urban areas. The Covões catchment experiment, Coimbra, Portugal. **J Soils Sediments**, [s. l.], v. 16, p. 2622–2639, 2016.

FISCHER, J. *et al.* Advancing sustainability through mainstreaming a social–ecological systems perspective. **Environmental Sustainability**, [s. l.], n. 14, p. 144–149, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343515000548?via%3Dihub>.

FODEN, W. B. *et al.* Identifying the World’s Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. **PLoS ONE**, [s. l.], 2013.

FOLKE, CARL, BIGGS, R. *et al.* Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 21, n. 3, 2016.

FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 253–267, 2006.

FORTES, P. *et al.* **CIRCULAR ECONOMY AND CLIMATE MITIGATION: BENEFITS AND CONFLICTS.** [S. l.: s. n.], 2019.

FROSCH, D.; GALLOPOULOS, N. Strategies for manufacturing. **Sci. Am.**, [s. l.], v. 261, n.

3, p. 94–102, 1989.

GATES, B. **¿Cómo evitar un desastre climático? Las soluciones que ya tenemos y los avances que aún necesitamos.** Barcelona: [s. n.], 2021.

GEISSDOERFER, M. *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 143, p. 757–768, 2017.

GENG, Y. *et al.* Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 216–224, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>.

GERMANWATCH. **Índice de Riesgo Climático Global.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: [https://germanwatch.org/sites/default/files/Resumen Índice de Riesgo Climático Global 2021.pdf](https://germanwatch.org/sites/default/files/Resumen%20Indice%20de%20Riesgo%20Climático%20Global%202021.pdf).

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a sustainable resource-efficient system. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 114, p. 11–32, 2016.

GODDIN, J. *et al.* Circularity indicators An approach to measuring circularity: Methodology. [s. l.], p. 1–64, 2019. Disponível em: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circularity-indicators/>.

GONZÁLEZ, J. *et al.* Assessment of long-term changes of ecosystem indexes in Tongoy Bay (SE Pacific coast): Based on trophic network analysis. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 69, p. 390–399, 2016.

GOTTS, N. M. *et al.* Agent-based modelling of socio-ecological systems: Models, projects and ontologies. **Ecological Complexity**, [s. l.], v. 40, 2019.

GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. **Programa Quinquenal do Governo (2025-2029).** Maputo: [s. n.], 2025.

GRAEDEL, T. E. On the concept of industrial ecology. **Annual Review of Energy and the Environment**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 69–98, 1996.

GUARNIERI, P. **Logística Reversa: Em busca do equilíbrio econômico e ambiental.** 1ªed. Recife: Clube de Autores, 2011.

GUETTÉ, A. *et al.* Measuring the synanthropy of species and communities to monitor the effects of urbanization on biodiversity. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 79, p. 139–154, 2017.

GUNAWARDENA, K. R.; WELLS, M. J.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 584–585, p. 1040–1055, 2017.

HAAS, W. *et al.* How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 765–777, 2015.

HAILEMARIAM, A.; ERDIAW-KWASIE, M. O. Towards a circular economy: Implications for emission reduction and environmental sustainability. **Business Strategy and the Environment**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1951–1965, 2023.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **American Association for the Advancement of Science**, [s. l.], v. 162, p. 1243–1248, 1968. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1724745>.

HARRIS, S.; MARTIN, M.; DIENER, D. Circularity for circularity 's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 26, p. 172–186, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.018>.

HATTON, J.; COUTO, M.; OGLETHORPE, J. **Biodiversity and War: A Case Study of Mozambique**. Washington, DC: Biodiversity Support Program, 2001.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. **Natural capitalism: The next industrial revolution**. [S. l.]: US Green Building Council, 2000.

HÉRIZ, I. **Economía Circular Un nuevo modelo de producción y consumo sostenible**. Madrid: [s. n.], 2018.

HÉRIZ, A. **Economía Circular y Desarrollo Local: Enfoques y Herramientas**. [S. l.]: Universidad de Zaragoza, 2018.

HERRERO, LUIS Y LAGUELA, E. **Economía Circular - Espiral Transición hacia un metabolismo económico cerrado**. Primeira Eed. Madrid: [s. n.], 2019.

