



VICTÓRIA HOLANDA DE BRITO

**IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA AMAZÔNIA:
ESTUDO DE CASO DAS SECAS EXTREMAS EM MANAUS, SEUS
EFEITOS E DESAFIOS NA LOGÍSTICA URBANA**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.

Orientador (a): Prof.^a Maria Fernanda Lemos

Co-orientador (a): Prof.^a Izabella Lentino

Rio de Janeiro
Setembro de 2024



VICTÓRIA HOLANDA DE BRITO

**IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA AMAZÔNIA:
ESTUDO DE CASO DAS SECAS EXTREMAS EM MANAUS, SEUS
EFEITOS E DESAFIOS NA LOGÍSTICA URBANA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Urbana e Ambiental da PUC-Rio.

Profa. Maria Fernanda Lemos

Orientadora

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio

Profa. Izabella Lentino

Co-orientadora

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - PUC-Rio

Profa. Valdete Santos de Araújo

Departamento de Engenharia Civil - UEA

Profa. Carla Souza Calheiros

Departamento de Engenharia Civil - UEA

Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, 18 de setembro de 2024.

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Victória Holanda de Brito

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Amazonas em 2022. Produziu os artigos “*Smart Cities - Sustentabilidade e Tecnologias aplicáveis na região metropolitana de Manaus: Estudo de Caso*” e “*Viabilidade Construtiva de Casa Unifamiliar Sustentável na Cidade de Manaus*”. Possui experiência na área de engenharia civil, com ênfase em aprovação e licença de projetos, gerenciamento e planejamento de projetos, acompanhamento de obras, orçamentos, dimensionamento e detalhamento de estruturas metálicas.

Ficha Catalográfica

Brito, Victória Holanda de

Impacto da mudança climática na Amazônia: estudo de caso das secas extremas em Manaus, seus efeitos e desafios na logística urbana / Victória Holanda de Brito; orientadora: Maria Fernanda Lemos; co-orientadora: Izabella Lentino. – 2024.

117 f.: il. color; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2024.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Mudança Climática. 4. Seca extrema. 5. Amazônia. 6. Infraestrutura urbana. 7. Logística urbana. I. Lemos, Maria Fernanda. II. Lentino, Izabella. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Para todos os envolvidos, obrigada pela
paciência, apoio e confiança.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha mãe, Rosy Jane Holanda, cujo incentivo e apoio incondicional foram fundamentais para a realização deste curso.

Às minhas orientadoras, Professoras Maria Fernanda Lemos e Izabella Lentino, pelas valiosas contribuições, inúmeras reuniões e por todo o suporte que me proporcionaram ao longo deste percurso.

À Prof. Engenheira Civil Jossandra Alves, por expandir minha perspectiva e me auxiliar na reorganização de ideias e pensamentos. Sua orientação foi essencial para o meu crescimento, e sou profundamente grata por todo o apoio.

Às Professoras Dras. Valdete Araújo e Carla Calheiros, por me incentivarem desde a graduação e por aceitarem participar da banca examinadora.

Ao Professor Marcelo Motta de Freitas, por disponibilizar seu tempo e conhecimento para compor a banca examinadora.

Aos meus irmãos e ao meu pai, que estiveram ao meu lado em cada etapa, oferecendo ajuda e encorajamento.

À minha tia Jeanny, por sempre abrir as portas de sua casa no Rio e incentivar a realização deste curso.

Agradeço ao Affonso Mendes Jr., por me apoiar incansavelmente, por me levar e buscar na PUC em todas as vezes que estive no Rio, e por nunca me deixar desistir. Agradeço também à sua família, que sempre me recebeu de braços abertos.

Às minhas amigas da faculdade de graduação, Engenheiras Civis Camila, Debora e Karllen, e às amigas desde o maternal, Alessandra, Giovanna e Pietra, por tornarem essa jornada mais leve sempre que precisei.

À minha psicóloga, Selma Perdomo, por me ouvir com paciência e me ajudar a controlar a ansiedade em momentos em que parecia impossível mantê-la sob controle.

À minha chefe, Engenheira Civil Lizandra Brugnara, ao assessor, Engenheiro Civil Pedro Paiva, e demais engenheiros da SEINFRA, por me incentivarem e auxiliarem em temas relacionados à minha pesquisa, contribuindo significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico.

Por fim, agradeço a mim mesma, pela persistência em investigar, pesquisar e buscar constantemente formas de melhorar a infraestrutura urbana da minha cidade e do meu estado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Brito, Victória Holanda de; Lemos, Maria Fernanda (Orientadora); Lentino, Izabella (Co-orientadora). **Impacto da mudança climática na Amazônia: Estudo de caso das secas extremas em Manaus, seus efeitos e desafios na logística urbana.** Rio de Janeiro, 2024. 117 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente estudo examina a mudança climática na Amazônia, com ênfase nas secas extremas em Manaus, e seus impactos na logística urbana. O objetivo principal é revelar os impactos da mudança climática e das secas extremas na logística urbana de Manaus e possíveis soluções para adaptação e resiliência. As secas extremas representam um grande desafio para a logística urbana, afetando diretamente a qualidade de vida da população e a economia local. A pesquisa adota uma abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos de engenharia civil, planejamento urbano, ciências ambientais e políticas públicas para abordar de forma abrangente e holística os desafios enfrentados. Dados coletados de diversas fontes, incluindo gestores públicos e empresas de transporte, forneceram uma base sólida para a análise. Os resultados indicam que a seca extrema afeta fortemente a logística urbana de Manaus, evidenciando a ausência de infraestrutura adequada, principalmente terrestre. O estudo ressalta a urgência de aprimorar a infraestrutura e adotar medidas adaptativas para reduzir os impactos ambientais. Isso inclui a expansão da rede rodoviária, a implementação e análise de uma rede ferroviária, bem como o desenvolvimento de uma infraestrutura mais resistente e adaptável. A colaboração entre governo, comunidade e setor privado é fundamental para enfrentar esses desafios e promover a resiliência urbana em Manaus.

Palavras-chave

Mudança Climática; Seca Extrema; Amazônia; Infraestrutura Urbana; Logística Urbana.

Abstract

Brito, Victória Holanda de; Lemos, Maria Fernanda (advisor); Lentino, Izabella (co-supervisor). **Impact of Climate Change in the Amazon: Case Study of Extreme Droughts in Manaus, Their Effects and Challenges on Urban Logistics.** Rio de Janeiro, 2024. 117 p. Master's Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The study examines climate change in the Amazon, with a focus on extreme droughts in Manaus and their impacts on urban logistics. The primary objective is to reveal the effects of climate change and extreme droughts on Manaus's urban logistics and explore possible solutions for adaptation and resilience. Extreme droughts pose a significant challenge to urban logistics, directly affecting the quality of life of the population and the local economy. The research adopts an interdisciplinary approach, integrating knowledge from civil engineering, urban planning, environmental sciences, and public policy to comprehensively and holistically address the challenges faced. Data collected from various sources, including public managers and transportation companies, provided a solid basis for analysis. The results indicate that extreme droughts strongly affect Manaus's urban logistics, highlighting the lack of adequate infrastructure, particularly on land. The study emphasizes the urgency of improving infrastructure and adopting adaptive measures to mitigate environmental impacts. This includes expanding the road network, implementing and analyzing a rail network, and developing more resilient and adaptable infrastructure. Collaboration between the government, community, and private sector is essential to addressing these challenges and promoting urban resilience in Manaus.

Keywords

Climate Change; Extreme Drought; Amazon; Urban Infrastructure; Urban Logistics.

Sumário

1. Metodologia.....	15
2. Introdução	20
3. Impacto da Mudança Climática na Amazônia	23
3.1 Explorando a Diversidade: Região Amazônica	23
3.2 A Complexidade do Clima Amazônico	24
3.3 Mudança Climática: Conceitos, Legislações e Impactos.....	28
4. Manaus, a “Paris dos Trópicos”	39
4.1 Urbanização e Infraestrutura.....	43
5. Secas Extremas: Efeitos e Desafios na Logística Urbana Manauara.....	57
5.1 Histórico da Seca	57
5.2 Efeitos e Desafios na Logística Urbana	64
5.3 Cenário Atual: Previsões sobre a Seca Extrema em Manaus.....	73
5.4 Medidas de Adaptação e Boas Práticas.....	77
6. Resultados	91
6.1 Soluções para uma Logística Urbana Resiliente.....	94
7. Conclusões	102
Referências	104

Lista de Figuras

Figura 1 Matriz SWOT	16
Figura 2 Design Science Research.	18
Figura 3 Fluxograma de Pesquisa.....	19
Figura 4 Distribuição da Floresta Amazônica	23
Figura 5 Classificação de Holdridge para o estado do Amazonas	25
Figura 6 Escopo geográfico da América Central e do Sul	31
Figura 7 Perigos observados e projetados na América Central e do Sul	32
Figura 8 Mudança média na porcentagem de área terrestre durante a seca em 2010-2019 em relação a 1950-1959	33
Figura 9 Distribuição setorial da vulnerabilidade às mudanças climáticas na América Central e do Sul.....	34
Figura 10 Síntese dos impactos observados e projetados a América Central e do Sul.....	38
Figura 11 Manaus durante a época da Belle Époque.....	39
Figura 12 Capital Manaus.....	42
Figura 13 População do estado do Amazonas	42
Figura 14 Urbanização do Estado do Amazonas	44
Figura 15 Região Metropolitana de Manaus: Urbanização x Desmatamento	45
Figura 16 Bacia Amazônica.....	46
Figura 17 Rios do Estado do Amazonas	47
Figura 18 Divisão dos Municípios - Calhas dos rios	48

Figura 19 Rota de Cabotagem	50
Figura 20 Contexto Territorial	52
Figura 21 Rodovias no Amazonas.....	52
Figura 22 Infraestrutura de Transportes – Região Metropolitana de Manaus.	53
Figura 23 Comunidades Ribeirinhas na RMM.	55
Figura 24 10 maiores secas do Rio Negro	58
Figura 25 Série histórica de nível de vazão (volume) no rio Negro.	59
Figura 26 Série histórica de nível de vazão (volume) no rio Madeira.....	60
Figura 27 Bacias do Rio Amazonas e o Impacto da Seca Extrema	60
Figura 28 Marina do Davi e os reflexos da seca.....	62
Figura 29 Previsão de Impacto nos rios com a estiagem	63
Figura 30 Gráfico de Importações - Porto de Manaus.....	65
Figura 31 Balança Comercial e índice de quantum de importações do AM	66
Figura 32 Zoneamento de Manaus - Portos Públicos e Privados.....	67
Figura 33 Comparativo Seca 2023 – Porto de Manaus.....	68
Figura 34 Régua do Rio Negro durante a cheia história e régua durante a seca histórica.	69
Figura 35 Arquipélago de Anavilhanas e comunidade Timbira.....	71
Figura 36 Cotograma de Manaus.	75
Figura 37 Volumes acumulados de chuva.....	76

Figura 38 National Water Grid	80
Figura 39 China e o Rio Mekong	81
Figura 40 Trans-African	82
Figura 41 Custo aproximado para construção de 1 km de infraestrutura	86
Figura 42 Ferrovias Amazônicas.	86
Figura 43 Comparativo de capacidade, em t.....	88
Figura 44 Consumo de combustível para transportar 1 tonelada de carga por 1.000 km.	88
Figura 45 Emissões de CO2 para transportar 1 tonelada de carga por 1.000 km.....	89

Abreviaturas

AB	Alta da Bolívia
ADE	<i>Amazon Delta and Estuary</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AR6	<i>Sixth Assessment Report</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastre
CIEAM	Centro da Indústria do Estado do Amazonas
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COP	Conferências das Partes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DSR	<i>Design Science Research</i>
FIEAM	Federação Nacional da Indústria do Amazonas
FPICs	Funções Públicas de Interesse Comum
FOFA	Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPi	Imposto sobre Produtos Industrializados
IR	Imposto sobre a Renda
LIs	Linhas de Instabilidade
NSA	<i>Northern South America</i>
PECMA	Plano Estadual de Mudança do Clima do Amazonas

PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Polo Industrial de Manaus
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIS	Programa de Integração Social
PNGRH	Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
PNPCD	Plano Nacional de Prevenção e Controle de Desastres
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RMM	Região Metropolitana de Manaus
SGB	Serviço Geológico Brasileiro
SEDECTI	Secretaria de Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura do Estado
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
UCO	Utilização da Capacidade Operacional
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
WG	<i>Work Group</i>
ZCAS	Zona de Convergência Amazônica Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZFM	Zona Franca de Manaus

A Amazônia é um livro aberto de lições sobre a interconexão da vida. Sua destruição seria uma perda irreparável para a humanidade.

Sir David Attenborough

1. Metodologia

A Amazônia, um dos biomas mais ricos e biodiversos do planeta, enfrenta um desafio climático de proporções épicas: as secas extremas. Em Manaus, capital do Amazonas, a situação se agrava, impactando diretamente a logística urbana e colocando em risco o abastecimento, a mobilidade e a qualidade de vida da população (Silva & Nobre, 2014; Malhi *et. al.*, 2010). Diante desse cenário, surge esta pesquisa, com o objetivo de revelar os impactos da mudança climática e das secas extremas na logística urbana de Manaus e possíveis soluções para adaptação e resiliência.

Para tal, o desenvolvimento desta metodologia se baseia em uma abordagem sequencial e estruturada, combinando métodos qualitativos e quantitativos para uma compreensão profunda e abrangente do problema (Lewis & Queiroz, 2019; Morton *et. al.*, 2005; Hansen *et. al.*, 2010). Essa estratégia permitiu a compreensão da realidade em níveis mais significativos, desvendando as complexas relações entre as variáveis e os diversos atores envolvidos.

A pesquisa assumiu uma natureza básica, com foco na compilação de informações e conhecimentos que contribuirão para o avanço do saber científico na área da logística urbana em contextos de mudanças climáticas. Inicia-se com uma revisão bibliográfica, que incorpora tanto a literatura acadêmica quanto dados disponíveis ao tema. Propõe-se uma revisão exploratória e descritiva, traçando um panorama detalhado das características de Manaus, do fenômeno das secas extremas e das relações entre as variáveis que influenciam a logística urbana.

Foi adotado um estudo de caso, utilizando Manaus como foco da investigação. Através do levantamento de dados locais e da análise de leis existentes sobre o tema, tornou-se possível identificar os principais desafios e efeitos da mudança climática na logística urbana de uma capital amazônica.

A Matriz SWOT (Figura 1), também conhecida como quadro FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças), na sua tradução para o português, foi uma ferramenta analítica essencial para a avaliação estratégica acerca do tema. Esta metodologia permite identificar e categorizar de maneira sistemática os fatores positivos (forças e fraquezas) e negativos (oportunidades e ameaças) que impactam o desempenho e a viabilidade de um projeto. Ao proporcionar uma visão holística do ambiente interno, a matriz auxiliou a destacar os recursos e capacidades que podem ser alavancados, bem como as áreas que necessitam de melhorias. Simultaneamente, a análise dos fatores externos possibilitou a identificação de oportunidades, vantagens, possíveis riscos e/ou desafios.

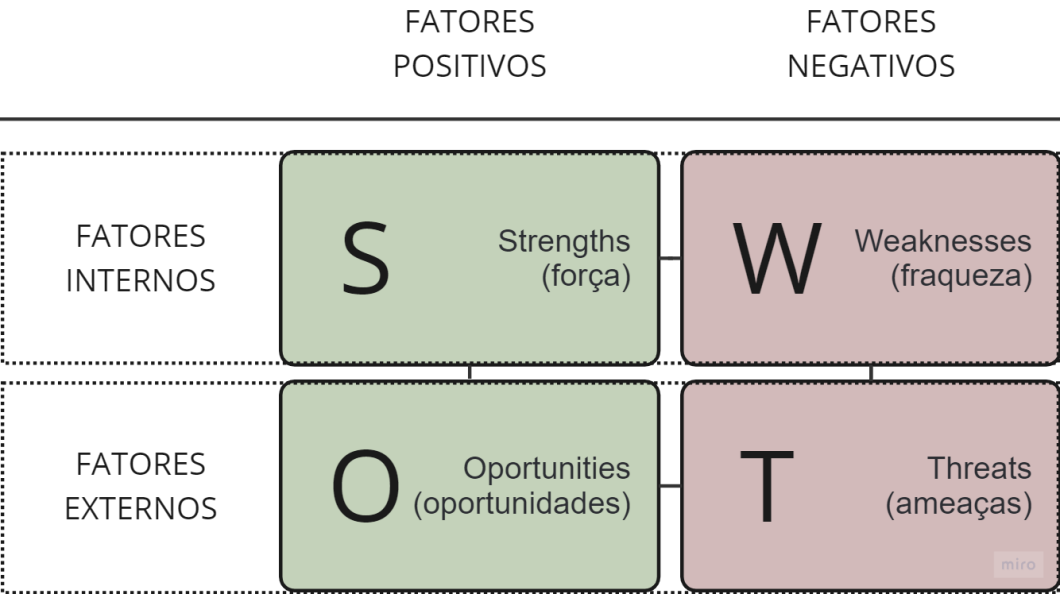


Figura 1 Matriz SWOT | Fonte: Autor, 2024.

Para a análise das políticas públicas e regulamentações ambientais pertinentes à dissertação, foram consideradas leis e normativas em diferentes níveis governamentais, assim como acordos internacionais e diretrizes específicas. No âmbito federal, destacam-se a Lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), que define os princípios para a integração de ações de mitigação e adaptação climática no desenvolvimento nacional; a Lei da Floresta Amazônica (Lei nº 12.651/2012), que estabelece normas para a proteção e manejo sustentável da floresta. No nível estadual, a Lei de Política Estadual de

Mudança do Clima do Amazonas (Lei nº 3.408/2010) e o Plano Estadual de Mudança do Clima do Amazonas (PECMA) delineiam metas e ações específicas para a mitigação e adaptação climática na região, enquanto a Lei de Proteção à Floresta Amazônica do Amazonas (Lei nº 3.820/2013) reforça medidas de conservação florestal e apoio às comunidades locais.

Em consonância com as regulamentações nacionais, acordos internacionais como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e o Acordo de Paris sublinham compromissos globais com a redução das emissões de gases de efeito estufa e a adaptação às mudanças climáticas. Adicionalmente, normas e diretrizes como a Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (PNGRH) e o Plano Nacional de Prevenção e Controle de Desastres (PNPCD) orientam a gestão sustentável dos recursos hídricos e a redução de desastres ambientais. Estudos e pesquisas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) e programas governamentais como o Programa Amazônia são utilizados para embasar teoricamente as análises, fornecendo dados científicos e estratégicos para a proteção e o desenvolvimento sustentável da região amazônica.

O *Design Science Research* (DSR) foi a base da metodologia pois combina elementos de ciência e engenharia para resolver problemas complexos e criar soluções. Ao aplicá-la como método de estudo de caso, a DSR (Figura 2) permite a compreensão profunda de fenômenos específicos e a elaboração de artefatos que possam ser aplicados em contextos reais. Esta abordagem possibilitou a exploração abrangente e participativa dos desafios enfrentados pela logística urbana em Manaus. Mediante a utilização de dados fornecidos por *stakeholders*, tais como gestores públicos e empresas de transporte, tornou-se viável a coleta de informações valiosas sobre as dificuldades enfrentadas pela logística urbana em virtude das secas extremas.

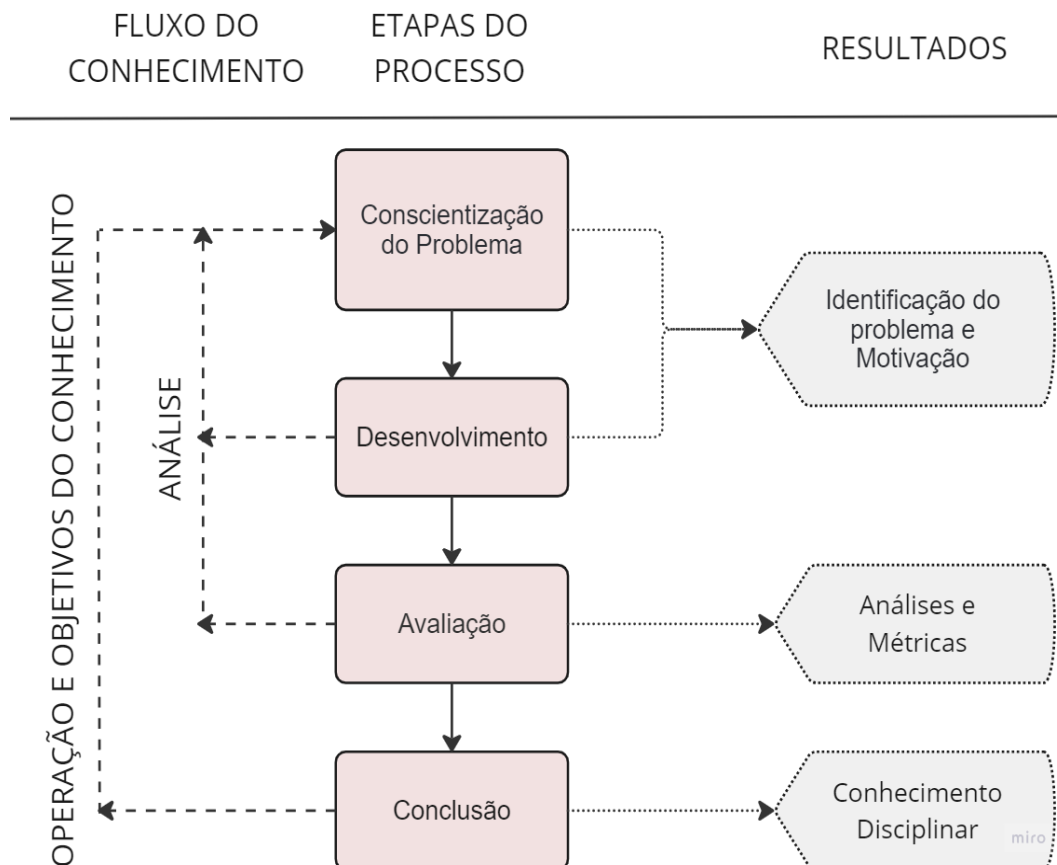


Figura 2 Design Science Research | Fonte: Autor, 2024.

A divisão do trabalho na dissertação (Figura 3) é estruturada em cinco principais seções. Primeiramente, o impacto da mudança climática na Amazônia é abordado com base em estudos e pesquisas do IPCC, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), e de artigos acadêmicos relevantes.