HERRERO, L. M. J. La economía circular en el paradigma de la sostenibilidad. *In*: ECONOMÍA CIRCULAR-ESPIRAL: TRANSICIÓN HACIA UN METABOLISMO ECONÓMICO CERRADO. Madrid: Service Point, S.A., 2019. p. 343.

HOLZER, J. M.; CARMON, N.; ORENSTEIN, D. E. A methodology for evaluating transdisciplinary research on coupled socioecological systems. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 85, p. 808–819, 2018.

IHOBE. **Indicadores de economia circular**. [S. l.: s. n.], 2018.

INAM. Avaliação da época chuvosa 2021 - 2022. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.inam.gov.mz/index.php/pt/>.

INAM. **Dados Observados nos Últimos 10 anos**. Beira: [s. n.], 2024.

INGC. **Balanço da época chuvosa e ciclônica – OND-2018 e JFM-2019**. Maputo: [s. n.], 2019.

INGC. **Estudo sobre o impacto das alterações climáticas no risco de calamidades em Moçambique Relatório Síntese – Segunda Versão**. Maputo: [s. n.], 2009.

INGC. **Relatório de Vulnerabilidade e Avaliação de Riscos na Cidade da Beira**. Maputo: [s. n.], 2012.

INGC. **Synthesis report. INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique**. Maputo: [s. n.], 2009.

INGD. **Estudo sobre o impacto das alterações climáticas no risco de calamidades em Moçambique Relatório Síntese – Segunda Versão**. Maputo: [s. n.], 2009. Disponível em: https://www.biofund.org.mz/biblioteca_virtual/estudo-sobre-o-impacto-das-alteracoes-climaticas-no-risco-de-calamidades-em-mocambique-relatorio-sintese-segunda-versao/. .

INGD. **Gestão de Riscos de Desastres (Prevenção)**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.ingd.gov.mz/prevencao/>. .

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. **Censo 2017**. Maputo: [s. n.], 2017. Disponível em: <http://www.ine.gov.mz/iv-rgph-2017/projecocoes-da-populacao-2017-2050>. .

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. **Índice de Preço ao Consumidor**. [S. l.], 2024.

IPCC. **AR6 Synthesis Report**. [S. l.: s. n.], 2023.

IPCC. **Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability**. Madrid: [s. n.], 2001.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Reino Unido: [s. n.], 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [S. l.: s. n.], 2014.

IPCC. **Climate Change 2021 The Physical Science Basis**. [S. l.: s. n.], 2021.

IPCC. **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability/161F238F406D530891AAAE1FC76651BD>. .

ISRAEL, G. D. **Determining Sample Size**. Florida: University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, 1992. *E-book*. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1888298>.

IWAMA, Allan Yu *et al.* RISCO, VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. XX, n. 4, p. 127–144, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/XDRpNhhYqsYKHTFsRqwyXjS/?format=pdf&lang=pt>.

IWAMA, Allann Yu *et al.* Risco, Vulnerabilidade e Adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinária. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. XIX, n. 2, p. 95–118, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/XDRpNhhYqsYKHTFsRqwyXjS/?format=pdf&lang=pt>.

IZIDINE, S.; BANDEIRA, S. A preliminary checklist of the coastal vegetation of Mozambique. **Scripta Botanica Belgica**, [s. l.], v. 22, p. 289–307, 2002.

JACA, C. *et al.* **Economía circular: Guía para PYMESs**. [S. l.]: EUNSA, 2018.

JACKSON, T. **Prosperity without Growth – Economics for a Finite Planet**. [S. l.]: Earthscan, 2009.

JELINSKI, L. W. *et al.* Industrial ecology: Concepts and approaches. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 793–797, 1992.

KALANTARIA, Z. *et al.* Meeting sustainable development challenges in growing cities: Coupled social-ecological systems modeling of land use and water changes. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 245, p. 471–480, 2016.

KAZA, S. *et al.* **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: [s. n.], 2018. Disponible em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. .

KAZTMAN, R. Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social. Borrador para discusión. 5 Taller regional, la medición de la pobreza, métodos y aplicaciones. [s. l.], 2000. Disponible em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31545>.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 127, p. 221–232, 2017.

KORHONEN, J. *et al.* Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 175, p. 544–552, 2018. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular economy: The concept and its limitations. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 143, p. 37–46, 2018.