Em seguida, um estudo de caso focado em Manaus examina sua história, urbanização, problemas enfrentados, infraestrutura e logística urbana. A seção sobre secas extremas inclui uma análise histórica e do comportamento urbano durante este evento, relacionando com os efeitos e desafios sobre a logística urbana e medidas de adaptação e boas práticas que poderiam adequar a situação. O cenário atual, referente às previsões sobre a seca extrema, exhibe dados do ano de 2024 e perspectivas futuras. Por fim, a seção de resultados discute os efeitos e desafios identificados ao longo da pesquisa, oferecendo uma visão abrangente dos impactos da mudança climática na logística urbana de Manaus.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

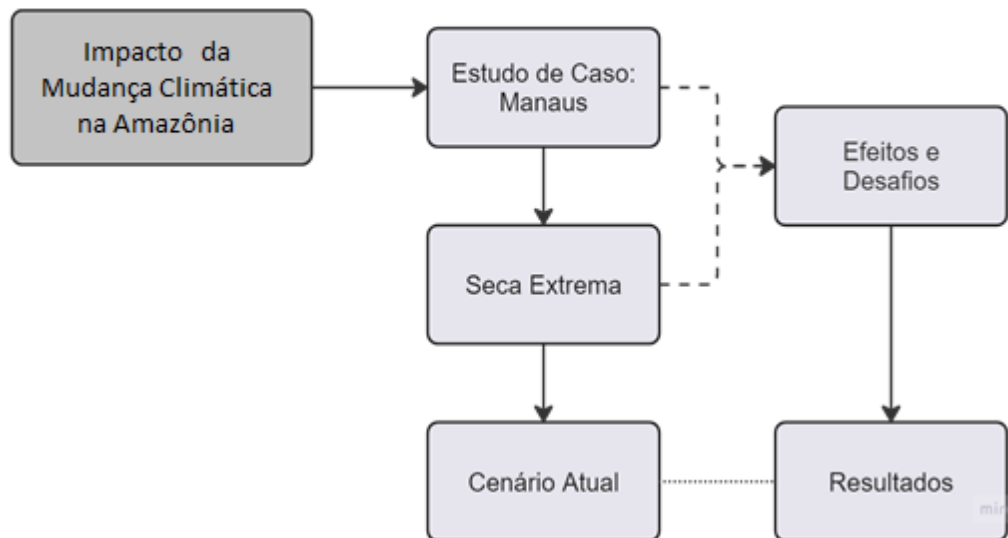


Figura 3 Fluxograma de Pesquisa | Fonte: Autor, 2024.

Ademais, a pesquisa adota uma perspectiva interdisciplinar, integrando conhecimentos das áreas de engenharia civil, planejamento urbano, ciências ambientais e políticas públicas, a fim de abordar de forma holística os desafios complexos relacionados à Amazônia.

Ao final, apresenta-se um conjunto de diretrizes fundamentadas em evidências, capazes de informar e orientar decisões de políticas públicas e investimentos futuros na logística urbana manauara, visando promover a resiliência e a sustentabilidade do sistema frente a mudança climática.

2. Introdução

A realidade do Brasil predominantemente urbano é permeada pelos constantes e crescentes riscos associados às mudanças climáticas. O impacto sobre as cidades, principalmente na região amazônica, é imensurável, atingindo cadeias urbanas em escalas estaduais, nacionais e mundiais (JONES & SILVA, 2018). Reconhecida como um dos ecossistemas mais diversos e essenciais do planeta, a Amazônia se destaca por sua ampla biodiversidade e complexidade ambiental, desempenhando um papel significativo na estabilidade climática mundial. Contudo, as mudanças climáticas, impulsionadas por ações antropogênicas, apresentam desafios significativos à resiliência das áreas urbanas nesse território (SANTOS *et al.*, 2021).

A análise do *Sixth Assessment Report (AR6)* do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, destaca a vulnerabilidade e os impactos significativos na região amazônica. Sendo um dos principais depósitos globais de carbono, a localidade apresenta uma elevada suscetibilidade aos aumentos de temperatura, aridez e seca. Esses fatores, em conjunto com o mal planejamento e elevadas densidades populacionais, contribuem substancialmente para a ampliação dos níveis de exposição a eventos climáticos extremos.

Em meio às transformações climáticas, as áreas urbanas na Amazônia emergem como o epicentro de impactos singulares, demandando uma compreensão mais aprofundada de suas implicações na infraestrutura e logística urbana (SMITH *et al.*, 2020). Aproximadamente 80% da população da Bacia Amazônica reside em grandes centros urbanos (IPCC, 2022), e as projeções apontam para um aumento substancial em escala global, alcançando 68% até 2050, segundo informações do Relatório Mundial das Cidades 2022 publicado pela ONU-Habitat.

Esse quadro unificado, marcado pelo crescimento populacional nas áreas urbanas e pelos riscos climáticos, indicam impactos expressivos na ocupação do solo ao longo das próximas décadas. Consequentemente,

surtem desafios substanciais para a população e a economia, tornando imperativa a necessidade de que o ambiente urbano não apenas demonstra resiliência, mas também atue como agente propulsor de transformações estruturais na sociedade (SANTOS *et al.*, 2021).

Manaus, como uma amostra representativa da urbanização na Amazônia, destaca-se como um estudo de caso fundamental. Situada no epicentro da floresta tropical, a cidade enfrenta dilemas intrincados resultantes da interação entre o crescimento urbano e as mudanças climáticas. Os impactos da seca extrema na logística urbana vão além da simples carência das infraestruturas de transporte, englobando desafios críticos como a interrupção das cadeias de suprimento e o aumento das dificuldades na mobilidade urbana.

Exemplos internacionais, como a região do Sahel na África, o Rio Nilo, a Austrália e a bacia do rio Mekong, ilustram desafios semelhantes enfrentados por regiões urbanas em decorrência das mudanças climáticas. O Sahel tem enfrentado secas severas, comprometendo a segurança hídrica e alimentando crises humanitárias (DANIEL *et al.*, 2021). Enquanto isso, o Rio Nilo tem visto variações em seu fluxo, afetando milhões que dependem dele para irrigação e abastecimento (FARAH *et al.*, 2020). Na Austrália, ondas de calor intensas e persistentes impactaram severamente a infraestrutura urbana e a qualidade de vida nas cidades (COX *et al.*, 2022). Na bacia do rio Mekong, as mudanças climáticas têm gerado inundações e secas extremas, prejudicando a agricultura e a vida cotidiana das ribeirinhas (HAYES & WANG, 2018).

O relatório do IPCC 2023 sublinha a importância essencial do sistema de transporte, enfatizando a necessidade de integrar de maneira eficaz o planejamento de transportes, aprimorando os modais para obter mais resiliência e expandir a logística urbana (IPCC, 2023). O combate efetivo às consequências das mudanças climáticas exige a implementação de medidas de mitigação e/ou adaptação dos impactos ambientais originados pelas atividades da sociedade contemporânea, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 12.187/2009, artigo 2º, VIII.

Esta dissertação concentra-se em uma análise desses impactos, com foco nos efeitos e desafios da logística urbana manauara em decorrência das secas extremas. Com o intuito de proporcionar uma compreensão abrangente, o estudo propõe-se a revelar os impactos da mudança climática e possíveis soluções para adaptação e resiliência.

As hipóteses subjacentes a este estudo exploratório envolvem a premissa de que as alterações climáticas têm repercussões substanciais nas condições urbanas da região amazônica. Parte-se do pressuposto de que eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, têm aumentado em frequência e intensidade, impactando diretamente a resiliência da capital amazônica. Além disso, considera-se que a infraestrutura urbana existente nesta localidade apresenta vulnerabilidades específicas, seja em termos de qualidade estrutural e capacidade de resposta a eventos extremos.

Além disso, presume-se que as desigualdades socioeconômicas entre diferentes grupos populacionais em Manaus se acentuam frente aos impactos das secas extremas. Supõe-se que as comunidades mais vulneráveis economicamente enfrentarão desafios ainda mais severos após eventos climáticos extremos.

Nesse contexto, esta dissertação não apenas examina os desafios específicos da logística urbana causados pelas secas, mas também visa contribuir para um diálogo mais amplo sobre a necessidade urgente de integrar estratégias adaptativas nas políticas públicas, promovendo um desenvolvimento urbano sustentável e resiliente a mudança climática na cidade de Manaus.

3. Impacto da Mudança Climática na Amazônia

3.1 Explorando a Diversidade: Região Amazônica

A Floresta Amazônica, maior floresta tropical contínua do planeta, é um verdadeiro gigante verde que se estende por nove países da América do Sul. Mais do que um mero conjunto de árvores, é um bioma rico e complexo, considerado um "pulmão verde" vital para a saúde do planeta (INPE, 2020). Com aproximadamente 5,5 milhões de quilômetros quadrados distribuídos em nove países, sendo a maior parte no Brasil (Figura 4), é uma rica reserva de biodiversidade, abrigando cerca de 16 mil espécies diferentes em sua vasta extensão (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, s.d.; SMITH & SILVA, 2021). Essa diversidade biológica única torna a Amazônia uma referência global em termos de ecossistemas e uma fonte constante de descobertas científicas.

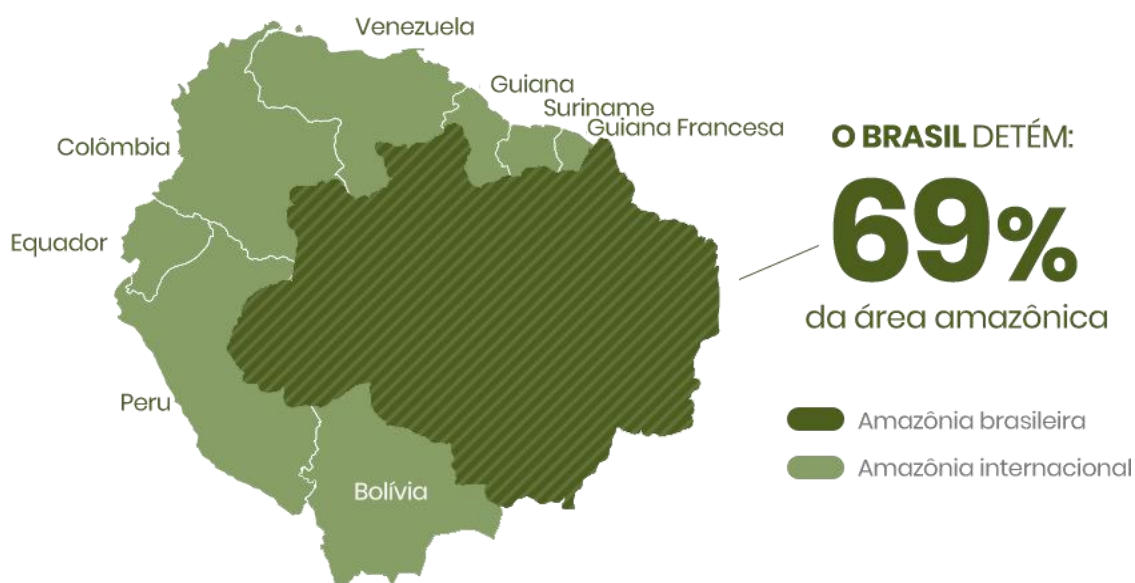


Figura 4 Distribuição da Floresta Amazônica | Fonte: Ministério Público Federal, s.d.

Além de sua relevância biológica, a Floresta Amazônica exerce um papel essencial no equilíbrio climático global, atuando como um importante depósito natural que absorve e captura o CO₂ da atmosfera, reduzindo sua presença no ar e contribuindo para regular os padrões climáticos (PERES & TERBORGH, 1995). Sua transpiração diária libera grande quantidade de vapor d'água para a atmosfera, influenciando diretamente o clima e

garantindo as chuvas não apenas na região amazônica, mas também em áreas distantes, incluindo um quadrilátero abrangendo Cuiabá, São Paulo, Buenos Aires e a Cordilheira dos Andes, responsável por 70% do Produto Interno Bruto (PIB) da América do Sul (PROJETO BIOMA AMAZÔNIA, 2017).

Com suas árvores de grande porte, este ecossistema libera mais de mil litros de vapor de água diariamente, funcionando como um importante reservatório de carbono, armazenando entre 80 e 120 bilhões de toneladas desse elemento (INPE, 2020). A vasta Bacia Amazônica, com mais de 25 mil quilômetros de rios navegáveis, incluindo o Rio Amazonas, despeja diariamente cerca de 17 bilhões de toneladas de água no oceano, representando 20% do volume global de água doce que alcança os oceanos (INPE, 2020).

No entanto, a preservação desse ecossistema enfrenta desafios constantes devido a processos como migração, desenvolvimento urbano, desmatamento, exploração ilegal de madeira, expansão agrícola e incêndios florestais, comprometendo sua biodiversidade e ecologia (SMITH & SILVA, 2021).

3.2 A Complexidade do Clima Amazônico

A Amazônia é influenciada por um clima tropical úmido (Figura 5) que desempenha uma função indispensável na manutenção da saúde e do equilíbrio do ecossistema amazônico. De acordo com Marengo *et al.* (2018), a localidade apresenta uma temperatura média anual que varia entre 24°C e 26°C, com altas taxas de precipitação ao longo do ano.

Sua dinâmica climática está intrinsecamente ligada à circulação atmosférica global e à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT desloca-se sazonalmente sobre a região, influenciando os padrões de chuva. (NOBRE *et al.*, 2016). A variação sazonal é caracterizada por duas estações principais ao longo do ano: a estação chuvosa, conhecida como o “inverno amazônico” e a estação seca, “verão amazônico”.

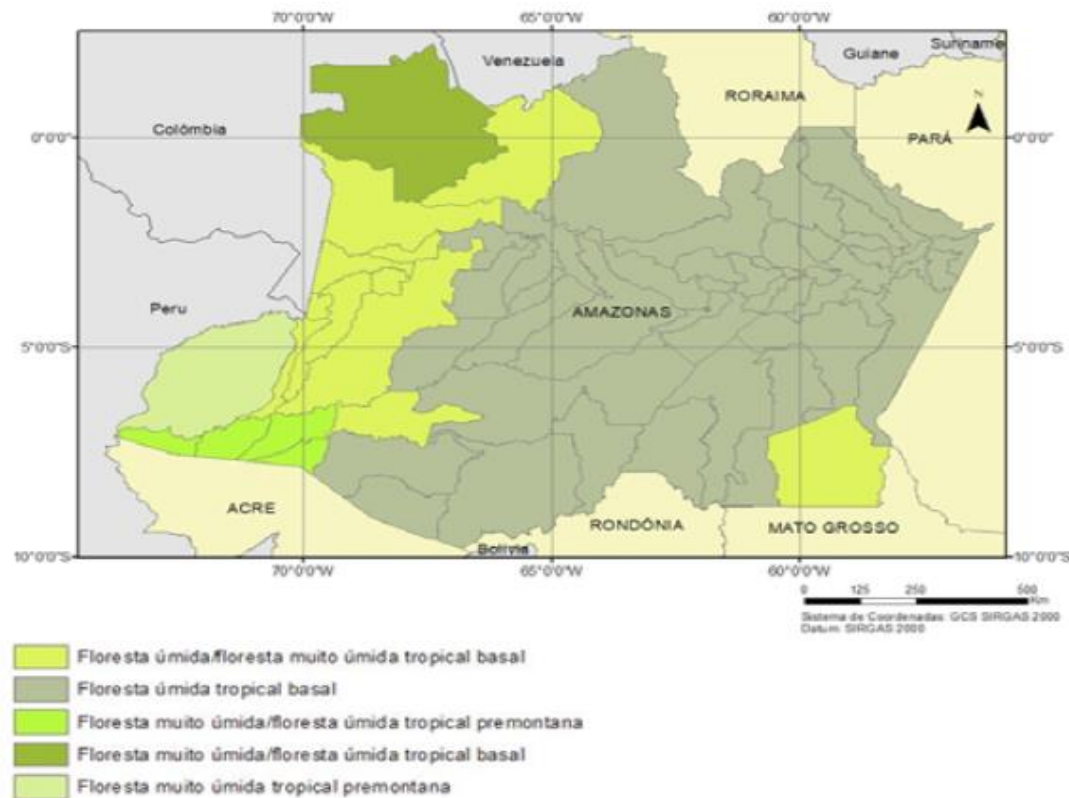


Figura 5 Classificação de Holdridge para o estado do Amazonas |

Fonte: Condé Alves et. al., 2019.

Durante o período com elevados índices precipitação, de dezembro a junho, as intensas chuvas alimentadas pela umidade da bacia amazônica resultam na elevação dos rios, inundando vastas áreas e formando ecossistemas temporários como os igapós e as várzeas. Essa temporada é crucial para a biodiversidade e a regulação térmica da floresta (MARENGO et. al., 2018).

Já no verão amazônico, que compreende os meses de julho a novembro, a precipitação diminui significativamente, reduzindo os níveis dos rios e expondo áreas antes submersas. A vegetação responde à escassez de água, algumas espécies perdem folhas, e a vida aquática se adapta. A alternância entre as estações é vital para os ciclos de vida e reprodução de muitas espécies na região (MARENGO et. al., 2018).

Essas características sazonais, com uma estação chuvosa intensa e uma estação seca distintiva, moldam os padrões ecológicos e climáticos

únicos da Amazônia. A compreensão desses ciclos é primordial para a preservação e a gestão sustentável da região, considerando os desafios apresentados pelas mudanças climáticas globais e atividades humanas, como o desmatamento (MALHI *et al.*, 2008). A seguir, foram descritos os principais sistemas atmosféricos que atuam na Amazônia, com base em estudos científicos relevantes e nas informações do INPE:

i. Circulação Geral e Alta da Bolívia:

A circulação geral da alta troposfera sobre a América do Sul é caracterizada pela presença da Alta da Bolívia (AB), um anticiclone de alta pressão que se forma sobre a região do altiplano boliviano durante os meses de verão (SANTOS, 1986; CARVALHO, 1989). A AB é impulsionada pela forte convecção atmosférica na Amazônia, que gera calor latente e eleva a massa de ar quente para a alta troposfera (HOREL *et. al.*, 1989). A localização e a intensidade da AB variam ao longo do ano e em resposta a eventos climáticos como o *El Niño* (JONES & HOREL, 1989). A desintensificação da AB durante o inverno e em anos com *El Niño* mais intenso está associada à diminuição da atividade convectiva e da precipitação na região (SANTOS, 1986; CARVALHO, 1989).

ii. *El Niño* e *La Niña*:

Os eventos *El Niño* e *La Niña*, caracterizados pelo aquecimento e resfriamento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, respectivamente, possuem um impacto significativo na Amazônia (KAYANO & MOURA, 1986). Durante anos de *El Niño* intenso, a região experimenta uma redução significativa da precipitação, principalmente durante a estação chuvosa (NOBRE & RENNÓ, 1985; NOBRE & OLIVEIRA, 1986). Essa diminuição da precipitação está associada à mudança na posição da ZCIT, que se desloca para o norte, reduzindo a umidade para a região Amazônica (MARENGO *et. al.*, 1993). Já durante os anos de *La Niña*, a região tende a apresentar um aumento na precipitação, principalmente durante a estação chuvosa (GRIMM *et. al.*, 1998). Essa

intensificação da precipitação está associada ao fortalecimento da ZCIT sobre a região (MARENGO, 2004).

iii. Frentes Frias:

Apesar de sua localização próxima ao Equador, a região sul da Amazônia pode ser afetada por sistemas frontais provenientes de latitudes mais altas, fenômeno conhecido como "friagem" (BRINKMAN & RIBEIRO, 1972). As frentes frias causam a queda abrupta da temperatura, intensificação dos ventos e mudança na direção do vento (MARENGO *et. al.*, 1996). A frequência das friagens na Amazônia é relativamente baixa, com cerca de 2 a 3 eventos por ano na região central e 7 eventos no sul do Pará (BRINKMAN & RIBEIRO, 1972; FISCH, 1996). Apesar de sua baixa frequência, as friagens podem ter impactos socioeconômicos negativos, como perdas na agricultura e pecuária (HAMILTON & TARIFA, 1978).

iv. Linhas de Instabilidade:

As linhas de instabilidade (LIs) são sistemas convectivos extensos que se formam na costa leste da Amazônia e podem se propagar para o interior do continente (COEHN *et. al.*, 1989). As LIs contribuem significativamente para a precipitação na região, especialmente durante a estação seca (MOLION, 1987). As características das LIs, como sua velocidade de deslocamento, comprimento e largura, variam ao longo do ano e em função da localização (COEHN *et. al.*, 1995). A formação e propagação das LIs são influenciadas por diversos fatores, incluindo a circulação de brisa marítima, a presença de fontes de calor e a interação entre escalas atmosférica (COEHN *et. al.*, 1989; 1995).

v. Brisa Fluvial:

A brisa fluvial é um mecanismo de circulação local impulsionado pelo contraste térmico entre a água dos rios e a superfície terrestre (OLIVEIRA & FITZJARRALD, 1993). Durante o dia, a superfície

terrestre aquece mais rapidamente do que a água dos rios, gerando uma corrente de ar ascendente sobre a terra e uma corrente descendente sobre o rio. Essa circulação induz a formação de nuvens sobre o continente, principalmente durante a tarde e início da noite (OLIVEIRA & FITZJARRALD, 1993). A brisa fluvial é mais intensa em rios largos, como o Solimões, Amazonas e Tapajós, e pode influenciar a distribuição espacial da precipitação na região (MOLION & DALLAROSA, 1990).

vi. Penetração de Frentes Frias e Organização da Convecção na Amazônia:

A penetração de frentes frias na Amazônia pode influenciar a organização da convecção atmosférica na região (OLIVEIRA, 1986). As frentes frias podem desencadear a formação de uma banda de nuvens orientada no sentido noroeste-sudeste, conhecida como Zona de Convergência Amazônica Sul (ZCAS) (OLIVEIRA, 1986). A ZCAS intensifica a convecção e a precipitação na região, especialmente durante os meses de verão (OLIVEIRA, 1986). A interação entre a convecção tropical e a penetração de frentes frias na Amazônia é um processo complexo que ainda precisa ser melhor compreendido.

3.3 Mudança Climática: Conceitos, Legislações e Impactos

De acordo com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei Federal nº 12.187/2009, mudança do clima é conceituada como

aquela que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis (Lei Federal nº 12.187/2009, ART. 2º, VIII).

O conceito, que foi internalizado pelo direito brasileiro em 2009, é objeto de definição, discussão e implementação de medidas em âmbito internacional muito antes disso.

Borrás (2017, p. 98) conceitua a mudança climática como resultado de um modelo de desenvolvimento econômico insustentável adotado por países industrializados, altamente dependentes de combustíveis fósseis, resultando em significativa emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Essa transformação climática, derivada do crescimento econômico insustentável desde a Revolução Industrial, foi oficialmente reconhecida internacionalmente em 1992 pela UNFCCC, firmada em Nova York. A internalização desse documento no Direito Brasileiro ocorreu por meio do Decreto Federal nº 2.652, de 1º de julho de 1998, seis anos após sua ratificação.

A UNFCCC resultou das discussões entre 179 nações signatárias durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio-92), destacando a preocupação global com os efeitos negativos da mudança climática e a necessidade de ações integradas entre desenvolvimento social e econômico. Desde então, ocorrem anualmente as "Conferências das Partes" (COP), sendo a primeira realizada em Berlim, em 1995 (COP1).

Em 1997, durante a COP 3 em Kyoto, Japão, foi celebrado o Protocolo de Quioto, estabelecendo metas de redução de 5% nas emissões de GEE para os países desenvolvidos. O Brasil aderiu em 2002, e o protocolo entrou em vigor em 2005. Em 2015, o Acordo de Paris sucedeu o Protocolo de Quioto, firmado durante a COP21 em Paris, consolidando compromissos de 195 países para combater as mudanças climáticas. O Acordo de Paris foi promulgado no Brasil pelo Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017, e coexiste com o Protocolo de Quioto, apresentando avanços nos instrumentos previstos pelo primeiro.

No contexto das mudanças climáticas no Brasil, diversos eixos de preocupação emergem, como destacados no relatório Mudanças Climáticas na Esfera Nacional (2016). Um dos principais focos de análise é a variabilidade climática, evidenciando a escassez de avaliações abrangentes sobre a variabilidade de longo prazo e os extremos climáticos no país. Outro eixo essencial abordado no relatório refere-se aos eventos

climáticos extremos, pois, a análise revela estudos que identificam um aumento significativo nos extremos de chuva em diferentes regiões do país. Esses eventos extremos têm implicações profundas para a gestão de recursos hídricos, a agricultura e a infraestrutura, exigindo estratégias de adaptação e mitigação específicas para lidar com as mudanças observadas.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

Com o propósito revisar o estado do conhecimento científico sobre mudanças climáticas, seus impactos sociais e econômicos, e estratégias de resposta, o *Intergovernmental Panel on Climate Change*, ou IPCC, foi criado em 1988 na Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU). Essa missão foi estabelecida pela Resolução nº 43/53 de 6 de dezembro de 1988, visando contribuir para uma possível convenção internacional sobre o clima, posteriormente consolidada na UNFCCC.

Ao longo dos anos, o IPCC produziu seis relatórios de avaliação, além de diversos relatórios metodológicos, especiais e artigos técnicos, compilando estudos realizados por cientistas globais e fornecendo uma base científica sólida para abordar questões críticas relacionadas às mudanças climáticas, tanto para a UNFCCC quanto para governos e organizações internacionais.

O IPCC é subdividido em três grupos de trabalho (em inglês, *Work Group* ou WG), cada um com foco em áreas específicas relacionadas às mudanças climáticas. No contexto do Sexto Relatório de Avaliação (em inglês *Sixth Assessment Report* ou AR6), o WG II, ou Grupo de Trabalho II, desempenha uma função chave ao abordar a vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças climáticas.

Este grupo se concentra na avaliação dos impactos das mudanças climáticas em sistemas naturais e humanos, na vulnerabilidade de sociedades e ecossistemas, além de abordar estratégias de adaptação. Ele examina as ramificações das mudanças climáticas em várias regiões do mundo, setores econômicos, segurança alimentar, saúde humana e outros

aspectos socioeconômicos, com o intuito de proporcionar uma compreensão abrangente das consequências dessas mudanças.

A estruturação do IPCC segue uma abordagem regional e setorial, sendo o AR6 do WGII organizado por capítulos, com o Capítulo 12 especificamente dedicado à América Central e do Sul. Os continentes são divididos em diferentes sub-regiões, possibilitando uma análise mais aprofundada das condições e tendências específicas dessa área, conforme a Figura 6.

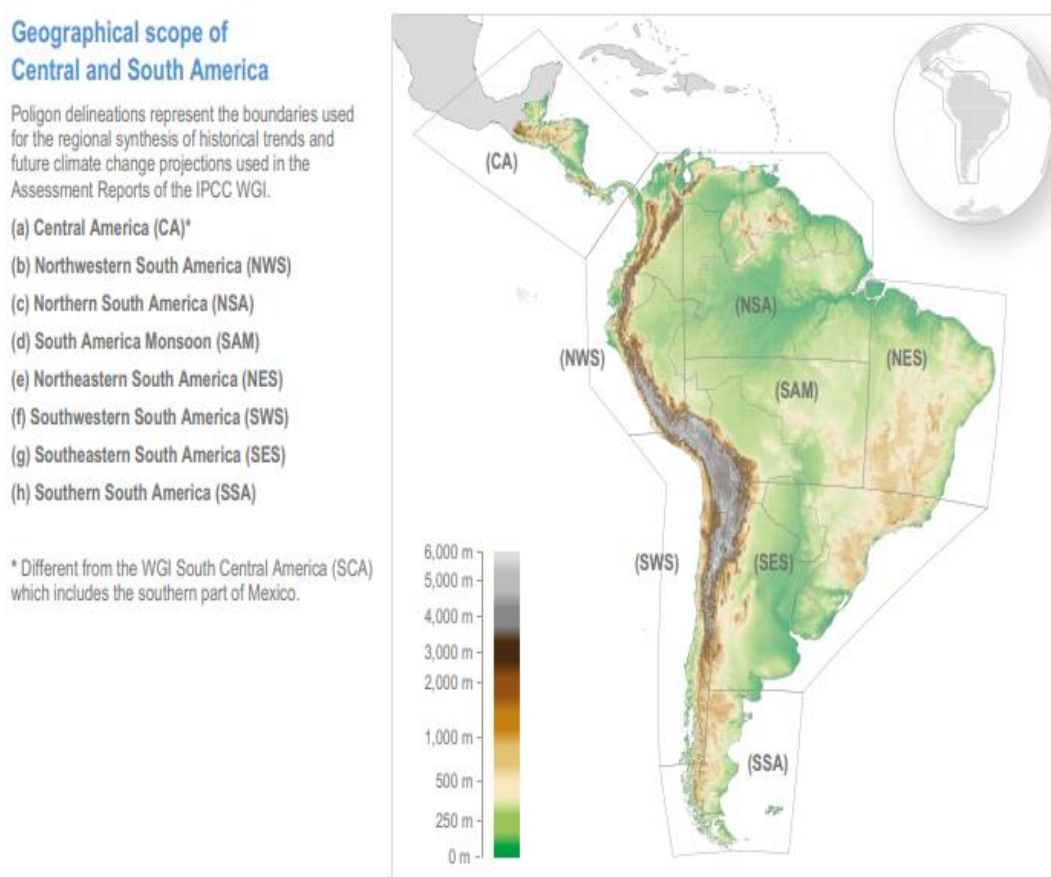


Figura 6 Escopo geográfico da América Central e do Sul | Fonte: IPCC. 2023.

Este capítulo dedica atenção significativa à região amazônica, sub-região Norte da América do Sul (em inglês, *Northern South America* ou NSA), abordando as complexas interações entre as mudanças climáticas e os sistemas naturais e humanos. Nele é possível averiguar impactos específicos das mudanças climáticas na região, considerando fatores como o aumento da temperatura, alterações nos padrões de chuva e eventos

extremos. Além disso, o mesmo avalia a vulnerabilidade dos ecossistemas amazônicos, das comunidades locais e das atividades econômicas à medida que o clima continua a se transformar.

Clima em Desequilíbrio

Conforme evidenciado no AR6, observa-se um aumento significativo na intensidade e frequência de eventos climáticos extremamente quentes, acompanhado pela prolongação das ondas de calor. Este fenômeno é concomitante à diminuição de extremos frios na região. O documento prevê que as cidades tropicais enfrentarão impactos substanciais, com ênfase na ocorrência de ondas de calor e no estabelecimento de recordes diários de temperatura, conforme ilustrado na Figura 7.

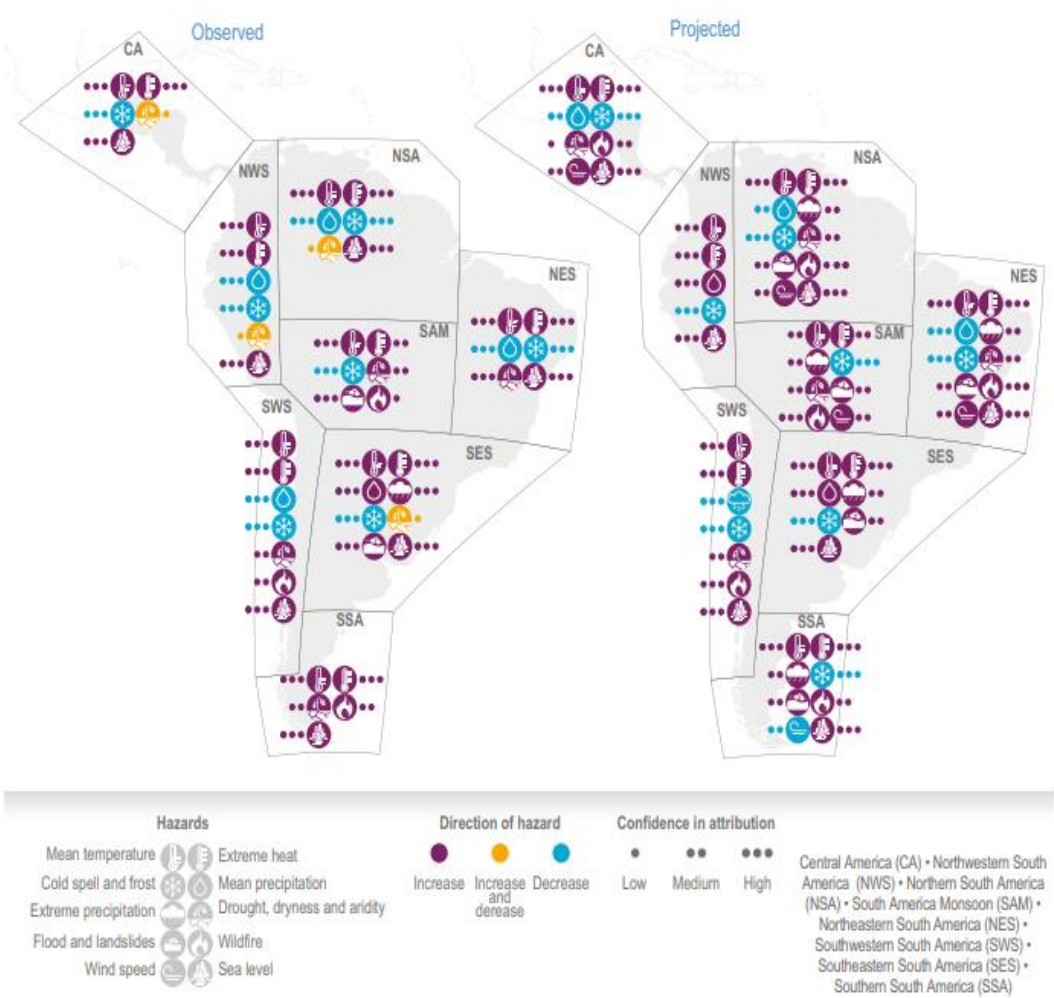


Figura 7 Perigos observados e projetados na América Central e do Sul | Fonte: IPCC, 2023.

Além disso, as projeções indicam uma tendência de redução na precipitação, especialmente na região amazônica. Espera-se que a precipitação média diminua, influenciando diretamente os padrões hídricos na área. Adicionalmente, destaca-se a previsão de uma diminuição na intensidade de precipitações intensas em regiões de elevada pluviosidade.

Segundo as conclusões apresentadas no AR6, a exposição a riscos climáticos é uma preocupação significativa. Na Bacia Amazônica, onde aproximadamente 80% da população está concentrada em áreas urbanas, a influência dos impactos das mudanças climáticas é agravada por fatores como o mal planejamento urbano e elevadas densidades populacionais. Essa concentração urbana intensifica os níveis de exposição, tornando as comunidades mais vulneráveis a eventos climáticos extremos.

Especificamente, o Delta e Estuário do estado do Amazonas (em inglês, *Amazon Delta and Estuary* ou ADE) enfrentam desafios significativos, com 41% da população total dos centros urbanos expostos a fluxos de água intensos. Adicionalmente, a infraestrutura na sub-região está altamente exposta a inundações repentinas, representando ameaça significativa para a resiliência das comunidades locais. Além disso, a exposição à seca severa na região aumentou consideravelmente de 8% para 16% no período de 2005 a 2015, tendência semelhante em outras regiões (Figura 8), associada diretamente a anomalias negativas no déficit hídrico, resultando no aumento dos índices de incêndios na área.

Sub-region	At least 1 month in drought	At least 3 months in drought	At least 6 months in drought
Central America (CA)	38.8%	17.6%	6.1%
Northwestern South America (NWS)	51.8%	25.3%	7.0%
Northern South America (NSA)	52.5%	18.3%	2.5%
South America Monsoon (SAM)	48.0%	34.4%	12.2%
Northeastern South America (NES)	64.5%	38.4%	12.0%
Southeastern South America (SES)	16.4%	6.7%	0.4%
Southwestern South America (SWS)	20.5%	13.9%	7.5%
Southern South America (SSA)	-23.5%	-8.8%	—

Figura 8 Mudança média na porcentagem de área terrestre durante a seca em 2010-2019 em relação a 1950-1959 | Fonte: IPCC. 2023.

A sub-região NSA emerge como uma das mais vulneráveis diante das mudanças climáticas (Figura 9). Eventos extremos, como as inundações estudadas no AR6, ocorridas nos anos de 2009, 2012 e 2014, juntamente com a seca de 2010, contribuíram significativamente para o aumento da vulnerabilidade social nessa área. Ela é acentuada pela sensibilidade dos sistemas alimentares e de transporte, especialmente afetando povos indígenas e comunidades locais.

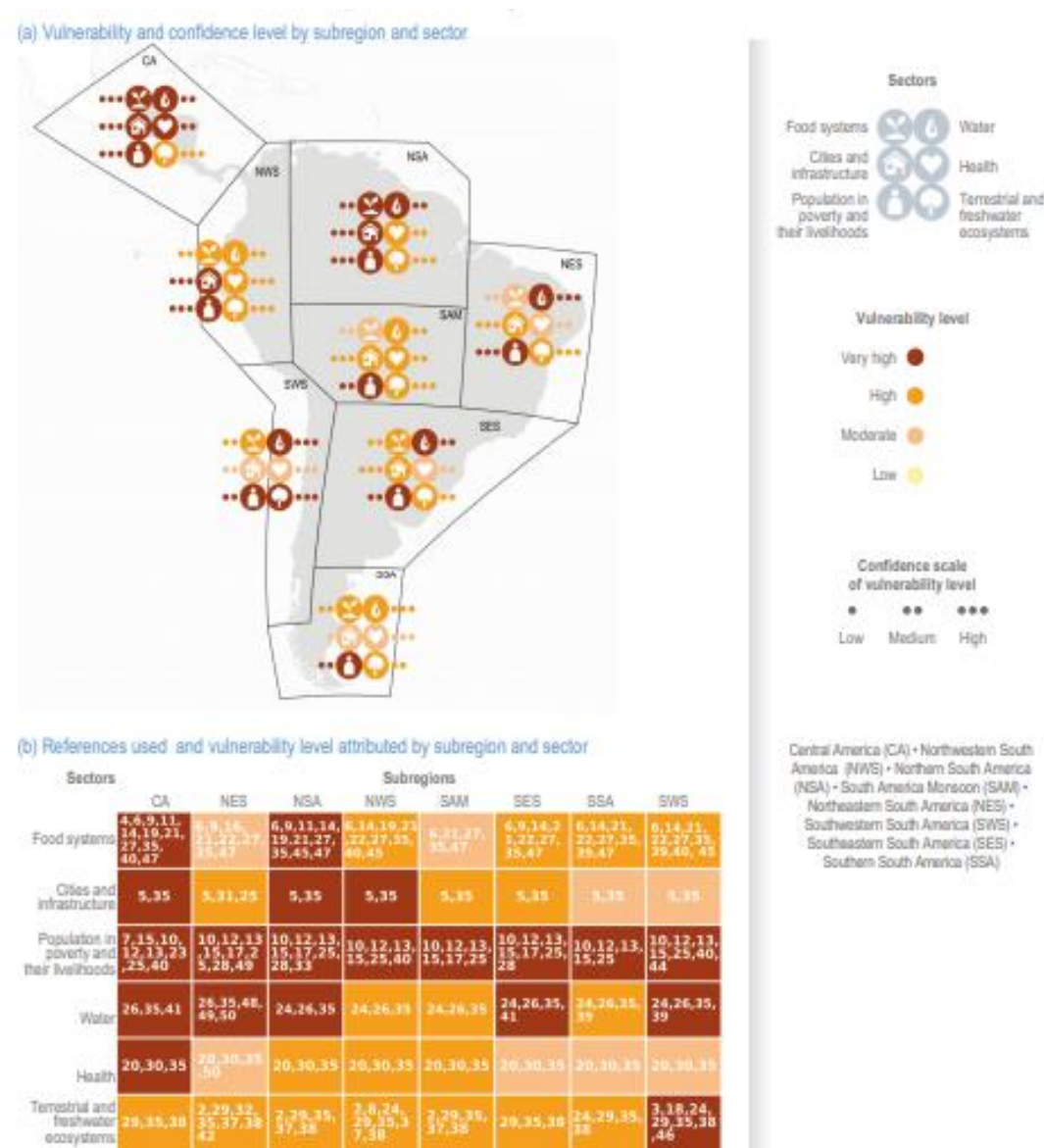


Figura 9 Distribuição setorial da vulnerabilidade às mudanças climáticas na América Central e do Sul | Fonte; IPCC. 2023.

A migração para centros urbanos, muitas vezes impulsionada pela dependência dessas comunidades em recursos naturais, amplifica a

sensibilidade pública. Complementarmente, a limitada ou inexistente infraestrutura viária e rodoviária em áreas remotas dos centros urbanos agrava esta fragilidade, dificultando a mobilidade e a resposta a eventos climáticos extremos.

A floresta exerce uma função indispensável na sub-região NSA, contribuindo para o equilíbrio regional de carbono (C) e água. No entanto, o desmatamento, em conjunto com o aumento da temperatura, impacta a dinâmica do ecossistema florestal, influenciando significativamente na concentração de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) e, conseqüentemente, o clima global.

Os impactos da mudança climática na sub-região NSA é extenso e incide primariamente sobre povos indígenas e comunidades ribeirinhas. A segurança alimentar, notadamente nas atividades de pesca e agricultura, é fortemente afetada, comprometendo a subsistência dessas comunidades. Além disso, eles se estendem ao transporte terrestre e fluvial, acesso à água, incidência de queimadas e prevalência de doenças relacionadas ao clima. A seca, um fenômeno exacerbado na região, intensifica a mortalidade das árvores, resultando na redução da quantidade de carbono armazenada na biomassa florestal. Os efeitos da seca se irradiam de forma profunda e complexa a diversos outros aspectos da região, como:

i. Transporte terrestre e fluvial:

Dificuldade de acesso: A diminuição do nível dos rios e lagos torna a navegação fluvial mais precária e impede o acesso a comunidades ribeirinhas, isolando-as e dificultando o escoamento da produção agrícola e o transporte de bens essenciais (MENDONÇA *et. al.*, 2015; IBGE, 2020).

Deterioração das estradas: O solo seco e rachado torna as estradas de terra mais suscetíveis à erosão e ao surgimento de buracos, comprometendo o acesso terrestre e aumentando os custos de transporte (SILVA *et. al.*, 2019; OLIVEIRA *et. al.*, 2023).

ii. Acesso à água:

Salinização: A intrusão de água salgada em rios e aquíferos costeiros, devido à diminuição do fluxo de água doce, torna a água imprópria para o consumo humano e para a irrigação (TESSLER *et. al.*, 2015; SILVA *et. al.*, 2018).

Aumento da competição: A escassez de água potável intensifica os conflitos por esse recurso vital, afetando comunidades tradicionais, populações ribeirinhas e atividades produtivas (MENDONÇA *et. al.*, 2017; ARAÚJO *et. al.*, 2022).

iii. Incidência de queimadas:

Condições propícias: A baixa umidade e o ressecamento da vegetação criam um ambiente mais propício para a ignição e propagação de queimadas florestais (MORTON *et. al.*, 2015; SILVA *et. al.*, 2020).

Aumento da frequência e intensidade: A seca intensifica a ocorrência e a severidade das queimadas, liberando grandes quantidades de gases de efeito estufa e causando danos à biodiversidade e à saúde humana (LEITE *et. al.*, 2017; INPE, 2023).

iv. Prevalência de doenças relacionadas ao clima:

Proliferação de vetores: A escassez de água e o acúmulo de lixo em áreas alagadas criam condições favoráveis para a proliferação de mosquitos vetores de doenças como dengue, malária e leishmaniose (CONFALONIERI *et. al.*, 2016; MARCONDES *et. al.*, 2018).

Aumento da vulnerabilidade: As populações já em situação de vulnerabilidade social e econômica são as mais afetadas pelas doenças relacionadas à seca, devido à precariedade das condições de saneamento e à falta de acesso a serviços de saúde (NOBRE *et. al.*, 2016; PEREIRA *et. al.*, 2019).

v. Mortalidade das árvores e redução do armazenamento de carbono:

Estresse hídrico: A seca prolongada leva ao estresse hídrico das árvores, reduzindo sua capacidade fotossintética e aumentando sua suscetibilidade a doenças e pragas (NEPSTAD *et. al.*, 2007; PHILLIPS *et. al.*, 2016).

Mortes em massa: A seca severa pode causar a morte em massa de árvores, liberando grandes quantidades de carbono armazenado na biomassa florestal e contribuindo para o aquecimento global (CLARK *et. al.*, 2010; MCDOWELL *et. al.*, 2015).

Ainda, a sub-região NSA experimenta perda de biodiversidade e alterações nas funções e serviços dos ecossistemas (Figura 10). Na Bacia Amazônica, a interação complexa e sinérgica entre diversos fatores, como o desmatamento, os incêndios florestais, a expansão da fronteira agrícola, as atividades extrativas, as mudanças climáticas e eventos extremos, apresenta uma ameaça significativa ao ecossistema. Estudos indicam que esses elementos inter-relacionados podem potencializar o risco de savanização na região, o que teria implicações profundas tanto para as comunidades locais quanto para a sustentabilidade global do meio ambiente (SMITH *et. al.*, 2020).

Uma série de efeitos significativos na economia da região amazônica, com repercussões particularmente acentuadas no Estado do Amazonas, tem sido desencadeada. Estudos como os de Marengo *et al.* (2018) e Nobre *et al.* (2020) revelam que o aumento da temperatura média na região tem gerado consequências diretas sobre a agricultura. Dados do INPE (2022) indicam uma redução significativa na produtividade agrícola devido às variações nos padrões de chuva, com uma diminuição média de 15% nas safras de culturas sensíveis às mudanças climáticas nos últimos cinco anos.

Synthesis of observed and projected impacts to main sectors in Central and South America

Projections averaged across scenarios and 21st century

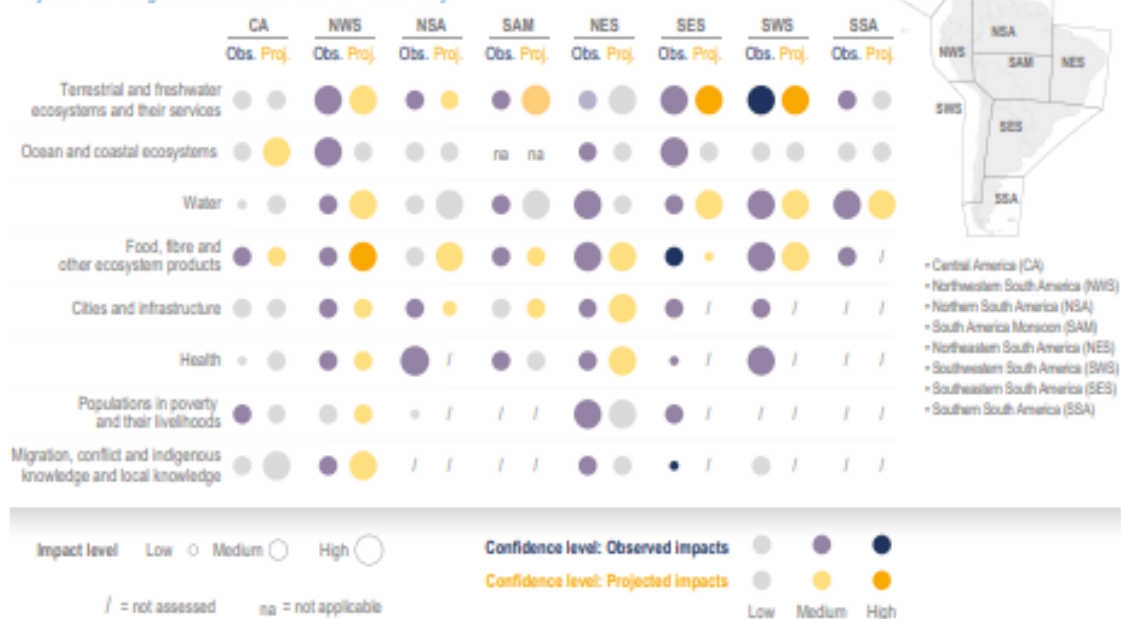


Figura 10 Síntese dos impactos observados e projetados a América Central e do Sul |
Fonte: IPCC, 2023.