KORTMANN, S.; PILLER, F. Open business models and closed-loop value chains: Redefining the firm-consumer relationship. **California Management Review**, [s. l.], v. 58, n. 3, p. 88–108, 2016.

LAGUELA, E. P.; HERRERO, L. M. J. Enfoque estratégico, metodologías e indicadores de economía circular. Una aproximación al caso de la UE y España. *In: ECONOMÍA CIRCULAR-ESPIRAL: TRANSICIÓN HACIA UN METABOLISMO ECONÓMICO CERRADO*. Marid: Service Point, S.A., 2019. p. 343.

LAHTI, T.; WINCENT, J.; PARIDA, V. A Definition and Theoretical Review of the Circular Economy, Value Creation, and Sustainable Business Models: Where Are We Now and Where Should Research Move in the Future?. **Sustainability**, [s. l.], p. 19, 2018. Disponible em: https://www.researchgate.net/publication/326887887_A_Definition_and_Theoretical_Review_of_the_Circular_Economy_Value_Creation_and_Sustainable_Business_Models_Where_Are_We_Now_and_Where_Should_Research_Move_in_the_Future.

LATOUCHE, S. **La apuesta por el decrecimiento: ¿Cómo salir del imaginario dominante?**

Barcelona: Icaria Editorial, 2008.

LEEMANS, R.; GROOT, D. de. **Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Environmened. London: Island Press (Millenium assessment contribution), 2003.

LEVY, P. S.; LEMESHOW, S. **Sampling of Populations: Methods and Applications**. 4^aed. [S. l.]: Wiley, 2013.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>.

LINDER, M.; WILLIANDER, M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. **Business Strategy and the Environment**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 182–196, 2017.

LINDOSO, D. P. Vulnerability and Resilience: Potentials, Convergences and Limitations in Interdisciplinary Research. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 4, p. 127–144, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/ykfq5VcpRBtQDyK8VfWjwKb/abstract/?lang=en>.

LOVINS, AMORY; PAUL, H. **Una Ruta hacia el Capitalismo Natural**. New York: [s. n.], 1999.

LUMPKIN, G. T.; STEIER, L.; WRIGHT, M. in Family Business Business and Strategic. **Strategic Entrepreneurship Journal**, [s. l.], v. 306, p. 285–306, 2011.

MACAMO, C. **Policy Insights After Idai: Insights from Mozambique for Climate Resilient Coastal Infrastructure**. [S. l.: s. n.], 2021.

MANICKAM, P.; DURAISAMY, G. 4 - 3Rs and circular economy. In: CIRCULAR ECONOMY IN TEXTILES AND APPAREL. [S. l.: s. n.], 2019. p. 77–93. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081026304000042>.

MELATI, K.; NIKAM, J.; NGUYEN, P. **Barriers and Drivers for Enterprises to Transition to Circular Economy**. Stockholm: [s. n.], 2021.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E FINANÇAS. **Tabela Salarial Única**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.mef.gov.mz/index.php/publicacoes/legislacao-dngrh/tabela-salarial-unica-tsu>. Acesso em: 1 nov. 2024.

MINISTÉRIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL E FUNÇÃO PÚBLICA. **Projeto de Desenvolvimento Urbano e Local**. Maputo: [s. n.], 2020. Disponível em: file:///C:/Users/CEIFA/Downloads/PDUL_AAD 2020_Beira-1.pdf. .

MINISTÉRIO DE TERRA E AMBIENTE. **Diagnóstico da situat actual da cidade da Beira**. Beira: [s. n.], 2020.

MOSER, C. O. N. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. **World development**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 1–19, 1998.

MÖSLINGER, M.; ULPANI, G.; VETTERS, N. Circular economy and waste management to empower a climate-neutral urban future. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 421, 2023.

MOYO, D. **Cuando la ayuda es el problema: hay otro camino para África**. Madrid: [s. n.], 2011.

MURRAY, Alan; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, [s. l.], v. 140, n. 3, p. 369–380, 2017.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, [s. l.], v. 140, p. 369–380, 2017.