Adicionalmente, observa-se uma queda de 20% na captura de peixes, uma parte vital da economia local, como evidenciado por registros do Ministério do Meio Ambiente (2021). A elevação média do nível do rio no Amazonas é de 1,5 centímetros ao ano, conforme dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2022), impactando diretamente comunidades ribeirinhas e prejudicando a infraestrutura portuária.

4. Manaus, a “Paris dos Trópicos”

A ocupação humana na região amazônica remonta a milênios, com comunidades indígenas sendo os habitantes originais, desenvolvendo uma profunda conexão com a floresta, dependendo dela para suas necessidades fundamentais, como alimentação, medicamentos e materiais de construção (SMITH, 1980). Manaus foi fundada em 1669 como Forte da Barra do Rio Negro, servindo, inicialmente, como ponto estratégico para a defesa da região e a exploração dos recursos naturais. A chegada dos europeus no século XVI, impulsionada pela navegabilidade do rio Amazonas, marcou o início de um ciclo de conquista e exploração, resultando na migração das populações nativas para áreas de terra firme (FRAXE, PEREIRA e WITKOSKI, 2007).



Figura 11 Manaus durante a época da Belle Époque | Fonte: Acervo Abrahim Baze, s.d.

A urbanização na região teve início no século XVIII, ganhando impulso durante o Ciclo da Borracha no século XIX e início do XX, atraindo uma diversidade de migrantes em busca de oportunidades econômicas (BARBOSA, 1999). A "Belle Époque" manauara (Figura 11), como ficou

conhecida, foi marcada por uma efervescência cultural e econômica, atraindo pessoas de todo o mundo em busca de oportunidades e aventura.

A ascensão de Manaus como uma metrópole regional significativa está diretamente relacionada à expansão econômica associada à borracha, seguida pela criação da Zona Franca de Manaus (ZFM) em 1967, que teve um impacto significativo na urbanização da cidade (AZEVEDO, 1997). Com o objetivo de estimular a ocupação e o desenvolvimento da região, a ZFM ofereceu uma série de incentivos fiscais e aduaneiros para empresas que se instalassem na área. Esses processos históricos e sociais moldaram não apenas a infraestrutura física, mas também a dinâmica social e cultural da região (HALL, 1997).

Conforme Nascimento (2004), a ZFM está prevista na Lei 3.173/57, com o intuito de ser um mercado para produtos estrangeiros para o fornecimento das nações vizinhas, no qual poderiam ser utilizados para exportações. Reestruturado pelo Decreto-Lei 288, que o integrou como um mecanismo de desenvolvimento da Amazônia, foi também constituída a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), responsável pela organização, gestão e supervisão dos novos padrões e incentivos fiscais, sendo estes (NASCIMENTO, 2004, p. 94):

I. Pela SUFRAMA:

Imposto de Importação (II): Redução de 88% sobre os insumos destinados à industrialização ou proporcional ao valor agregado nacional quando se tratar de bens de informática;

Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI): isento

Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS): alíquota zero nas entradas e nas vendas internas interindustriais e de 3,65% nas vendas de produtos acabados para o resto do país.

II. Pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM):

Imposto sobre a Renda (IR): Redução de 75% do Imposto sobre a Renda e adicionais não restituíveis, exclusivamente para reinvestimentos. Comum para toda a Amazônia.

III. Pelo Governo do Estado do Amazonas:

Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS): crédito estímulo entre 55% a 100%. Em todas as situações, as empresas são obrigadas a contribuir para fundos de financiamento voltados ao ensino superior, ao turismo, à pesquisa e desenvolvimento (P&D), bem como às pequenas e microempresas. A criação do Distrito Industrial em Manaus atraiu milhares de pessoas, não apenas do Amazonas, mas também de outros estados, em busca de oportunidades de emprego.

No contexto do Brasil, a ZFM é um enclave econômico único com uma função primordial no cenário socioeconômico. Atualmente, após terem seus prazos finais adiados, a ZFM e seus benefícios permanecem vigentes – e geram uma das maiores renúncias tributárias para o Governo Federal. (CAVALCANTE, 2020).

A diversidade étnica e cultural na região amazônica é resultado da colonização, migração e miscigenação ao longo dos séculos, influenciando diversas dimensões da vida cotidiana (SMITH & SILVA, 2021). Os diversos atores sociais, como povos indígenas, populações ribeirinhas, pescadores e migrantes, possuem identidades socioculturais únicas, enraizadas em práticas tradicionais adaptadas às necessidades locais (CHAVES, 2001; FRAXE, PEREIRA & WITKOSKI, 2007).

Atualmente, Manaus é uma metrópole com mais de 2 milhões de habitantes (IBGE, 2022; Figuras 12 e 13), caracterizada por sua diversidade cultural. Se destaca como um centro de pesquisa e educação ambiental, com instituições renomadas como o Museu do Homem do Norte

e o INPA contribuindo para a compreensão e preservação da floresta tropical.



Figura 12 Capital Manaus | Fonte: A Crítica, 2024.

CRESCIMENTO POPULACIONAL - MANAUS

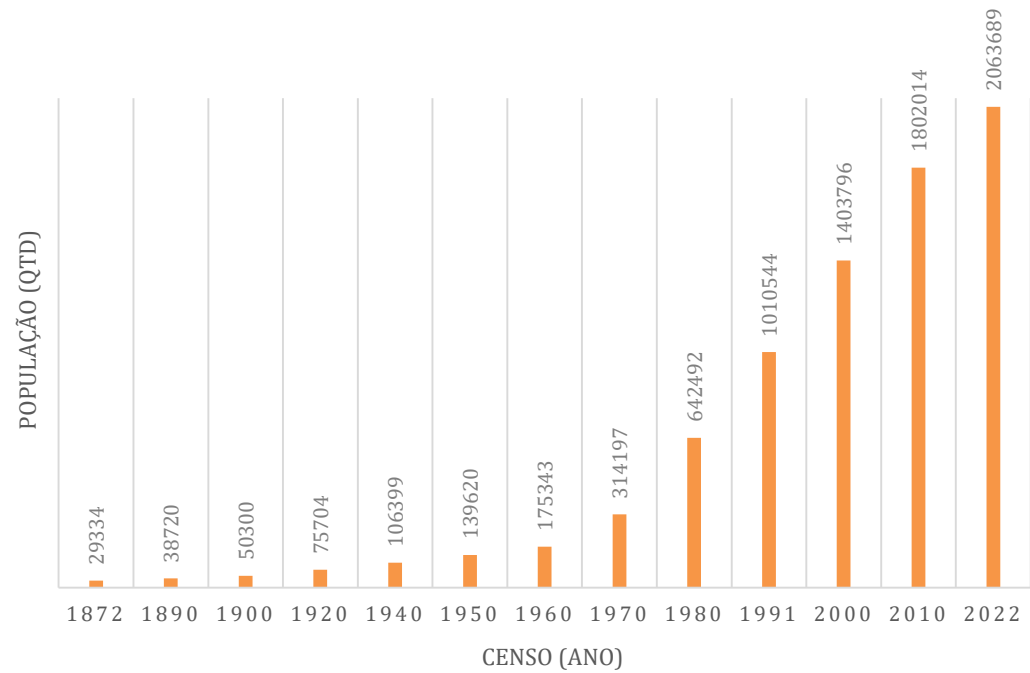


Figura 13 População do estado do Amazonas | Fonte: IBGE, 1872-2022.

No entanto, a urbe amazonense enfrenta desafios significativos. O crescimento desordenado, a degradação ambiental e as desigualdades sociais demandam políticas públicas eficazes e o engajamento da sociedade civil para construir um futuro mais sustentável (SILVA, 2019). Apesar dessas dificuldades, Manaus mostra que é possível conciliar desenvolvimento econômico com preservação ambiental e valorização cultural, representando uma esperança para o futuro da Amazônia (MARTINS, 2020).

4.1 Urbanização e Infraestrutura

O processo de urbanização nesta região pode ser entendido como uma evolução marcada por dois momentos distintos, cada um influenciado pelo papel estratégico desempenhado pelos rios e rodovias na integração regional. A rede urbana mais antiga, originada durante o auge da economia da borracha, foi moldada pelos cursos dos rios nas bacias hidrográficas, com destaque para o eixo formado pelos rios Solimões-Amazonas, que serviu como ponto central de convergência. Manaus e Belém, os principais centros regionais de adensamento populacional e atividades econômicas, foram estrategicamente estabelecidos às margens desses rios (MOTTA, 2002; Figura 14).

Por outro lado, as cidades que surgiram mais tardiamente, encontram-se alinhadas ao longo dos eixos rodoviários e suas proximidades, muitas vezes permanecendo como pequenas aglomerações urbanas carentes de serviços básicos e infraestrutura adequada, refletindo desigualdades inter-regionais e desafios na configuração do espaço urbano (IPAM, 2023). Comunidades ribeirinhas, indígenas e áreas remotas enfrentam dificuldades de acesso a serviços essenciais, como educação, segurança e logística alimentar, limitando o desenvolvimento regional e a qualidade de vida (LAURANCE, 2009).

Manaus e sua Região Metropolitana testemunharam este processo histórico de urbanização e desenvolvimento que remonta ao século XVIII, com maior impulso durante o Ciclo da Borracha, final do século XIX e início

do século XX (OLIVEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019). A Região Metropolitana de Manaus (RMM), também conhecida como Grande Manaus, é um conjunto de 13 municípios que se articulam em torno da capital amazonense.

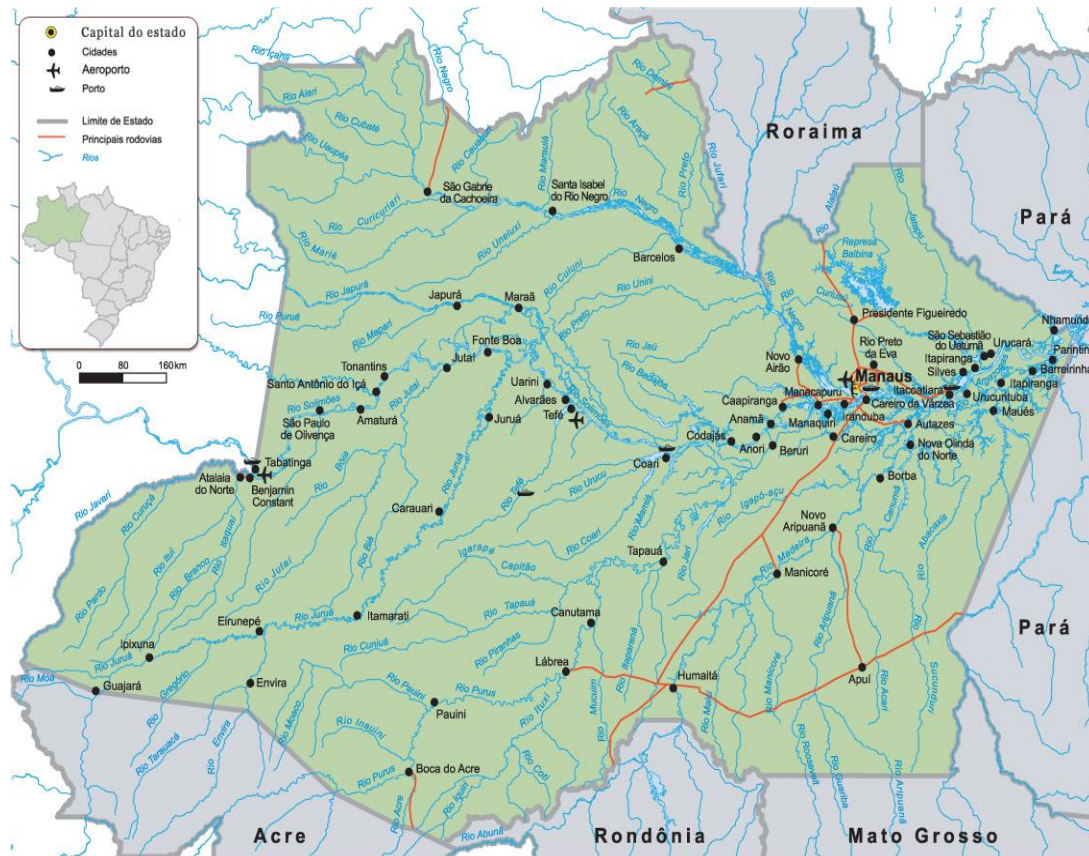


Figura 14 Urbanização do Estado do Amazonas |

Fonte: Mapas do Brasil e do Mundo, s.d.

Criada em 2007, a RMM abriga mais de 2,5 milhões de habitantes, distribuídos por uma área de aproximadamente 127 mil km², o que representa 10% do território do estado do Amazonas. O instrumento de sua criação destaca a importância do planejamento e execução de Funções Públicas de Interesse Comum (FPICs) e serviços de interesse metropolitano. Isso inclui áreas como habitação, transporte, conservação ambiental, saneamento básico e planejamento integrado (SGAMBATTI MONTEIRO *et. al.*, 2021; Figura 15).

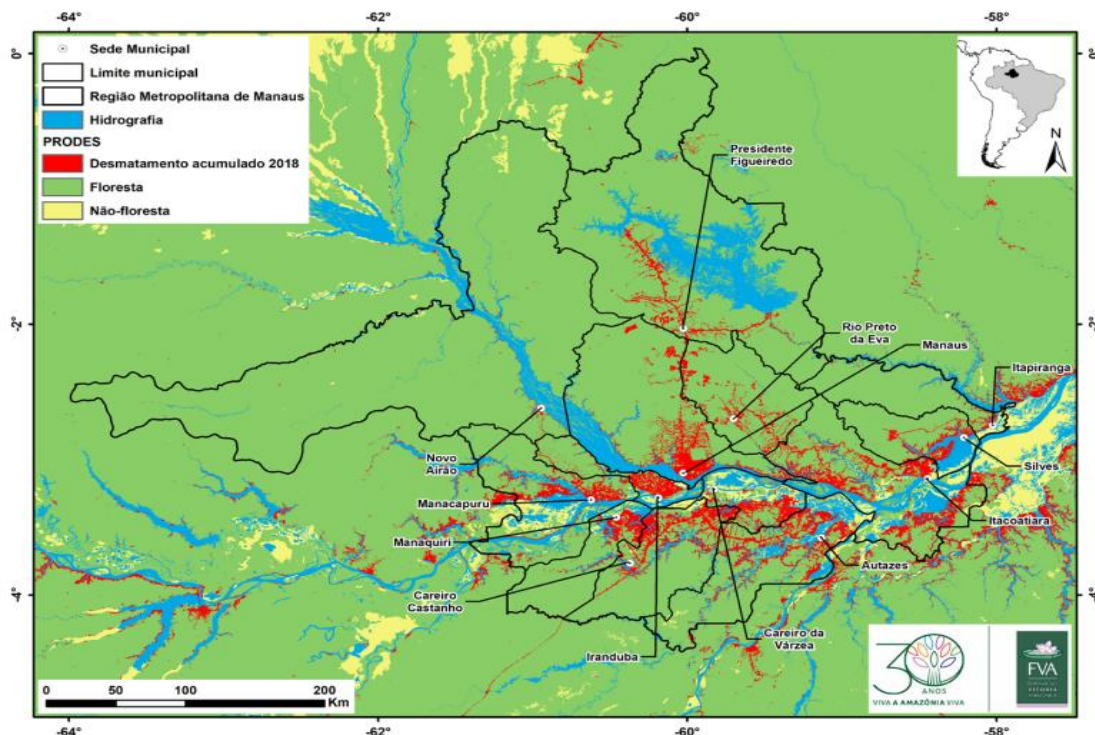


Figura 15 Região Metropolitana de Manaus: Urbanização x Desmatamento |

Fonte: FVA, 2020.

A nível metropolitano, Manaus está inserida em cenário de infraestrutura urbana marcado por desafios consideráveis, apesar das intervenções realizadas ao longo dos anos. A escassez de investimentos adequados em transporte, mobilidade e serviços básicos emerge como um obstáculo persistente, sobretudo nas áreas mais remotas e comunidades periféricas (OLIVEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019).

No contexto amazônico, a infraestrutura urbana é crucial para conectar áreas urbanas e rurais, impulsionando o desenvolvimento socioeconômico (SILVESTRINI, 2016). Estradas, pontes e transporte fluvial são essenciais para superar os desafios logísticos e garantir serviços básicos como saúde e educação. Em outras palavras, essa infraestrutura é fundamental para o bem-estar da população, além de atrair investimentos e impulsionar o crescimento econômico (SILVESTRINI, 2016). O transporte fluvial, em particular, é essencial devido à extensa rede hidrográfica da região, facilitando o acesso a áreas remotas e a distribuição de recursos.

Manaus depende fortemente da rede hidrográfica da Bacia Amazônica para o transporte de pessoas e mercadorias (Figura 17). Os rios Solimões e Amazonas são as principais rotas de navegação, conectando a cidade a outras regiões do Brasil e viabilizando o fluxo de bens e insumos, como alimentos, combustíveis e produtos da Zona Franca, que são enviados para grandes centros urbanos. O Rio Negro, maior afluente da margem esquerda do Amazonas, é outro curso de água crucial para o transporte de pessoas, abastecimento e movimentação de mercadorias em Manaus. Além disso, rios como o Madeira, Purus e Juruá são rotas fundamentais para o transporte de cargas provenientes do sul da Amazônia e para o acesso a áreas remotas, onde não existe infraestrutura rodoviária (SILVA & LIMA, 2019).



Figura 17 Rios do Estado do Amazonas | Fonte: Brasil 61, s.d.

As calhas dos rios são áreas geográficas que refletem a dinâmica das águas, com a capacidade de sofrer mudanças de curso e profundidade, influenciadas pelas estações do verão e inverno amazônico. Essas variações afetam diretamente o ciclo de chuvas na região, levando, por exemplo, à ocupação de planícies pelas águas durante os períodos de cheia (PORTAL AMAZÔNIA, 2024; Figura 18).

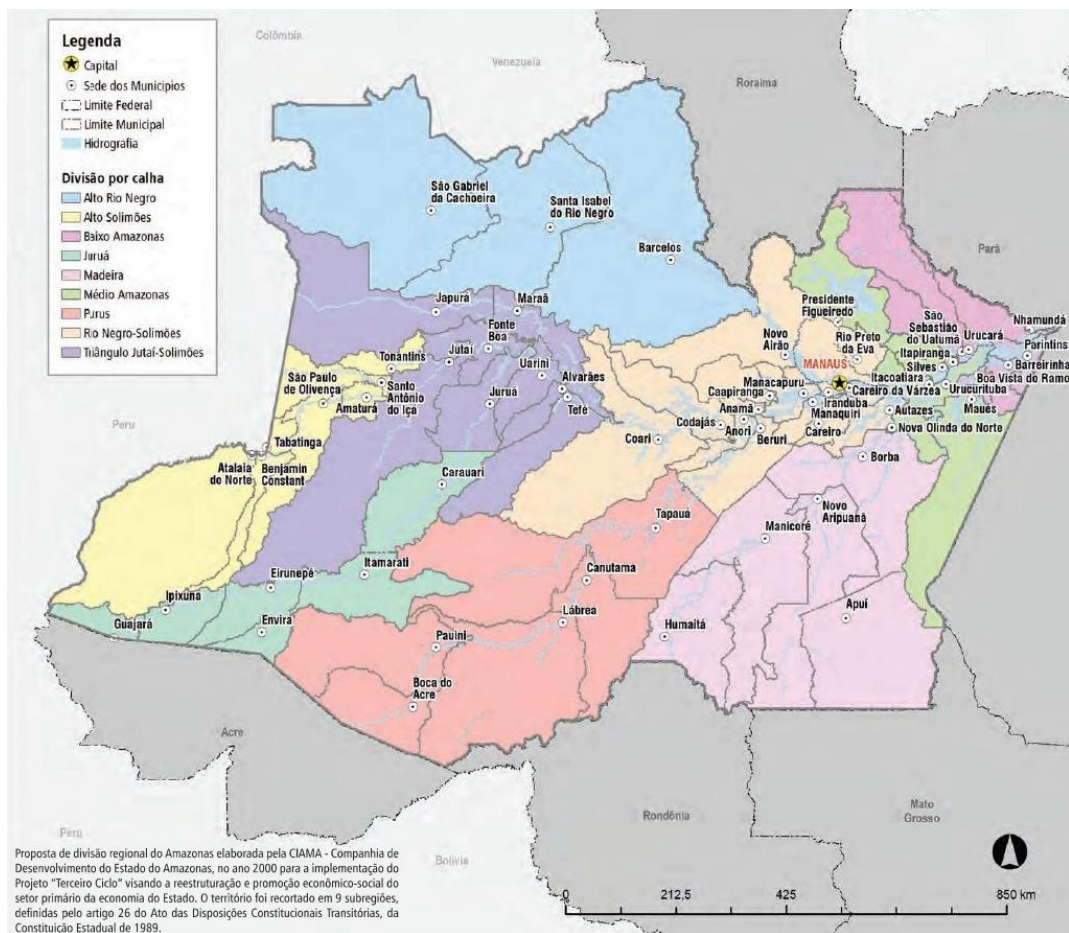


Figura 18 Divisão dos Municípios - Calhas dos rios | Fonte: SEDECTI, 2016.

As principais calhas do Amazonas e as regiões de municípios que cada uma abrange são:

- **Calha do Alto Rio Negro:** Abrange o noroeste do Amazonas, englobando os municípios de Santa Isabel do Rio Negro, São Gabriel da Cachoeira e Barcelos. Essa calha é caracterizada por suas águas escuras e biodiversidade única.
- **Calha do Juruá:** Compreende os municípios de Guajará, Ipixuna, Envira, Itamarati, Eirunepé e Carauari. A calha do Juruá é importante para o escoamento de produtos e o acesso a comunidades ribeirinhas.
- **Calha do Purus:** A calha mais ao sul do Amazonas inclui os municípios de Pauini, Lábrea, Tapauá, Beruri, Canutama e Boca do

Acre. Essa região é fundamental para o transporte de mercadorias e serviços nas áreas mais isoladas.

- **Calha do Alto Solimões:** Localizada à margem esquerda de Manaus, essa calha é uma das que abrange o maior número de municípios, incluindo Atalaia do Norte, Benjamin Constant, Tabatinga, São Paulo de Olivença, Amaturá, Santo Antônio do Içá e Tonantins.
- **Calha do Madeira:** Composta pelos municípios de Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã, Apuí, Borba e Nova Olinda do Norte, essa calha é essencial para o transporte fluvial e o escoamento de produtos da região.
- **Calha dos Rios Negro e Solimões:** Correspondente aos municípios da região metropolitana de Manaus, essa é a maior calha do estado e inclui Manaus, Iranduba, Novo Airão, Codajás, Anori, Anamá, Caapiranga, Manacapuru, Manaquiri, Careiro Castanho e Careiro da Várzea.
- **Calha do Baixo Amazonas:** Abrange as cidades de Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Nhamundá, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Parintins e Maués. Essa calha é conhecida por sua rica biodiversidade e pelos recursos hídricos que oferece.
- **Calha do Médio Amazonas:** Engloba municípios nos arredores da região metropolitana, como Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Autazes, Urucurituba e Itapiranga. A calha é vital para o abastecimento e transporte na região.
- **Calha do Triângulo:** Esta calha é um espaço geográfico onde as extremidades do 'triângulo' são os municípios de Jutai, Juruá e o Rio Solimões. Abriga os municípios de Japurá, Maraã, Fonte Boa, Jutai, Uarini, Alvarães, Juruá e Tefé.

As embarcações de carga que têm como destino a cidade de Manaus percorrem longos trajetos fluviais, frequentemente navegando pelos rios Solimões, Madeira, Negro e Amazonas, que oferecem as principais rotas de transporte. Partindo de portos como Porto Velho, Humaitá Belém, Santarém e Itacoatiara, essas embarcações transportam

uma vasta gama de mercadorias, incluindo combustíveis, alimentos e produtos industrializados, fundamentais para abastecer a capital amazonense e as regiões adjacentes. O trajeto inclui áreas de rios sujeitas à variação sazonal de profundidade, o que pode comprometer a navegabilidade em períodos de seca extrema. O escoamento de produtos enfrenta desafios como o assoreamento de trechos dos rios e a redução do calado, limitando o transporte de grandes embarcações (Silva & Santos, 2022).

O transporte entre portos de um mesmo país, conhecido como cabotagem, é uma modalidade essencial no Brasil, especialmente em regiões onde o transporte terrestre é limitado, como a Amazônia. As hidrovias que cortam a região tornam a cabotagem fundamental para o transporte de mercadorias entre os estados e a capital, Manaus. (ANTAQ, 2023; Figura 19).



Figura 19 Rota de Cabotagem | Fonte: O GLOBO, s.d.

Além de movimentar mercadorias, o transporte fluvial é o principal meio de conexão entre Manaus e milhares de comunidades ribeirinhas, muitas das quais estão isoladas da malha rodoviária. Essas comunidades dependem exclusivamente dos rios para ter acesso a serviços e produtos essenciais. Durante os períodos de cheia, as rotas fluviais se tornam ainda mais acessíveis, aumentando a eficiência do transporte. A navegação é realizada por uma ampla variedade de embarcações, desde pequenas canoas até grandes balsas que transportam cargas pesadas, como combustível, alimentos e equipamentos, para localidades distantes. (SANTOS & OLIVEIRA, 2021).

A dependência do transporte fluvial é tão intensa que a modernização dos portos e das rotas hidroviárias se torna indispensável para o desenvolvimento sustentável da região (SANTOS & OLIVEIRA, 2021). No entanto, a carência de infraestrutura adequada representa desafios significativos, impactando diretamente a mobilidade e o desenvolvimento regional. A falta de estradas, vias pavimentadas e outros meios de transporte eficientes cria barreiras que dificultam a interligação entre comunidades remotas e centros urbanos (SOUZA *et al.*, 2018). Essa situação é agravada pela vastidão geográfica da região e pela complexidade de seu ecossistema, evidenciando a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura para superar os desafios logísticos e promover uma conexão mais eficiente entre as diversas localidades (Figura 20).

A infraestrutura viária apresenta deficiências significativas, desde ruas, avenidas e rodovias estreitas e mal pavimentadas a ausência de drenagem urbana. Manaus está localizada em uma região baixa e alagadiça, com as chuvas fortes e frequentes os rios e igarapés transbordam, inundando ruas e casas, intensificando ainda mais problemas como congestionamentos frequentes e transporte de cargas pesadas (DENATRANS, 2020).

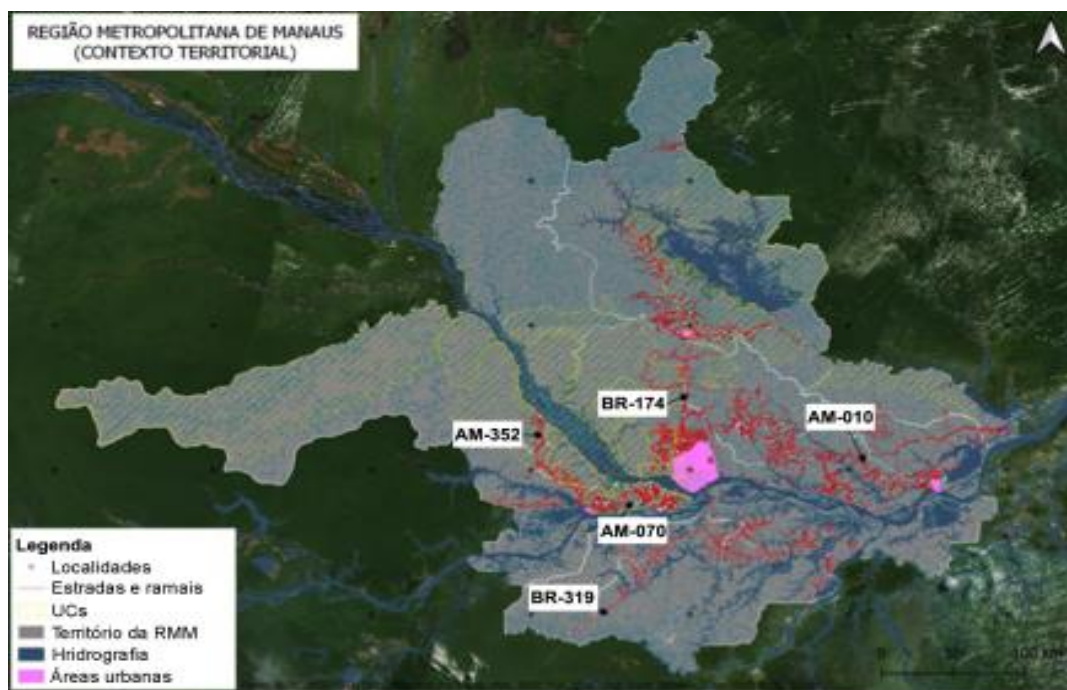


Figura 20 Contexto Territorial | Fonte: FVA, 2019.

O estado do Amazonas possui uma malha rodoviária reduzida (Figura 21), com cerca de 10 mil km de rodovias federais e estaduais, das quais apenas pouco mais de mil quilômetros são pavimentados. A duplicação da AM-070, com 84 km, é uma das poucas iniciativas recentes nesse sentido. Esse cenário reflete a baixa integração rodoviária, especialmente em regiões distantes (MONTEIRO *et al.*, 2020).

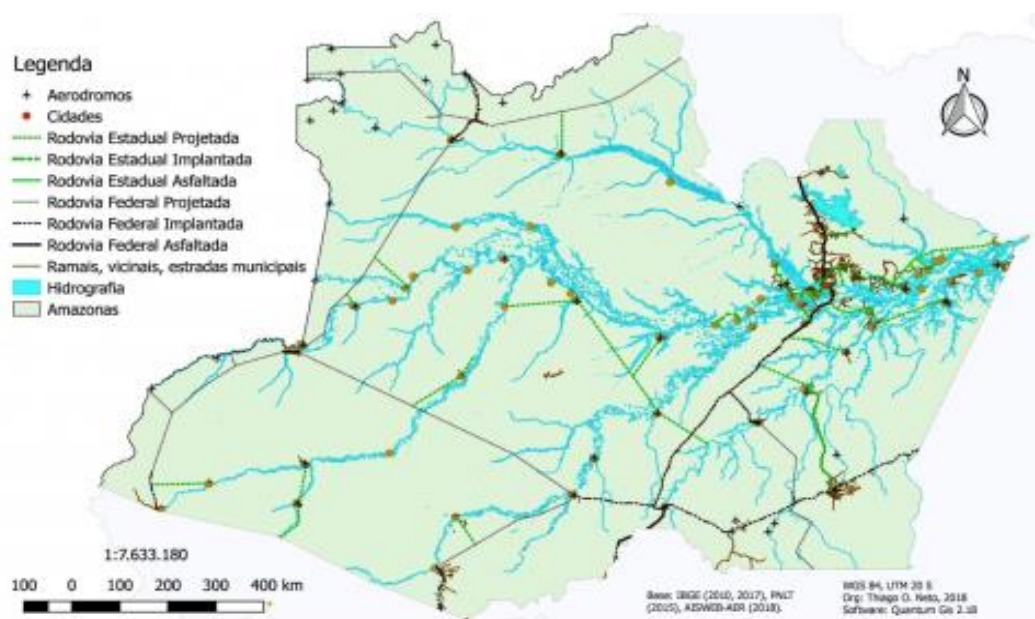


Figura 21 Rodovias no Amazonas | Fonte: Thiago Oliveira & Ricardo Nogueira, 2019.

A construção de rodovias na região foi impulsionada pelas políticas de integração territorial a partir da década de 1960, acompanhando o processo nacional iniciado pelo governo de Juscelino Kubitschek. Rodovias como AM-010, BR-319 e BR-174 foram construídas para facilitar a ocupação de terras firmes e reduzir a dependência do transporte fluvial (SILVA & PEREIRA, 2021).

A carência de integração entre os modais de transporte rodoviário, fluvial e aéreo compromete a eficiência logística, onerando o escoamento da produção e o abastecimento da cidade. (SOUZA & ALMEIDA, 2022). O “isolamento rodoviário” do estado do Amazonas agrava o acesso por terra, provocando externalidades negativas (Figura 22). Caminhões trafegam por vias inadequadas, congestionando as ruas e lançando poluentes no ar, enquanto o transporte fluvial, apesar de seu potencial, é subutilizado. (SEDECTI, 2019).

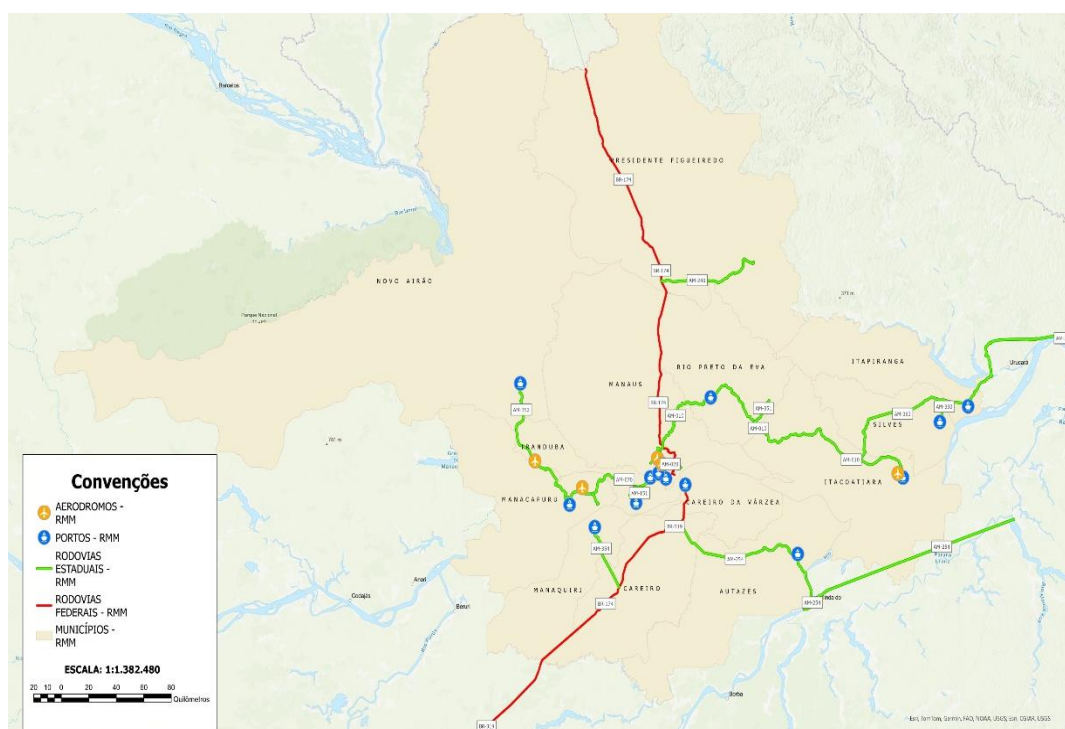


Figura 22 Infraestrutura de Transportes – Região Metropolitana de Manaus | Fonte: Pedro Paiva, 2024.

As consequências dessa ineficiência logística são sentidas diretamente pela população (SANTOS & PEREIRA, 2021). O alto custo do frete impacta o preço dos produtos, dificultando o acesso a itens básicos,

como alimentos e combustíveis. A falta de abastecimento gera filas e desabastecimento, frustrando consumidores e prejudicando o comércio local (FIEAM, 2018).

A BR-319, rodovia que liga Manaus a Porto Velho (DNIT, 2024), prometia integração para a Amazônia, mas a falta de manutenção a deixou em condições precárias. Apesar das dificuldades de tráfego em grande parte de seu percurso, a BR-319 continua a ser um importante eixo de integração regional e um potencial catalisador para o desenvolvimento logístico de Manaus (COSTA, 2020).

O debate em torno da BR-319 gira em torno de seus benefícios e impactos. Defensores da obra argumentam que a rodovia trará desenvolvimento econômico para a região, facilitando o escoamento da produção local, reduzindo custos logísticos e abrindo novos mercados consumidores (SANTOS JUNIOR, YANAI & SOUSA JUNIOR, 2018). Além disso, a BR-319 poderia impulsionar o turismo e a geração de renda para as comunidades locais, criando oportunidades de emprego e melhorando a infraestrutura regional. Em seu estado atual, dificultando o acesso a serviços básicos e o escoamento da produção, favorece o desmatamento para transporte fluvial e facilita atividades ilegais (COSTA, 2020).

Consequências Socioeconômicos e Logísticos

A vastidão da Amazônia, com suas longas distâncias entre os centros urbanos, impõe um obstáculo natural à conectividade regional, enquanto a falta de infraestrutura nos setores de transporte reflete um ambiente desfavorável para a eficiência dos fluxos regionais (OLINEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019). Apesar dos investimentos governamentais visarem à geração de riqueza, muitas vezes não conseguem atender plenamente às necessidades locais (OLINEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019).

As longas distâncias entre as cidades amazônicas dificultam a conexão entre as diferentes regiões, elevando custos logísticos e restringindo os fluxos comerciais e sociais. Essa realidade impacta

diretamente o desenvolvimento socioeconômico da região, limitando o acesso a mercados, oportunidades de trabalho e serviços básicos para as populações locais (SILVESTRINI, 2016).

Manaus é uma das cidades mais isoladas logisticamente do Brasil. Situada no coração da Floresta Amazônica, cercada por rios extensos e densas áreas florestais, geografia complexa para a construção e manutenção de rodovias. A escassez de estradas pavimentadas, a precariedade dos sistemas de transporte fluvial e a infraestrutura portuária ineficiente configuram um obstáculo à fluidez do transporte de mercadorias, elevando custos e dificultando o escoamento da produção local.

O isolamento logístico tem várias implicações. Primeiramente, ele aumenta o custo dos produtos na cidade. Como a maioria das mercadorias precisa ser transportada por via fluvial ou aérea, os custos de transporte são elevados, resultando em preços mais altos para os consumidores. Além disso, o isolamento dificulta o desenvolvimento industrial e econômico. A ZFM, que é uma importante área de incentivo fiscal, depende de uma logística eficiente para atrair e manter indústrias. As dificuldades no transporte terrestre limitam a competitividade das empresas instaladas na região, que enfrentam maiores desafios para escoar sua produção. (OLIVEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019).



Figura 23 Comunidades Ribeirinhas na RMM | Fonte: IBGE & SEMED, 2022.

O distanciamento de comunidades devido à infraestrutura deficiente tem impactos sociais e econômicos significativos, desde a supressão de acesso a serviços básicos, como saúde e educação, a dificuldade de mobilidade, impedindo o pleno aproveitamento de oportunidades econômicas, limitando o acesso a mercados e investimentos para a região (OLIVEIRA NETO & NOGUEIRA, 2019; Figura 23).

O AR6 do IPCC destaca uma série de desafios críticos enfrentados pelas Américas Central e do Sul em relação a cidades, assentamentos e infraestrutura. A análise revela dados substanciais, destacando que a presença marcante de desigualdade, pobreza e informalidade representa um obstáculo significativo para o desenvolvimento sustentável na sub-região. A falta de planejamento urbano adequado e a rápida urbanização contribuem para a expansão de assentamentos informais, onde a ausência de serviços básicos como saneamento, água potável e eletricidade agrava a vulnerabilidade das populações (IPCC, 2023).

A sub-região NSA, sendo a segunda mais urbanizada, depara-se com obstáculos significativos relacionados a infraestruturas deficientes e distribuições desiguais desses recursos essenciais. As cidades estão particularmente expostas a riscos climáticos, como inundações e deslizamentos de terra, devido à localização geográfica e à inadequação das infraestruturas existentes (IPCC, 2023). Além disso, as disparidades socioeconômicas exacerbam os impactos das mudanças climáticas, com comunidades mais pobres sendo desproporcionalmente afetadas.

Essa condição destaca, ainda mais, a necessidade de investimentos em infraestrutura urbana para garantir acesso equitativo a serviços básicos, como saúde, educação e transporte público. Tais investimentos são cruciais não apenas para melhorar a qualidade de vida, mas também para aumentar a resiliência das cidades às mudanças climáticas. A implementação de políticas de desenvolvimento sustentável, com ênfase na inclusão social e na redução das desigualdades, é essencial para reduzir os desafios apontados pelo relatório do IPCC (IPCC, 2023).

5. Secas Extremas: Efeitos e Desafios na Logística Urbana Manauara

5.1 Histórico da Seca

O Rio Amazonas detém o título de maior rio do mundo em volume de água transportada, todavia o mesmo é submisso a mudança climática, vivenciando períodos de seca que marcam a história e impactam severamente a região. Desde a primeira seca documentada em 1916, que afetou principalmente o Rio Negro, até a severa seca de 2023, considerada a mais grave em 121 anos, esses eventos evidenciam a complexa relação entre o rio e as mudanças climáticas, expondo a vulnerabilidade da região à escassez hídrica MARENGO *et. al.*, 2011). Durante esses eventos, cidades enfrentam racionamento de água, a navegação fluvial ficou comprometida e a economia local sofreu um duro golpe (NOBRE *et. al.*, 2016).

O Rio Negro possui um papel preponderante crucial na dinâmica do Rio Amazonas, se configurando como um elemento vital para o equilíbrio ecológico e socioeconômico da região. Com uma extensão de aproximadamente 2.250 km, o ele é conhecido por suas águas escuras, resultantes da decomposição de matéria orgânica e alta concentração de ácidos húmicos, lhe concedendo uma identidade única e influencia significativamente o ecossistema da região.

A redução da vazão do Rio Negro impacta diretamente a navegabilidade, dificultando o transporte de pessoas e bens na capital Manaus, além de afetar a captação de água para consumo humano e irrigação (MARENGO *et. al.*, 2008). As comunidades ribeirinhas, que dependem dos recursos do rio para sua sobrevivência, são as mais vulneráveis aos efeitos da seca (TOMASELLA *et. al.*, 2010). A diminuição da pesca e a dificuldade de acesso à água potável colocam em risco a segurança alimentar e o bem-estar dessas populações (ARAGÃO *et. al.*, 2018). Entre as dez maiores secas documentadas estão as de 1916, 1926,

1936, 1958, 1963, 1997, 1998, 2005, 2010 e 2023 (Figura 24; Porto de Manaus, 2023).

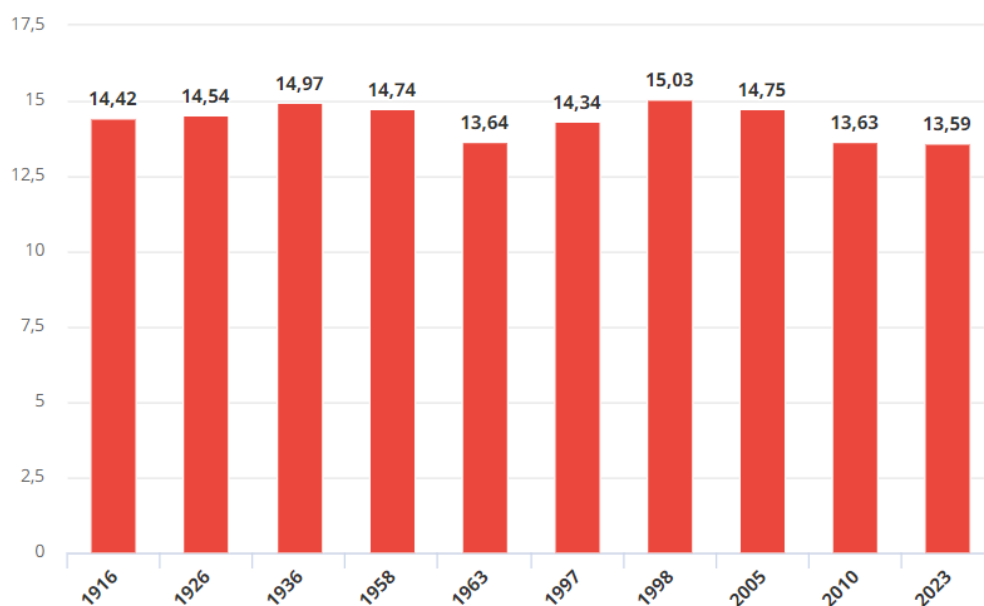


Figura 24 10 maiores secas do Rio Negro | Fonte: Porto de Manaus, 2023.

Segundo dados do INPE e do Porto de Manaus, o nível das águas do Rio Negro atingiu os menores registros históricos em 2023, exacerbando a escassez hídrica e impactando diretamente as comunidades ribeirinhas (INPE, 2023). Dados do Sistema Geológico do Brasil (2023) mostram as variações dentro dos anos hidrológicos (o comportamento do rio em 12 meses) com informações de toda série histórica para cada rio. O recorde anual é batido no dia em que a medição demonstra o menor nível já registrado, o mês de setembro (Figura 25).

O fenômeno *El Niño*, combinado ao aquecimento do Atlântico Tropical Norte, resultou em um impacto significativo em Manaus e em várias outras regiões do Brasil, contribuindo para uma redução significativa das chuvas, exacerbando a seca já severa que a região enfrentava (INMET, 2023). A diminuição das precipitações agravou a crise hídrica, afetando diretamente o nível dos rios e a disponibilidade de água para consumo humano e atividades econômicas.