NDF. **Waste recycling in Mozambique through the establishment of Waste Transfer and Recycling Centres: Testing concept and formulation of bottom-up NAMA [NDF C62 B7]**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.ndf.int/what-we-finance/projects/project-database/waste-recycling-in-mozambique-through-the-establishment-of-waste-transfer-and-recycling-centres-testing-concept-and-formulation-of-bottom-up-nama-ndf-c62-b7.html>? Acesso em: 29 set. 2025.

O'BRIEN, K. *et al.* Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 303–313, 2004.

O'BRIEN, KAREN, ROBIN M, L. **Environmental Change and Globalization: Double Exposures**. New York: Oxford University Press, 2008.

OECD. The OECD Inventory of Circular Economy indicators. p.57, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/CEIFA/Downloads/InventoryCircularEconomyIndicators.pdf>.

OJIMA, R.; MARANDOLA JR, E. **Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social**. São Paulo: [s. n.], 2013.

ORMAZABAL, M. *et al.* Circular Economy in Spanish SMEs: Challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 185, p. 157–167, 2018.

OUR WORLD IN DATA. **Income inequality: Gini coefficient**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/economic-inequality-gini-index>? Acesso em: 25 ago. 2025.

PBL. **Why a circular economy?** [S. l.: s. n.], 2016.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. Economics of natural resources and the environment. **Harvester Wheatsheaf**, [s. l.], 1989.

PEKEL, J. F. *et al.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, [s. l.], v. 540, n. 7633, p. 418–422, 2016.

PEREZ, L. P. *et al.* Climate change and disasters: Analysis of the Brazilian regional inequality. **Sustentabilidade em Debate**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 260–277, 2020.

PETIT-BOIX, A.; LEIPOLD, S. Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 195, p. 1270–1281, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.281>.

PIMENTA, H. C. D. *et al.* O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas.

In: , 2002, Curitiba. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba: [s. n.], 2002. p. 8.

PIRES, A.; MARTINHO, G. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. **Waste Management**, [s. l.], v. 95, p. 298–305, 2019.

PNUD. **Human Development Report**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>. .

PNUMA. **China's ban on imported waste and its impact on the circular economy**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/chinas-ban-imported-waste>. Acesso em: 29 jul. 2025.

PREISER, R. *et al.* Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 23, n. 4, 2018.

PRESTON, F.; LEHNE, J.; WELLESLEY, L. **An Inclusive Circular Economy: Priorities for Developing Countries** Chatham House, The royal institute international affairs. [S. l.: s. n.], 2019.

PRIETO-SANDOVAL, V.; JACA, C.; ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 179, p. 605–615, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.

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

RITZÉN, S. & S. Barriers to the Circular Economy - integration of perspectives and domains. In: , 2017. **9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems**. [S. l.: s. n.], 2017.

RIZOS, V. *et al.* Implementation of circular economy business models by small and medium-sized enterprises (SMEs): Barriers and enablers. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 11, 2016.

RIZOS, V.; TUOKKO, K.; BEHRENS, A. **The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts**. [S. l.: s. n.], 2017.

SÁNCHEZ-ORTIZ, J. *et al.* Indicators to measure efficiency in circular economies. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 11, 2020.

SARIATLI, F. Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability. **Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 31–34, 2017.

SCHLÜTER, M. *et al.* Capturing emergent phenomena in social-ecological systems: an analytical framework. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 24, n. 3, 2019.

SCHNEIDER, L.; PARREIRA, A.; GUIMARÃES, A. Q. ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO NARRATIVA DO CONCEITO, DA SUA TRAJETÓRIA E DAS SUAS CRÍTICAS E BARREIRAS. **Revista de Desenvolvimento**

Econômico, [s. l.], v. 54, p. 111–135, 2023.

SEBASTIÃO, A. Beira vai enfrentar invasão das águas do mar com projeto de 92 milhões de dólares. **DW África**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/beira-vai-enfrentar-invasão-das-águas-do-mar-com-projeto-de-92-milhões-de-dólares/a-57341901>.

SILVA, V. L. *et al.* Vantagens, barreiras e estratégias para economia circular: uma abordagem teórica. **Exacta**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 238–255, 2019.

STAHEL, W. R. **The Performance Economy**. New York: [s. n.], 2006. *E-book*. Disponível em: file:///C:/Users/CEIFA/Downloads/THE_PERFORMANCE_ECONOMY1-1.pdf.