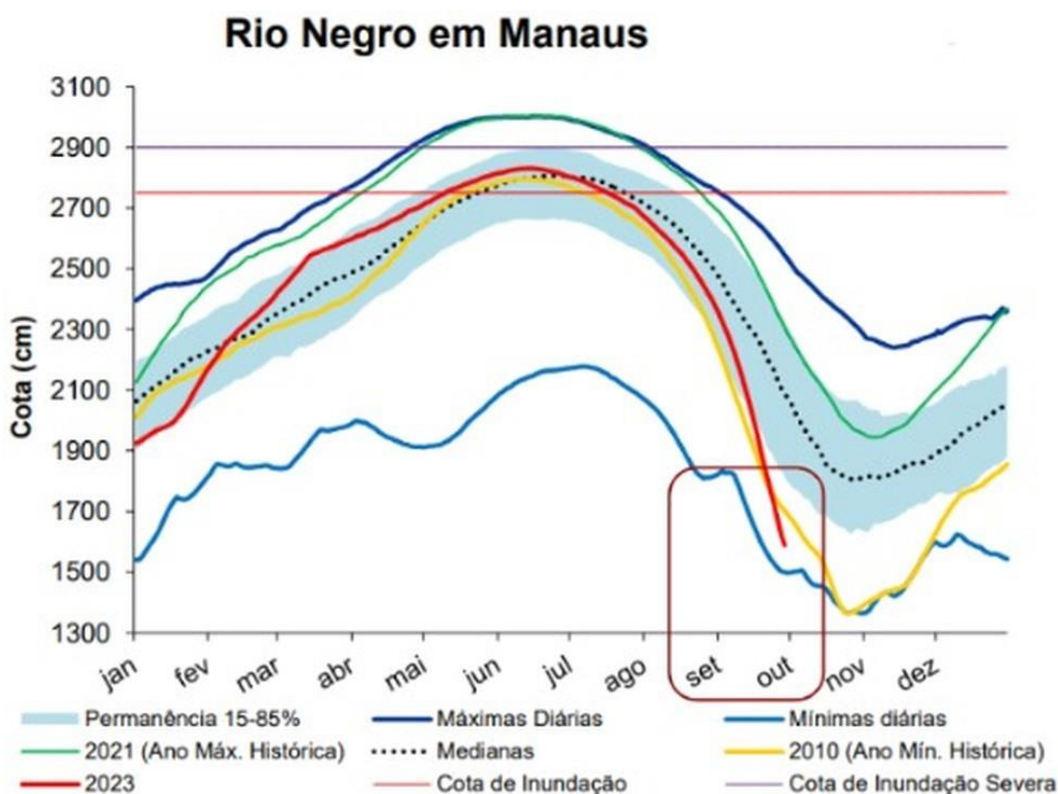


Figura 25 Série histórica de nível de vazão (volume) no rio Negro | Sistema Geológico do Brasil, 2023.

O Rio Madeira, em continuidade com a dinâmica do Rio Negro, tem papel fundamental na logística e transporte fluvial da Amazônia. Suas águas barrentas carregam grandes quantidades de sedimentos que, ao se encontrarem com o Rio Negro, influenciam tanto a ecologia quanto a navegabilidade da região. Essa interação é fundamental para o escoamento de mercadorias em direção a Manaus, mas enfrenta sérios desafios durante os períodos de seca (FREITAS, 2020).

A redução do volume de água no Rio Madeira (Figura 26), aliada ao acúmulo de sedimentos em sua foz, diminui o calado e inviabiliza a navegação de grandes embarcações até Manaus. Além disso, o desmatamento nas margens da Madeira e as mudanças climáticas intensificam a deposição sedimentar, dificultando o transporte fluvial e impactando a economia local, especialmente no escoamento de produtos da Zona Franca e no abastecimento de combustíveis e alimentos (SILVA & SANTOS, 2019).

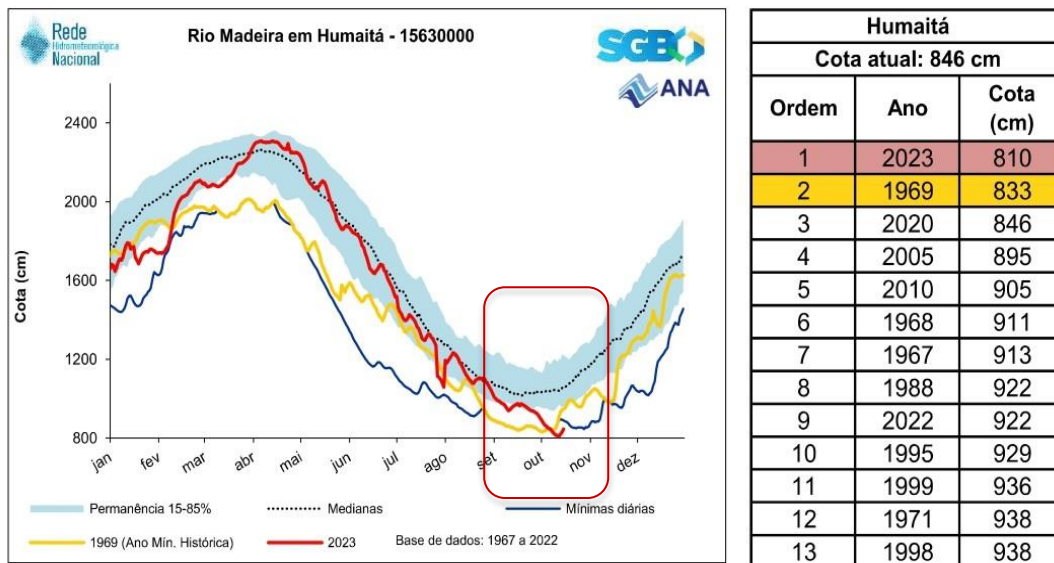


Figura 26 Série histórica de nível de vazão (volume) no rio Madeira| Sistema Geológico do Brasil, 2023.

Os impactos da seca de 2023 foram amplamente sentidos na economia local e na biodiversidade. A navegação fluvial, essencial para o transporte de mercadorias e pessoas na região, foi severamente comprometida, resultando em dificuldades logísticas e aumento dos preços de produtos básicos (G1, 2023; Figura 27).

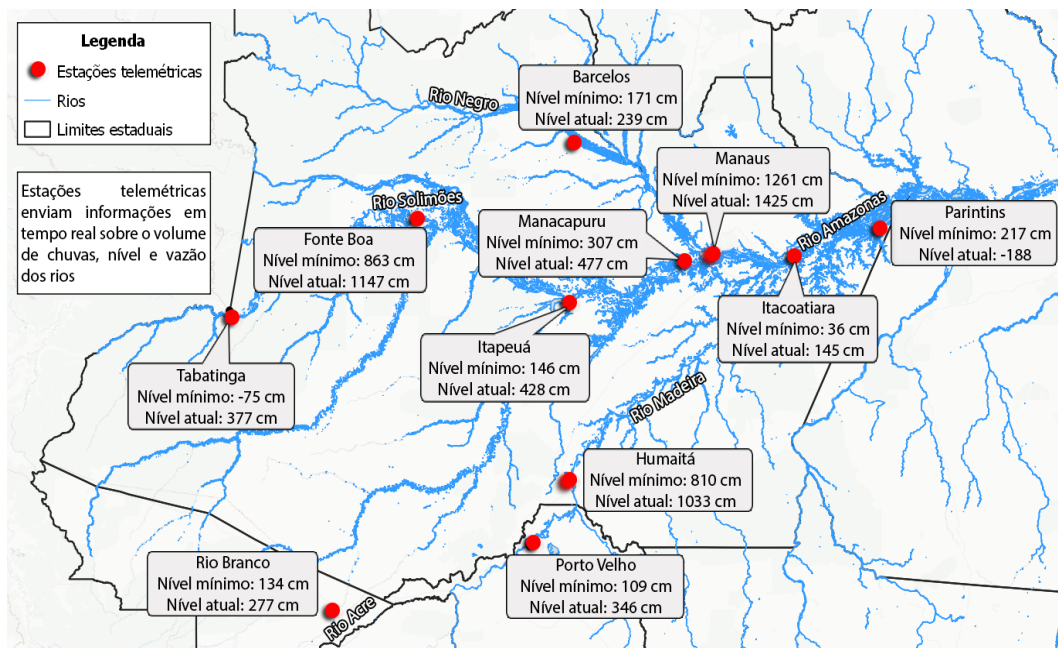


Figura 27 Bacias do Rio Amazonas e o Impacto da Seca Extrema | ANA 2023.

Bacias do rio Amazonas, incluindo a Bacia do Rio Negro, a Bacia do Solimões e a Bacia do Madeira, enfrentaram condições críticas, resultando em um impacto na escassez de água que afetou cerca de 40% da população de Manaus, ou aproximadamente 300 mil pessoas. No estado do Amazonas, essa porcentagem aumentou para cerca de 25% da população total (SOUZA et al., 2023).

Comunidades ribeirinhas próximas à capital, como Nossa Senhora de Fátima, Santo Antônio, entre outras, que dependem da navegação fluvial para acessar suprimentos e serviços, foram especialmente afetadas, enfrentando dificuldades na entrega de alimentos e medicamentos, além de ficarem isoladas e sem água. A taxa de habitabilidade nas áreas mais afetadas caiu para 70%, evidenciando a precariedade das condições de vida e o acesso limitado a serviços essenciais, como abastecimento de água e transporte (SOUZA et al., 2023).

A Praia da Ponta Negra, um dos principais pontos turísticos de Manaus, teve suas atividades suspensas devido à seca. A diminuição dos níveis do rio expôs grandes áreas da praia, comprometendo a infraestrutura e tornando o local inseguro para visitantes. Além disso, a presença de *cauxis*, formações de areia que surgem com a baixa do nível, contribuiu para problemas na qualidade da água para banho, tornando o espaço inadequado para recreação, limitando o acesso da população a áreas de lazer (SOUZA et al., 2023).

Ambientalmente, a seca afetou drasticamente os ecossistemas aquáticos, causando mortalidade em massa de peixes e outras espécies aquáticas, e comprometendo a reprodução de muitas espécies dependentes dos ciclos de inundação (ARAGÃO et. al., 2023). A gravidade do evento climático extremo de 2023 destacou a vulnerabilidade da região amazônica a mudança climática (Figura 28) e a necessidade urgente de medidas de adaptação e mitigação para enfrentar futuros eventos extremos.



Figura 28 Marina do Davi e os reflexos da seca | Fonte: Matheus Castro/G1, 2023.

No contexto nacional, o fenômeno *El Niño* em 2023 provocou uma série de eventos climáticos extremos em diversas regiões do Brasil. Enquanto a região amazônica sofreu com uma seca intensa, o Sul do país registrou chuvas excessivas, levando a inundações e deslizamentos de terra (ANA, 2023). Os rios estabelecem uma complexa rede interligada, onde a baixa vazão recorde pode exercer influência nos cursos de água de outras regiões. Esses cursos de água se entrelaçam formando ramificações que gradualmente se unem.

Assim, quando uma região enfrenta períodos de seca, essas ramificações também sofrem impactos progressivos. Este fenômeno explica a propagação dos efeitos adversos ao longo do mapa geográfico (Figura 29), demonstrando a interconexão dos sistemas fluviais e sua vulnerabilidade compartilhada diante das condições climáticas extremas (CEMADEN, 2023).

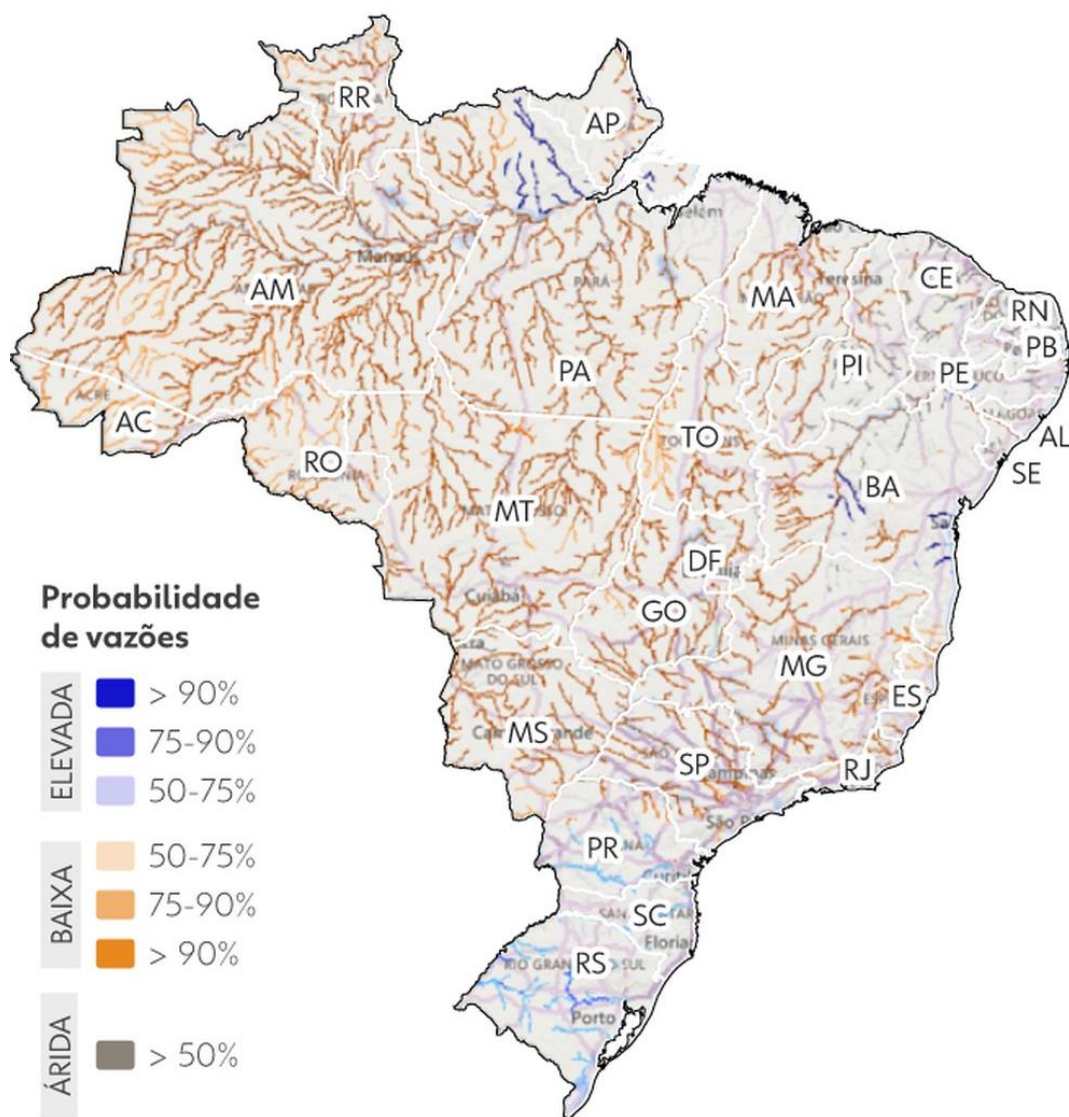


Figura 29 Previsão de Impacto nos rios com a estiagem | Fonte: GloFAS, 2023.

O impacto no volume dos rios durante uma seca extrema não se resolve em um ano. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2023), além do volume de chuva suficiente, é fundamental um período aproximado de quatro anos para que os rios absorvam a água necessária e recuperem seu nível normal.

Em 2021, o rio Negro atingiu a cota de 30,02 metros, recorde histórico em 119 anos de medição no Porto de Manaus, resultado do volume de chuvas relacionado ao fenômeno *La Niña* na Amazônia Ocidental. Um ano depois, o nível alcançou 29,75 metros, sendo a quarta

maior cheia já registrada, sétimo recorde nos últimos 15 anos. Todavia, mesmo após períodos de enchente, a seca pode se desenvolver rapidamente devido à falta prolongada de precipitação. A água das enchentes nem sempre é eficientemente absorvida pelo solo ou recarrega os aquíferos de maneira sustentável. A capacidade dos solos e dos sistemas de aquíferos de armazenar água varia, e a água de enchente pode escoar rapidamente sem contribuir significativamente para as reservas hídricas a longo prazo.

A intensidade e os impactos significativos deste evento destacam a vulnerabilidade do Brasil às mudanças climáticas extremas. Essa realidade sublinha a urgência de políticas públicas eficazes para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, com foco na gestão sustentável dos recursos hídricos, infraestruturas urbanas resilientes e no apoio às comunidades mais impactadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2023). Reforçar a resiliência climática é essencial não apenas para minimizar os danos futuros, mas também para garantir a sustentabilidade ambiental e econômica do país a longo prazo.

5.2 Efeitos e Desafios na Logística Urbana

A capital do estado do Amazonas abriga o segundo maior porto nacional em movimentação de contêineres da cabotagem, tendo uma importância vital na economia local e na região Norte do Brasil (TROMPOWAKY, 2023). Por meio da Zona Franca, Manaus sedia diversas indústrias, incluindo as de eletrônicos, motocicletas e produtos químicos, e depende significativamente de um sistema logístico eficiente para garantir o abastecimento de matérias-primas e o escoamento de produtos acabados para o restante do Brasil e para exportação.

O Porto de Manaus é um *hub* estratégico não apenas para a cabotagem, mas também para o transporte fluvial na Amazônia. A posição geográfica privilegiada permite a conexão com os principais rios da bacia amazônica, facilitando o transporte de mercadorias para estados como Pará, Rondônia e Acre, além de servir como ponto de distribuição para

outras regiões do país (TROMPOWAKY, 2023). A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), registrou de janeiro a agosto de 2023 um movimento de cerca de 22 milhões de toneladas no transporte de mercadorias através de vias fluviais na bacia hidrográfica de Manaus, consolidando-se como uma das mais importantes do Brasil.

Monitoramentos por satélite dos principais portos do mundo, disponibilizados pelo PortWatch, evidenciaram a interrupção do fluxo marítimo no Porto de Manaus durante a seca que afetou a bacia amazônica em 2023 (Figura 30). Entre 8 de outubro e 26 de novembro, foi registrado apenas um navio no porto, em contraste com as 18 embarcações que passaram no mesmo período do ano anterior.

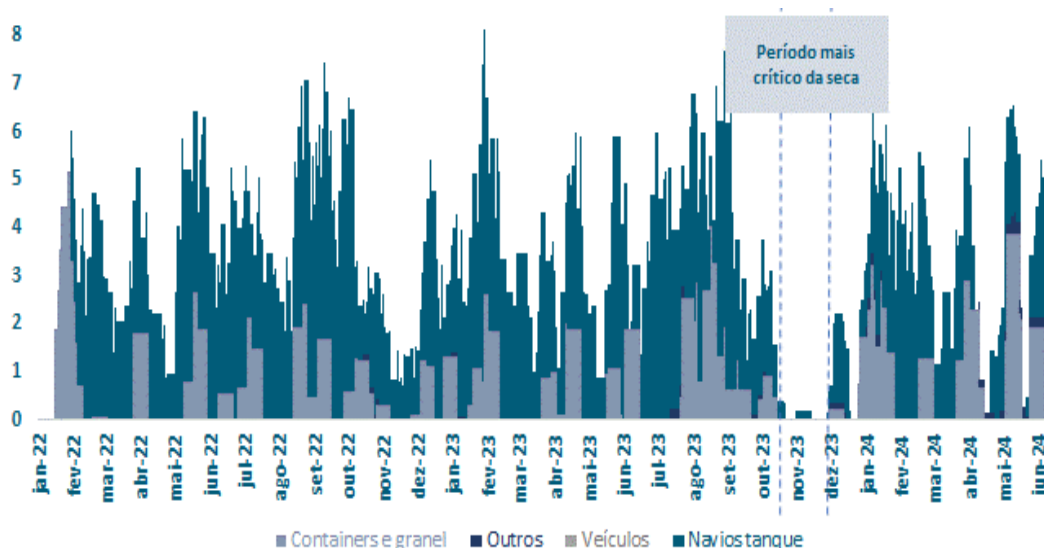


Figura 30 Gráfico de Importações - Porto de Manaus | Fonte: PortWatch, 2023.

A figura 31 indica que o impacto foi mais acentuado nos meses de outubro e novembro, evidenciando um número elevado de dias de navegação interrompidos. Em outubro, observam-se a maior queda histórica do índice dessazonalizado de quantum em relação ao mês anterior, alcançando uma redução de 53%, evidenciando a severidade da situação. A normalização das condições hídricas foi registrada apenas em meados de dezembro, permitindo a retomada da navegação (SOUZA et al., 2023)

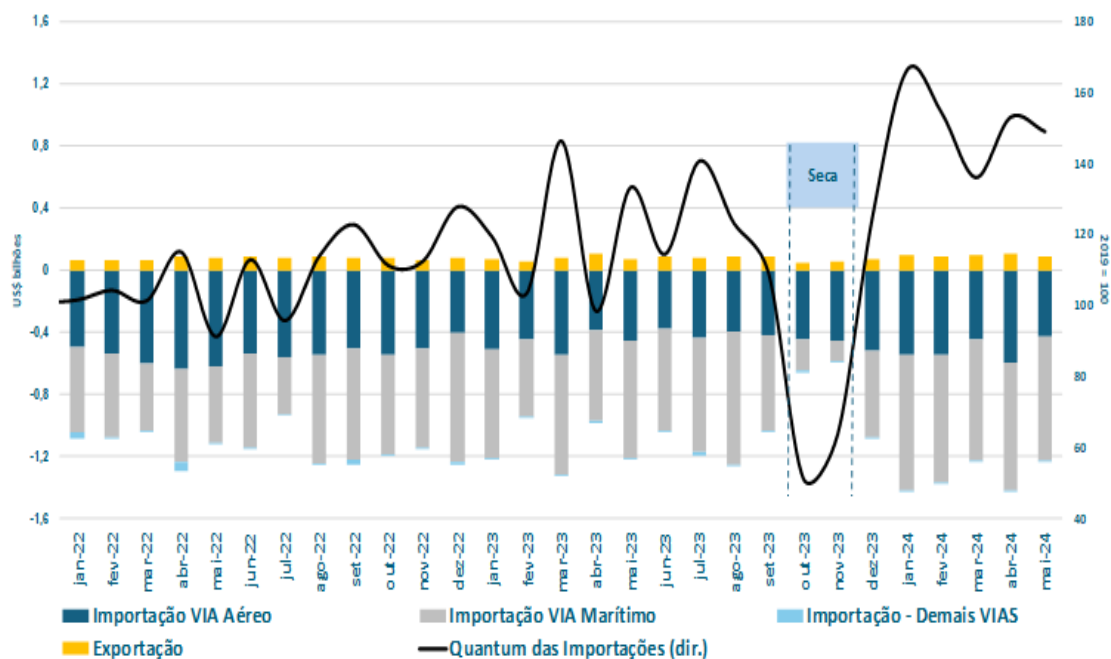


Figura 31 Balança Comercial e índice de quantum de importações do AM | Fonte: Banco Central do Brasil, 2023.

O impacto mais significativo ocorreu nos itens classificados como bens intermediários (BI), que são produtos usados na fabricação de outros bens. O estado do Amazonas desempenha um papel crucial nesse contexto, sendo responsável pela internalização de 7,1% dos produtos dessa categoria no Brasil, em comparação com uma participação de 5,2% no valor total importado em 2022 (TROMPOWAKY, 2023).

Além do Porto de Manaus, existem outros portos, públicos e privados, como o Porto Chibatão e o Porto da Ponta Negra, que são fundamentais para a movimentação de cargas e passageiros (Figura XX; MOURA et al., 2023). Os portos públicos garantem o escoamento de produtos em grande escala e contribuem para a integração logística com outras partes do país. Por outro lado, os terminais privados desempenham um papel essencial na logística das empresas locais, facilitando o transporte de insumos e mercadorias, especialmente para os bairros e zonas mais próximos à área portuária. A interdependência entre os portos e as zonas urbanas é vital para a dinâmica econômica de Manaus, assegurando a fluidez no comércio e no abastecimento das comunidades circunvizinha (MOURA et al., 2023; Figura 32).

Cerca de 300 mil pessoas foram impactadas pela seca de 2023. Bairros como Educandos, Centro e São Jorge, situados próximos aos rios, enfrentaram danos significativos, com a falta de água comprometendo a operação dos portos e a navegação fluvial. Isso resultou em atrasos na entrega de mercadorias e um aumento de até 25% nos custos logísticos. A região do Puraquequara também enfrentou desafios consideráveis. A Praia da Ponta Negra, um conhecido destino turístico, teve sua faixa de areia reduzida em até 40 metros, limitando o acesso de moradores e visitantes. Aproximadamente 150 mil pessoas, incluindo residentes de áreas vizinhas sofreram as consequências da crise hídrica, que afetou o abastecimento de água e o acesso a serviços essenciais (SOUZA et al., 2023).

Figura 32 Zoneamento de Manaus - Portos Públicos e Privados | Pedro Paiva, 2024.

forçadas a buscar alternativas como o transporte rodoviário (MELO et. al., 2021).

No entanto, devido a infraestrutura de transporte terrestre comprometida e à ausência de rodovias que conectem a capital e outras cidades do estado com o restante do Brasil, esta alternativa se torna mais caras e menos eficientes, evidenciando a dependência sobre o transporte fluvial, o qual está totalmente condicionado às variáveis climáticas (AGÊNCIA BRASIL, 2021).

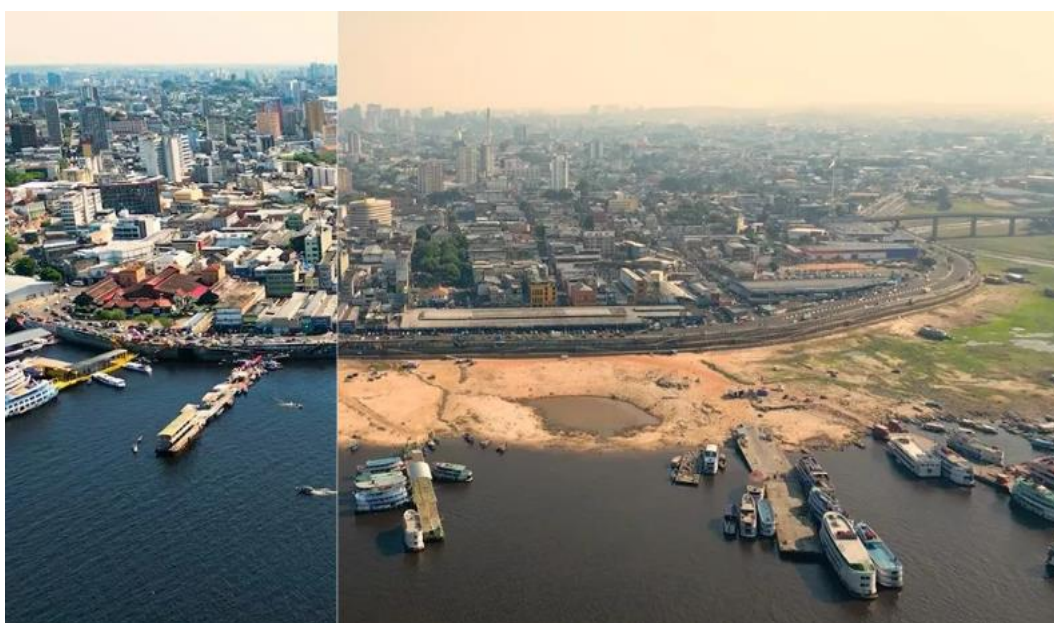


Figura 33 Comparativo Seca 2023 – Porto de Manaus | Fonte: Thiago Oliver/G1, 2023.

Durante o período de estiagem, a baixa profundidade dos rios limita o calado e dificulta a navegação de embarcações de grande porte, afetando a capacidade de suprimento e gerando um grande risco de desabastecimento na região. Isso compromete tanto a disponibilidade de insumos básicos, como alimentos e itens de higiene e limpeza, quanto de materiais necessários para a produção no Polo Industrial de Manaus (PIM) (Figura 34). Em 2022, a seca causou uma redução de até 50% na capacidade de navegação. No ano seguinte, segundo o Comex Stat, as importações por via aquaviária diminuíram aproximadamente 83%, excluindo produtos como grãos, hidrocarbonetos e outros que não estão

ligados à cadeia de insumos industriais para a ZFM. (PORTAL AMAZÔNIA, 2023).



Figura 34 Régua do Rio Negro durante a cheia histórica e régua durante a seca histórica | Fonte: Leandro Guedes e Carolina França/ G1, 2023.

Além disto, com a redução da capacidade de transporte fluvial, as empresas enfrentam custos mais elevados para o transporte de mercadorias, o que gera prejuízos de competitividade e riscos de desabastecimento de insumos básicos e industriais. O PIM deixou de importar o equivalente a US\$1 bilhão em insumos entre outubro e novembro de 2023, uma redução de aproximadamente 82% em relação ao patamar importado em setembro do mesmo ano (PIM, 2023).

A suspensão da navegação de grandes embarcações causou uma redução na arrecadação tributária do estado, resultando em perdas acumuladas de R\$253 milhões na arrecadação de ICMS e R\$23 milhões na arrecadação de Imposto de Importação. Além disso, a produção industrial no Amazonas sofreu quedas significativas, com uma redução de

5,7% em outubro em comparação com 2022 e de 4,2% em novembro em relação a outubro, conforme dados do IBGE.

Em 2023, as mais prejudicadas foram as empresas do setor de construção civil, com algumas indústrias deixando de atender a região do Amazonas no período da seca. A baixa nos níveis dos rios impediu a navegação de grandes embarcações, comprometendo a chegada de materiais essenciais como cimento, areia e aço (CBIC) (BLUMANAUS CONSTRUÇÃO, 2023). Essa situação gerou um aumento nos preços dos insumos, pressionando os custos das obras e resultando em atrasos significativos em diversas obras, desde projetos residenciais até grandes empreendimentos comerciais (CBIC, 2023).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2023) destacou que o desabastecimento e a alta nos preços dos insumos resultaram em uma retração no nível de atividades e de empregos no setor. A confiança dos empresários caiu, afetando negativamente as expectativas para novos empreendimentos e serviços. Mesmo assim, a Utilização da Capacidade Operacional (UCO) se manteve relativamente alta, sugerindo que as empresas continuaram operando perto do limite de suas capacidades, apesar das dificuldades (CBIC, 2023).

O PIB de Manaus foi estimado em R\$ 179,3 bilhões (2023) um crescimento de apenas 0,82% em relação ao ano anterior, que registrou R\$ 174,1 bilhões. Essa pequena elevação foi impactada, em grande parte, pela seca histórica que afetou a logística de transporte, especialmente no PIM, além de outros fatores como mudanças nos hábitos de consumo e a retração no setor (A CRITICA, 2023).

A seca extrema de 2023 trouxe prejuízos significativos ao comércio e à indústria de Manaus, com os níveis dos rios da Amazônia, incluindo o Rio Madeira, atingindo marcas críticas (SILVA, 2023). O transporte fluvial tornou-se dependente de intervenções como a dragagem devido à combinação da baixa profundidade do rio e o acúmulo de sedimentos, durante a seca. (SOUZA, 2022).

Além de prejudicar o transporte de mercadorias, uma situação afetou profundamente as comunidades ribeirinhas, que depende dos rios tanto para locomoção quanto para sustento (Figura 35). O escoamento de produtos foi comprometido, e a navegação tornou-se ainda mais difícil, comparado a 2022, quando os impactos hídricos foram menos intensos. Mesmo com essas adversidades, o PIM registrou um crescimento modesto no emprego, com aumento de 1,17% no número de trabalhadores (A CRÍTICA, 2023).

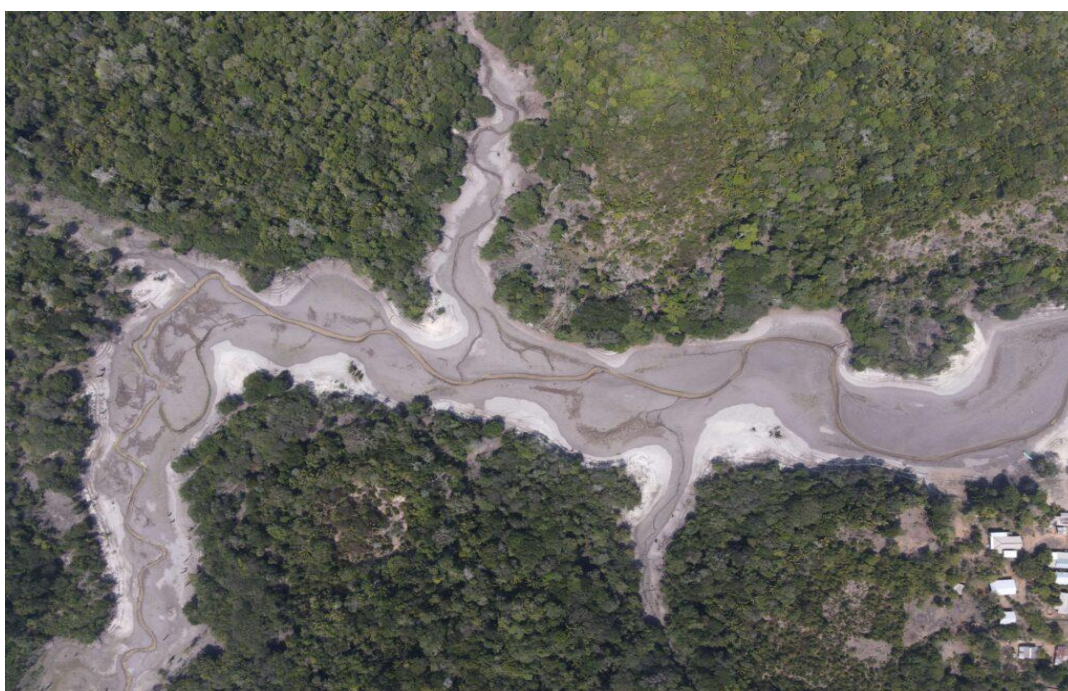


Figura 35 Arquipélago de Anavilhanas e comunidade Timbira | Fonte: ISTO É, 2023.

Para reduzir os impactos econômicos e logísticos (Tabela 1) causados por eventos climáticos extremos, diversas empresas têm buscado alternativas como a diversificação de fornecedores e o aumento do uso de materiais locais. Segundo Silva e Pereira (2022), essas estratégias, apesar de úteis, são paliativas e não abordam a raiz do problema estrutural relacionado ao transporte e à logística na região.

A situação enfrentada em 2023 evidenciou a fragilidade da infraestrutura logística e a vulnerabilidade dos setores econômicos diante de eventos climáticos extremos (Tabela 1). Estudos de Costa e Ribeiro

(2023) destacam que a ausência de políticas públicas robustas agrava o problema, pois a infraestrutura existente não é suficiente para atender às demandas geradas por tais eventos. A falta de modais de transporte alternativos intensifica os desafios logísticos urbanos. Em períodos de seca severa, a ausência de opções como o transporte ferroviário ou aéreo faz com que a dependência do transporte rodoviário aumente, acelerando o desgaste das estradas (JOSHI & SMITH, 2021; BROWN & WILSON, 2019).

Tabela 1 Resumo de Impactos gerados em 2023

IMPACTO DA SECA NA ECONOMIA DO AMAZONAS	
ZONA FRANCA DE MANAUS	Interrompeu a navegação de grandes navios no Rio Negro, o que afetou a cadeia de suprimento da zona franca de Manaus. O Ciem, entidade que representa a indústria do Amazonas, estimou prejuízo de R\$ 1,4 bilhão em 2023, devido a gastos adicionais com transporte.
COMUNIDADES RIBEIRINHAS	Pejudicou as comunidades ribeirinhas, que dependem dos rios para se locomover e se sustentar.
INFLAÇÃO	Escassez de suprimentos, alimentos inclusive, turbinou a inflação na capital amazonense.
ISOLAMENTO	Comunidades indígenas e ribeirinhas podem ficar isoladas.

Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação (Adaptado, 2023).

Diante de um cenário de mudança climática e eventos extremos cada vez mais frequentes, é crucial diversificar e modernizar os modais de transporte para garantir a resiliência logística, aprimorar a eficiência

operacional e promover um crescimento econômico sustentável na região (HALL & REED, 2020; DAVIS & CLARK, 2022).

5.3 Cenário Atual: Previsões sobre a Seca Extrema em Manaus

A iminência de uma nova seca histórica no Amazonas em 2024 constitui um desafio significativo para a indústria do Estado. O primeiro possível indicativo, conforme o Serviço Geológico Brasileiro (SGB), é a baixa probabilidade da cheia de 2024 ser de grande magnitude, com o pico da vazante deve começar em outubro, no Rio Solimões, Negro e Amazonas. Todavia, dependerá de uma série de fatores, especialmente o aquecimento das águas do Oceano Atlântico. Compreende-se atualmente que, apesar de relevante, o fenômeno *El Niño* não foi tão decisivo quanto se supunha inicialmente.

O engenheiro ambiental e pesquisador do Instituto Mamirauá, Ayan Fleischmann, explica que o *El Niño*, tradicionalmente associado a secas na região, desempenhou um papel moderado em 2023. No entanto, o aquecimento da porção norte do Oceano Atlântico se mostrou um fator extremamente significativo, estreitamente ligado às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

Adicionalmente, a estiagem de 2023 apresentou variações regionais, com causas distintas em diferentes áreas. No Alto e Médio Solimões, por exemplo, a seca de 2010 foi mais intensa em termos de nível do rio comparada a 2023. Contudo, entre 2010 e 2023, o planeta experimentou um aquecimento considerável, resultando em ondas de calor severas em setembro de 2023. Esses eventos são exemplos de desastres compostos, onde múltiplos riscos se somam e intensificam os impactos.

Segundo estudos realizados pelo SGB, a situação dos níveis dos rios em toda a Amazônia é crítica. Em Manaus (AM), projetou-se que o Rio Negro atingiria 27,21 metros, o que situa este nível abaixo da cota de inundação. Todavia houve uma estabilização em 26,85 metros, conforme a marcação do Porto de Manaus (2024). Entre os dias 15 e 16 de junho, o Rio Negro encheu 1 cm, estabilizou no dia 17, e a partir do dia 23, começou

a descer conforme o quadro 1. A probabilidade de que o Rio Negro se supere a marca máxima histórica de 30,02 metros já era extremamente baixa, calculada em apenas 0,02%, devido aos baixos índices de precipitação previstos até julho.

Quadro 1 Nível do Rio Negro, 1o Semestre de 2024 | Fonte: Porto de Manaus, 2024.

Dias	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho	
	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)	Cota (m)	Encheu/Vazou (cm)
1	18,79	15	21,2	3	22,27	5	23,7	5	25,38	4	26,49	5
2	18,91	12	21,28	8	22,33	6	23,73	3	25,41	3	26,52	3
3	19,04	13	21,33	5	22,38	5	23,78	5	25,46	5	26,55	3
4	19,16	12	21,37	4	22,44	6	23,84	6	25,5	4	26,58	3
5	19,26	10	21,42	5	22,49	5	23,91	7	25,54	4	26,61	3
6	19,37	11	21,46	4	22,54	5	23,96	5	25,57	3	26,63	2
7	19,47	10	21,5	4	22,59	5	24,01	5	25,61	4	26,66	3
8	19,57	10	21,54	4	22,62	3	24,05	4	25,65	4	26,69	3
9	19,68	11	21,57	3	22,65	3	24,11	6	25,67	2	26,71	2
10	19,78	10	21,57	0	22,68	3	24,14	3	25,7	3	26,73	2
11	19,87	9	21,61	4	22,72	4	24,2	6	25,73	3	26,75	2
12	19,97	10	21,65	4	22,76	4	24,3	10	25,75	2	26,78	3
13	20,06	9	21,69	4	22,79	3	24,35	5	25,77	2	26,81	3
14	20,19	13	21,73	4	22,83	4	24,4	5	25,8	3	26,83	2
15	20,32	13	21,77	4	22,86	3	24,46	6	25,82	2	26,84	1
16	20,44	12	21,8	3	22,89	3	24,51	5	25,85	3	26,85	1
17	20,52	8	21,83	3	22,93	4	24,58	7	25,89	4	26,85	0
18	20,58	6	21,85	2	22,97	4	24,66	8	25,94	5	26,85	0
19	20,65	7	21,87	2	23,02	5	24,72	6	25,99	5	26,85	0
20	20,71	6	21,9	3	23,06	4	24,78	6	26,04	5	26,85	0
21	20,76	5	21,92	2	23,11	5	24,84	6	26,09	5	26,85	0
22	20,8	4	21,93	1	23,15	4	24,9	6	26,12	3	26,85	0
23	20,85	5	21,94	1	23,21	6	24,96	6	26,15	3	26,84	-1
24	20,87	2	21,97	3	23,27	6	25,02	6	26,18	3	26,84	0
25	20,91	4	22,01	4	23,33	6	25,11	9	26,21	3	26,83	0
26	20,95	4	22,05	4	23,38	5	25,17	6	26,24	3	26,83	0
27	20,99	4	22,14	9	23,43	5	25,21	4	26,26	2	26,82	-1
28	21,03	4	22,19	5	23,5	7	25,25	4	26,32	6	26,82	0
29	21,07	4	22,22	3	23,55	5	25,29	4	26,36	4	26,81	-1
30	21,12	5	--	--	23,6	5	25,34	5	26,4	4	26,80	-1
31	21,17	5	--	--	23,65	5	--	--	26,44	4	--	--

Em anos sem a ocorrência de eventos climáticos extremos, espera-se que o nível do rio esteja próximo aos 26,66 metros no dia 1º de agosto (DEFESA CIVIL DO AMAZONAS, 2024). No entanto, considerando os valores observados atualmente e os fatores climáticos em jogo, projeta-se

que o nível do rio Negro comece o mês de agosto próximo dos 25,82 metros, conforme a indicação com a seta preta na Figura 36.

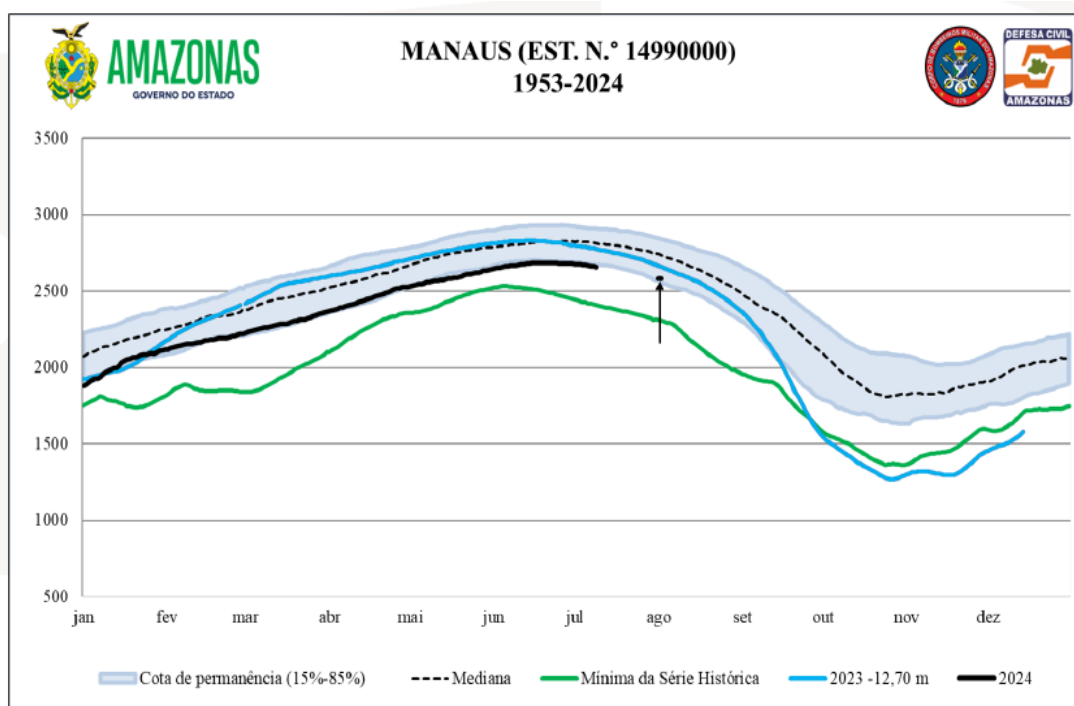


Figura 36 Cotograma de Manaus | Fonte: Defesa Civil, 2024.

Essa diminuição no nível do rio pode ser atribuída a mudanças climáticas e a variações nos padrões de precipitação, que têm se tornado mais frequentes nos últimos anos (DEFESA CIVIL DO AMAZONAS, 2024). As flutuações nos níveis dos rios são fenômenos naturais, porém, a tendência de níveis mais baixos pode indicar problemas maiores relacionados à gestão dos recursos hídricos e à adaptação às mudanças climáticas.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em parceria com o INPE, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastre (CENAD), o *El Niño* está perdendo força e passará a ser *La Niña* no segundo semestre. O oitavo boletim mensal, Painel *El Niño* 2023-204, publicado em 12 de junho, destaca o diagnóstico de chuvas abaixo da média em grande parte da região Norte do Brasil (Figura 37), reforçando o sinal de alerta para o período seco, com impactos que podem novamente

provocar problemas de navegabilidade nos rios, desabastecimento, incêndios florestais, dentre outros.

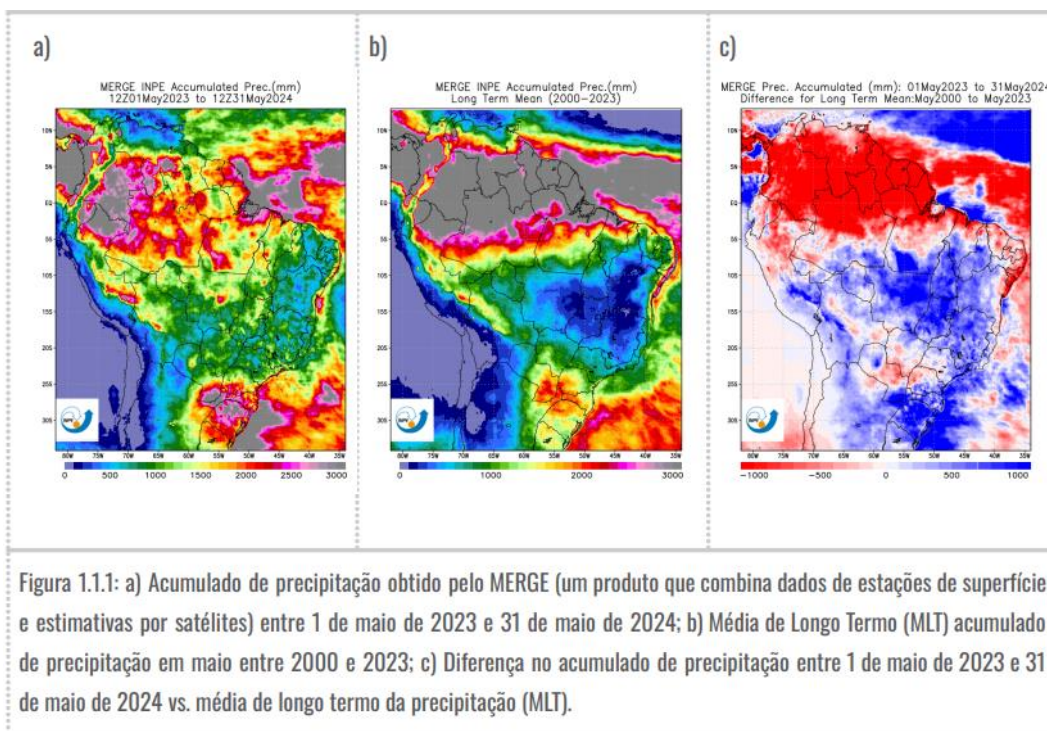


Figura 37 Volumes acumulados de chuva | Fonte: INMET, 2024.