STEFFEN, W. *et al.* The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. **Ambio**, [s. l.], v. 40, p. 739–761, 2011.

STEVENSON, R. S.; EVANS, J. W. Editorial to: Cutting across interests: Cleaner production, the unified force of sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 185–187, 2004.

SUNDIN, E.; BRAS, B. Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 913–925, 2005.

SUSTAINN. **Guía para el Desarrollo de Autodiagnósticos en Economía Circular en la Industria Navarra: Oportunidades Sostenibles para la Especialización Inteligente**. [S. l.: s. n.], 2017.

TAN, J.; CHA, V. Innovation for Circular Economy. *In: AN INTRODUCTION TO CIRCULAR ECONOMY*. Singapore: Springer, 2021. p. 369–395.

TAN, J.; TAN, F. J.; RAMAKRISHNA, S. Transitioning to a Circular Economy: A Systematic Review of Its Drivers and Barriers. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 1–13, 2022.

THIAULT, L. *et al.* Space and time matter in social-ecological vulnerability assessments. **Marine Policy**, [s. l.], v. 88, n. November 2017, p. 213–221, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.027>.

TRANSPARENCY INTERNATIONAL. **Corruption perceptions**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <http://cpi.transparency.org/cpi2013/results/>.

TRIKHA, I. **Urban Flooding Caused by Solid Waste The Effect of Waste in Drainage Systems in Kuala Lumpur , Malaysia**. 2022. 90 f. - University of Innsbruck, [s. l.], 2022.

UN-HABITAT. **Beira: City-Wide Spatial Development Framework and Climate Resilience Strategy**. Nairobi: [s. n.], 2015.

UN-HABITAT. **City Resilience Profiling Programme: Beira City Profile**. Nairobi: [s. n.], 2014.

UN-HABITAT. **Waste Wise Cities**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://unhabitat.org/waste-wise-cities/> Acesso em: 11 dez. 2025.

UNEP. **Eastern African Coastal Forests Ecoregion: A Vision for Conservation of Biodiversity**. Nairobi: [s. n.], [s. d.].

VALENZUELA, F.; BÖHM, S. Against wasted politics: A critique of the circular economy. **Ephemera: Theory & Politics in Organization**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 23–60, 2017.

VALERO, Antonio; VALERO, Alicia. Pensando más allá del primer ciclo: economía espiral. *In: ECONOMÍA CIRCULAR-ESPIRAL: TRANSICIÓN HACIA UN METABOLISMO ECONÓMICO CERRADO*. Madrid: Service Point, S.A., 2019. p. 343.

VAN HOOF, V.; MAARTEN, C.; VERCALSTEREN, A. **Indicators for a Circular Economy Flanders State of art**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/summa_-_indicators_for_a_circular_economy.pdf.

VELEVA, V.; BODKIN, G. Corporate-entrepreneur collaborations to advance a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 188, p. 20–37, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.196>.

WARD, J. D. *et al.* Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible?. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 11, p. 14, 2016.

WEBER, A.; DASNOIS, M. **Recycling, downcycling and the need for a circular economy**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.metabolic.nl/news/recycling%0Adowncycling-and-the-need-for-a-circular-economy/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

WEETMAN, C. **A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink**. [S. l.]: Kogan Page, 2016.

WORLD BANK. **Climate-Resilient Infrastructure Planning Using DEMs**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange>.

WORLD BANK. **Mozambique: Rapid Assessment of Flood Impacts and Needs After Cyclone Idai**. Washington, DC: [s. n.], 2019.

WORLD BANK. **Worldwide Governance Indicators (WGI)**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.govindicators.org/>.

WRIGHT, C. Y. *et al.* Circular economy and environmental health in low- And middle-income countries. **Globalization and Health**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 1–5, 2019.

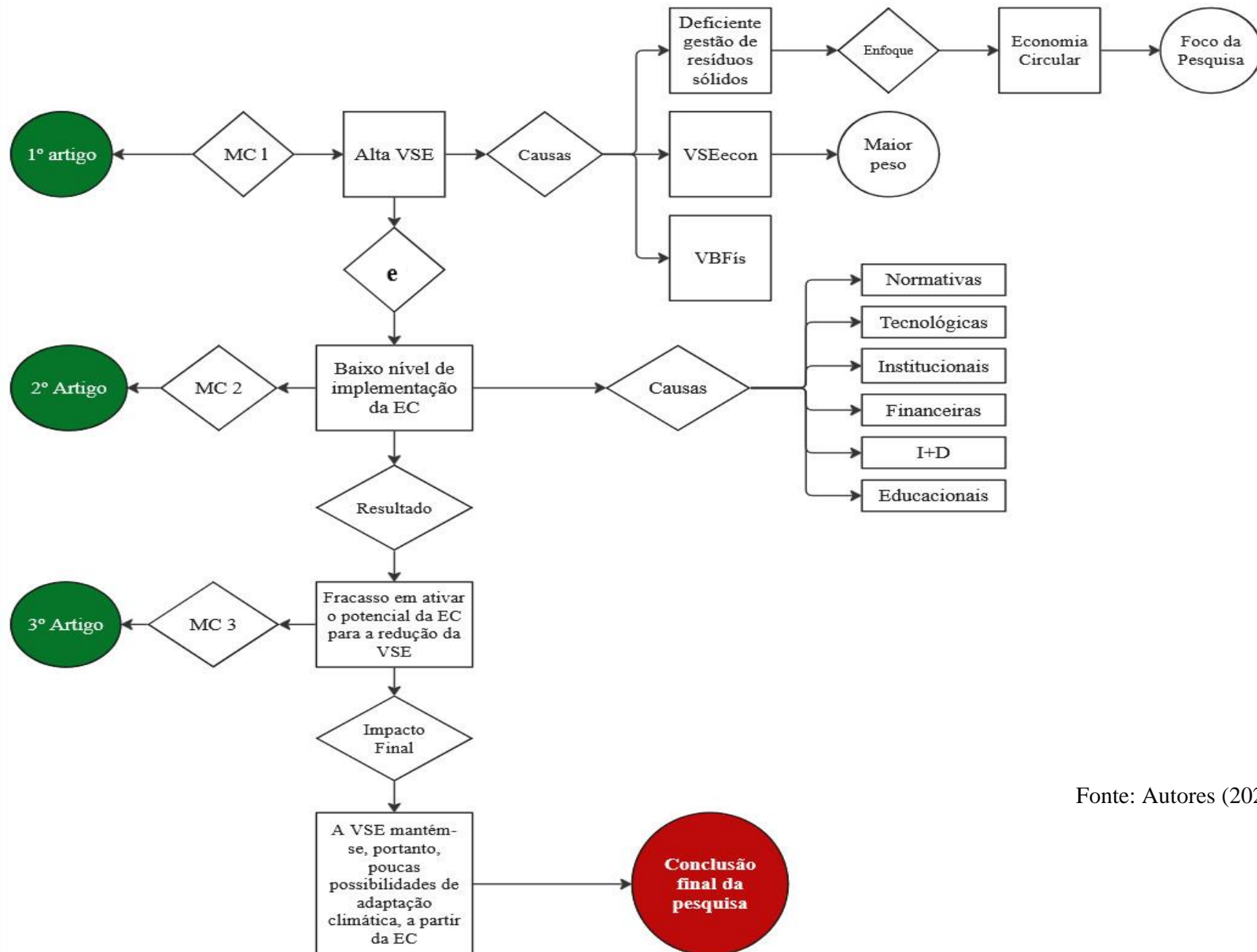
XOCAIRA, M. *et al.* Waste management intervention to boost circular economy and mitigate climate change in cities of developing countries : The case of Brazil. **Habitat International**, [s. l.], v. 143, n. December 2023, p. 102990, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102990>.

YING, J.; LI-JUN, Z. Study on Green Supply Chain Management Based on Circular Economy. **Physics Procedia**, [s. l.], v. 25, p. 1682–1688, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.295>.

YUAN, Z. The circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 94, n. 11, p. 24–26, 2006.

ZHOU, T.; WU, B.; DONG, L. Advances in understanding the influence of the Indian Ocean Dipole on East African rainfall. **Advances in Atmospheric Sciences**, [*s. l.*], v. 38, n. 3, p. 339–360, 2021.

Anexo I: Síntese dos resultados da pesquisa



Fonte: Autores (2025)