A previsão para 2024 deve ser analisada com atenção aos padrões climáticos globais e regionais. O Instituto Mamirauá e outros órgãos de pesquisa continuam a monitorar esses fenômenos para entender melhor suas causas e desenvolver estratégias de mitigação. O 9º Fórum de Logística em Manaus, promovido pelo Centro da Indústria do Estado do Amazonas (CIEAM) entre os dias 2 e 4 de abril deste ano, destacou a urgência de investimentos em infraestrutura, diversificação da matriz de transporte e planejamento estratégico.

A possível seca exige respostas rápidas e eficazes do governo federal e estadual, conforme solicitado pelas entidades representativas dos setores industriais, comerciais e agrícolas. Entre as medidas urgentes, destaca-se a regularização da BR-319, que conecta Manaus a Porto Velho, facilitando o escoamento de produtos e a mobilidade da população (SANTOS & SILVA, 2020). A melhoria desta infraestrutura é essencial para garantir que as atividades econômicas não sejam interrompidas durante os

períodos de seca, proporcionando uma rota alternativa para o transporte de bens que normalmente dependeriam das vias fluviais.

Além disso, o aprimoramento da drenagem dos rios amazônicos é uma prioridade para manter a navegabilidade e evitar inundações. A dragagem dos rios é uma técnica fundamental para remover sedimentos acumulados que podem obstruir o fluxo de água, garantindo assim a manutenção das vias navegáveis mesmo em períodos de estiagem severa (SILVA & OLIVEIRA, 2018). Essa intervenção é vital para preservar o transporte fluvial, que é vital para a região devido à sua extensa rede hidrográfica.

A implementação dessas medidas exige um planejamento estratégico e investimentos substanciais. O papel do governo é providencial, não apenas na execução de obras, mas também na coordenação com órgãos de pesquisa e instituições locais para desenvolver soluções sustentáveis e de longo prazo (FERREIRA & SANTOS, 2019).

A crescente frequência e intensidade das secas na bacia amazônica, como evidenciado pela grave seca de 2023, sublinha a vulnerabilidade da região a mudança climática e a interdependência crítica entre seus rios. A contínua redução do nível das águas, em especial no Rio Negro, impacta significativamente a economia local, a navegabilidade e a sobrevivência das comunidades ribeirinhas, destacando a urgência de ações mitigatórias e adaptativas. A preservação dos recursos hídricos e a adaptação às mudanças climáticas são essenciais para garantir a resiliência da Amazônia frente aos desafios ambientais futuros.

5.4 Medidas de Adaptação e Boas Práticas

A adaptação às secas extremas é uma questão urgente que requer a implementação de diversas medidas e boas práticas. Entre os principais setores de ação estratégica estão a gestão eficiente da água, a agricultura resiliente e a melhoria da infraestrutura. Cada uma dessas áreas

desempenha um papel fundamental na redução dos impactos da seca e na promoção de um uso mais sustentável dos recursos hídricos.

A gestão eficiente da água é essencial para enfrentar a seca extrema. Dentre muitas ações possíveis nesse tema, campanhas de conscientização são fundamentais para promover o uso racional da água em atividades domésticas, industriais e agrícolas. Além disso, a implementação de sistemas de reuso de água para fins não potáveis, como irrigação e lavagem, pode contribuir significativamente para a conservação deste recurso. A captação de água da chuva, através da instalação de cisternas e outros sistemas, também é uma prática recomendada para uso doméstico. Tecnologias de irrigação eficientes, como a irrigação por gotejamento e pivô central, são cruciais para reduzir o desperdício de água na agricultura (SMITH, 2022).

A agricultura resiliente é outra área vital na adaptação às secas extremas. O desenvolvimento de cultivares resistentes à seca e a implementação de tecnologias de agricultura de precisão ajudam a otimizar o uso da água e insumos agrícolas, por exemplo. A diversificação de culturas reduz a dependência de plantas mais suscetíveis à seca, enquanto práticas de manejo do solo, como cobertura vegetal e adubação orgânica, melhoram a retenção de água no solo (JONES, 2023).

Investimentos em infraestrutura são necessários para armazenar e fornecer água durante os períodos de seca. A construção de barragens e reservatórios permite o armazenamento de água da chuva para uso posterior. A dessalinização, transformando água do mar em potável, é uma solução adotada em regiões como Israel. A modernização dos sistemas de tratamento de água garante a qualidade da água potável e o reuso de águas pluviais para fins não potáveis é uma prática recomendada (BROWN, 2021).

Melhorar a infraestrutura de transporte é essencial para enfrentar os desafios da seca extrema. Investir em diferentes modais de transporte, como ferrovias, metrô e ciclovias, reduz a dependência do transporte

fluvial. Programas de manutenção preventiva e a modernização da infraestrutura existente são fundamentais para garantir seu bom funcionamento. Sistemas inteligentes de gestão de tráfego podem otimizar o fluxo de veículos e reduzir congestionamentos (WHITE, 2022).

A logística urbana sustentável também desempenha um papel significativo. A criação de centros de distribuição urbanos em locais estratégicos reduz o tráfego de caminhões nas áreas centrais. Soluções inovadoras para a logística de última milha, como entregas por drones e bicicletas, e a consolidação de cargas diminuem o número de viagens de caminhões. Plataformas digitais otimizam a gestão da cadeia logística urbana (MILLER, 2023).

Um planejamento urbano integrado é necessário para combater os efeitos da seca. A ampliação de áreas verdes e a promoção da permeabilidade do solo reduzem o escoamento superficial da água. Incentivar a instalação de sistemas de captação de água da chuva em edifícios e residências é uma prática recomendada. Zonas de baixa emissão de carbono melhoram a qualidade do ar, e a expansão da rede de transporte público incentiva o uso de transporte coletivo (DAVIS, 2023).

A adaptação às secas extremas e a gestão hídrica eficiente são desafios globais que exigem ações estratégicas e inovadoras. Diversos países têm implementado medidas exemplares para enfrentar esses desafios e aumentar a resiliência de suas regiões. Na Austrália, o *National Water Grid* (Figura 38) é um projeto de infraestrutura de grande escala que conecta diferentes sistemas de água para melhorar a resiliência contra a seca. Este projeto busca otimizar a distribuição de água em períodos de escassez, assegurando que as necessidades hídricas das comunidades sejam atendidas de maneira eficiente (SMITH, 2022). Além disso, o país tem investido em pesquisa e desenvolvimento de veículos autônomos para melhorar a eficiência e a segurança do transporte rodoviário em áreas remotas, onde as condições são frequentemente desafiadoras (JONES, 2023).

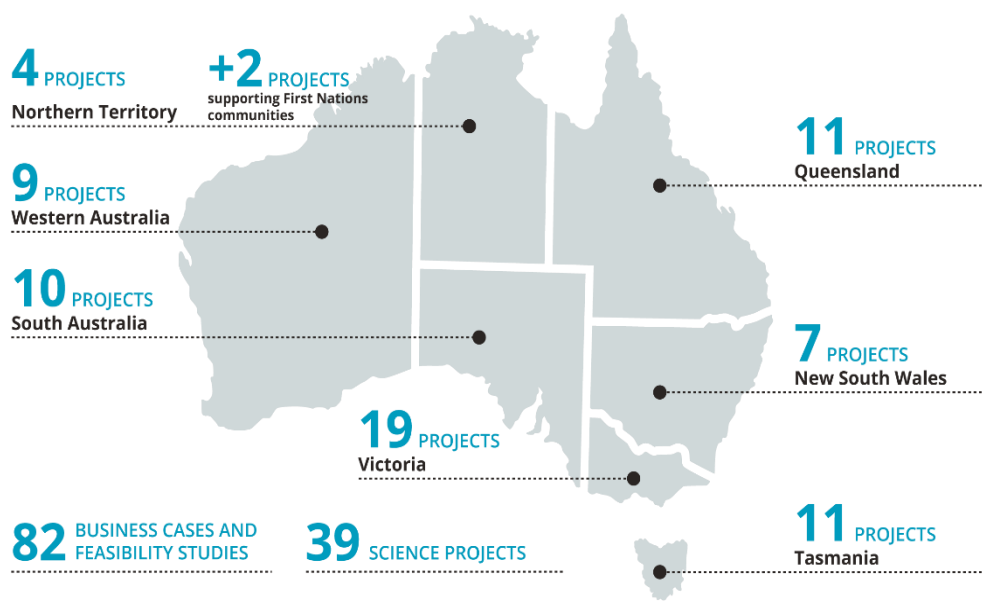


Figura 38 National Water Grid | Fonte: Australian Government, s.d.

A Califórnia, por sua vez, tem adotado uma abordagem abrangente para a adaptação à seca. O estado implementou campanhas de conscientização e programas de incentivos para reduzir o consumo de água residencial, resultando em uma economia significativa de água. Além disso, a Califórnia possui diversos projetos de reuso de água que tratam e reutilizam águas residuais para fins não potáveis, como irrigação e lavagem industrial. Investimentos na construção de barragens e reservatórios para armazenar água da chuva e a modernização dos sistemas de tratamento de água também são componentes críticos da estratégia californiana para enfrentar a escassez hídrica (JONES, 2023).

Na Bacia do Rio Mekong (Figura 39), no Sudeste Asiático, foram implementados sistemas de monitoramento hidrológico e gestão dos recursos hídricos para garantir a navegabilidade durante a estação seca. Estas medidas são essenciais para manter o fluxo de transporte fluvial, que é vital para as economias locais (NGUYEN, 2022). Além disso, a modernização dos aeroportos existentes e o desenvolvimento de novos aeroportos na região têm facilitado o transporte de pessoas e cargas durante a estação seca, melhorando a conectividade e a eficiência logística (KIM, 2023).



Figura 39 China e o Rio Mekong | Fonte: Adam Dean/ The New York Times, 2020.

No Rio Nilo, na África, houve investimento em construção de barragens e reservatórios para armazenar água e regular o fluxo do rio, possibilitando a navegação mesmo em períodos de seca. A Barragem de Assuã, no Egito, é um exemplo notável, pois não só ajuda a controlar inundações, mas também gera eletricidade, o que é vital para o desenvolvimento econômico da região (MOHAMED, 2023).

No Sahel, na África, a construção de novas rodovias tem sido essencial para conectar áreas isoladas durante a seca e facilitar o escoamento de produtos agrícolas. Estas rodovias (Figura 40) não apenas melhoram a acessibilidade e a integração regional, mas também são projetadas para serem resilientes ao clima extremo, garantindo a sua funcionalidade durante tempestades de areia e períodos de calor intenso. As melhorias na infraestrutura de transporte têm promovido o desenvolvimento econômico ao reduzir os custos de transporte e melhorar o acesso aos mercados, permitindo que os agricultores locais comercializem seus produtos de forma mais eficiente (DIALLO, 2022).

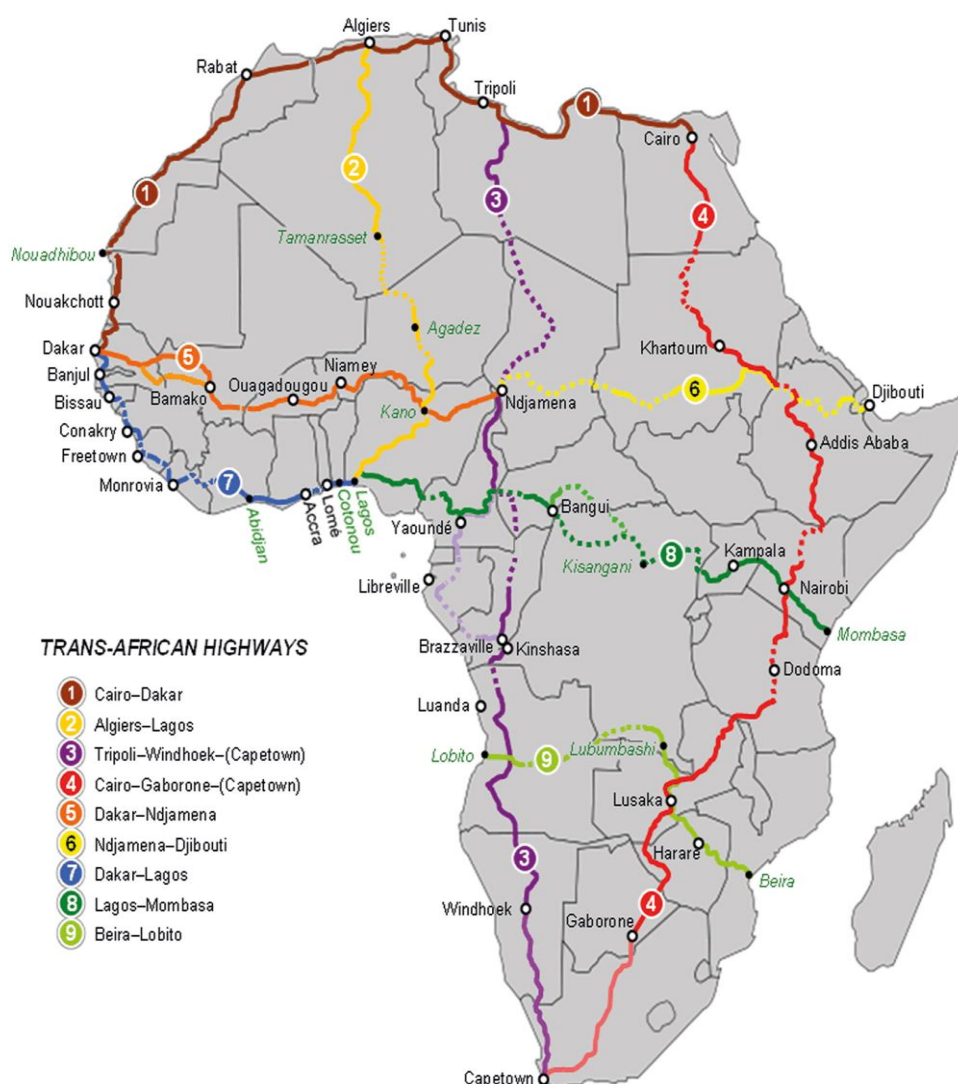


Figura 40 Trans-African | Fonte: Boabab, 2019.

Em suma, a adaptação às secas extremas requer uma abordagem multidimensional que combine gestão eficiente e melhorias na infraestrutura. A implementação dessas estratégias não apenas ameniza os impactos imediatos da seca, mas também promove um uso mais sustentável dos recursos naturais, assegurando que comunidades possam enfrentar os desafios climáticos com maior resiliência. Os exemplos internacionais demonstram que soluções inovadoras e integradas são essenciais para a sobrevivência e prosperidade em um cenário global cada vez mais afetado pelas mudanças climáticas.

Modos de Transporte na Logística de Manaus

Conforme demonstrado, a logística urbana em Manaus enfrenta desafios significativos devido às suas características geográficas e climáticas únicas. A cidade busca adaptar seus sistemas de transporte para atender às demandas emergentes de logística. Nesse contexto, os modais rodoviário e ferroviário surgem como alternativas viáveis para melhorar a logística e enfrentar os desafios específicos da região.

O modal rodoviário é atualmente o mais utilizado, oferecendo flexibilidade e cobertura em áreas de difícil acesso. Ele é fundamental para a movimentação de mercadorias dentro e fora da cidade, conectando Manaus a outras regiões do Brasil e ao exterior. Estudos indicam que as rodovias são responsáveis por uma parte significativa do transporte de cargas na região, facilitando o escoamento de produtos e recursos essenciais (Souza & Costa, 2023).

Todavia, a construção de rodovias pode abrir novas frentes de desmatamento, impulsionado pelo agronegócio, pela pecuária e pela exploração madeireira, com graves consequências para o clima global, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (LAURANCE *et al.*, 2009). O desmatamento e a erosão do solo ao longo das rodovias podem levar à perda de fertilidade e à desertificação, enquanto o aumento do tráfego veicular gera emissões de gases do efeito estufa, material particulado e ruído, impactando a qualidade do ar e a saúde da população. Ademais, a construção de rodovias pode gerar conflitos por terra e recursos entre comunidades indígenas e tradicionais, quilombolas e grupos ribeirinhos, além de aumentar a vulnerabilidade à violência e à exploração (BARRETO *et al.*, 2008).

Embora os impactos ambientais sejam uma preocupação legítima, é possível adotar medidas eficazes de mitigação e adaptação para minimizar esses efeitos. O planejamento rigoroso das rodovias deve levar em conta áreas de preservação ambiental, comunidades indígenas e tradicionais, buscando alternativas que reduzam o impacto ambiental (SOARES-FILHO

et al., 2004). A fiscalização rigorosa do cumprimento das leis ambientais e o combate ao desmatamento ilegal ao longo das rodovias são essenciais para garantir a sustentabilidade do projeto. As empresas responsáveis pela construção das rodovias devem investir em medidas de compensação ambiental, como a restauração de áreas degradadas e a criação de unidades de conservação.

De acordo com as tabelas de Custo Médio Gerencial do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a implementação de um modal rodoviário no Estado do Amazonas apresenta custos variados dependendo das características locais e dos veículos a trafegarem. O custo para a construção de um quilômetro de rodovia, considerando as tabelas, Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), e obras realizadas pela Secretaria de Infraestrutura do Estado do Amazonas (SEINFRA), pode variar entre R\$2.500.000,00 e R\$3.500.000,00 (DNIT, 2024). Além disso, os custos de manutenção podem atingir até R\$1.000.000,00 por quilômetro, refletindo a necessidade de constantes reparos devido às condições ambientais adversas, como chuvas intensas e o alto índice de umidade da região, que podem acelerar a degradação da infraestrutura (SEINFRA, 2023).

O desenvolvimento regional impulsionado pelas rodovias deve ser realizado de forma sustentável, com foco na agricultura familiar, na exploração madeireira certificada e na valorização dos produtos da floresta em pé (NEPSTAD *et al.*, 2006). Além disso, é crucial promover o diálogo e a participação da sociedade civil, especialmente das comunidades indígenas e tradicionais, no processo de planejamento e implementação das rodovias (SAYER *et al.*, 2013). A manutenção regular é fundamental para evitar problemas ambientais, como erosão do solo e desmatamento. Campanhas de educação ambiental devem ser promovidas para conscientizar a população sobre a importância da preservação da floresta amazônica e dos riscos da construção desordenada de rodovias.

As ferrovias, por sua vez, são reconhecidas pela eficiência energética e pela capacidade de transportar grandes volumes de carga a um custo operacional relativamente baixo. A infraestrutura ferroviária pode promover um crescimento significativo ao permitir o escoamento eficiente de produtos agrícolas e industriais. A redução dos custos logísticos pode abrir novos mercados e gerar empregos, além de contribuir para a diversificação econômica da região (COSTA & SILVA, 2020). A ferrovia também pode facilitar o acesso a serviços essenciais, como educação e saúde, para as populações ribeirinhas e indígenas, promovendo a inclusão social e o desenvolvimento humano (BRITO & SOUZA, 2019).

Além disso, o turismo pode ser beneficiado pela nova rota ferroviária. As paisagens naturais ao longo do trajeto podem atrair visitantes, impulsionando a economia local e criando oportunidades de trabalho (SILVA & SOUZA, 2021). Para a população, as ferrovias oferecem um meio de transporte seguro e confortável, enquanto, na logística urbana, elas permitem o movimento eficiente de mercadorias, reduzindo a dependência do transporte rodoviário e diminuindo os congestionamentos (OLIVEIRA & PEREIRA, 2017). Assim, a ferrovia tem o potencial de não apenas fomentar a economia, mas também de valorizar o patrimônio cultural e natural da Amazônia.

No entanto, a construção e manutenção de ferrovias envolvem altos custos iniciais e uma flexibilidade “limitada” em termos de rotas e horários, com um custo médio de aproximadamente \$1,4 milhões ou R\$7,7 milhões por quilômetro. Esse valor, ainda assim, pode variar significativamente devido a fatores como topografia, localização urbana ou rural, e outras especificidades do projeto (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2023; Figura 41). Em terrenos montanhosos ou acidentados, os custos podem ser substancialmente mais altos devido à necessidade de obras complexas, como túneis e viadutos, enquanto em áreas urbanas, a necessidade de desapropriações e a complexidade das obras também elevam os custos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA, 2023).



Figura 41 Custo aproximado para construção de 1 km de infraestrutura | Fonte: Soares & Oliva, FENAVEGA e ANTAQ, 2023.

A infraestrutura ferroviária em Manaus é inexistente (Figura 42), o que representa um desafio significativo para a logística regional. A ausência de ferrovias implica uma dependência maior do transporte rodoviário, menos eficiente para grandes volumes de carga. Além disso, a manutenção das ferrovias, quando presentes, é complexa e cara, exigindo reparos frequentes e a substituição de trilhos para garantir a segurança e a eficiência do sistema. Este processo de manutenção inclui não apenas a troca de trilhos, mas também a inspeção regular e o reforço das estruturas de suporte, o que demanda um investimento contínuo e especializado (FERREIRA, 2016).



Figura 42 Ferrovias Amazônicas | Fonte: Aldem Bourscheit, 2022.

A operação pode gerar poluição sonora, atmosférica e hídrica, afetando negativamente o meio ambiente e a saúde das comunidades próximas. Os impactos sociais também são uma preocupação importante. A construção pode deslocar comunidades tradicionais, causar conflitos sociais e aumentar a vulnerabilidade das populações indígenas e ribeirinhas (NEPSTAD *et al.*, 2019).

Ainda assim, estudos para o desenvolvimento ferroviário em Manaus são promissores. A construção de uma malha ferroviária poderia reduzir os custos de transporte e promover uma intermodalidade eficiente com portos e rodovias. Isso pode resultar em uma logística mais sustentável e integrada, essencial para o crescimento econômico da região (SANTOS & LIMA, 2021). Com a ferrovia, poder-se-ia sair do imobilismo das últimas décadas para uma solução moderna e compatível com um novo posicionamento do Brasil no cenário global (SANTOS & LIMA, 2021).

A implementação de uma rede ferroviária ampla e interligada beneficia significativamente o processo produtivo e o escoamento das exportações brasileiras. Uma pesquisa da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (EAESP/FGV) apontou que, em 2023, as ferrovias representavam apenas 15% da estrutura de transporte no Brasil, um percentual considerado muito baixo (FGV, 2023).

Por outro lado, o transporte rodoviário, que representa 65% dos veículos no país, é mais poluente, contribuindo para a congestão do trânsito nas grandes cidades, gerando mais acidentes e expondo as empresas a maiores riscos de furtos e roubos de carga (ANTT, 2023). As ferrovias apresentam uma capacidade significativamente maior, com um vagão, em média, 70 toneladas de produtos, em contraste com as 35 toneladas de um caminhão bi-trem. Além disso, o sistema ferroviário é superior em termos de eficiência e capacidade de carga, reduzindo também as perdas de mercadorias durante o transporte quando comparado ao modo rodoviário (Figura 30; CNT, 2023; Figura 43).

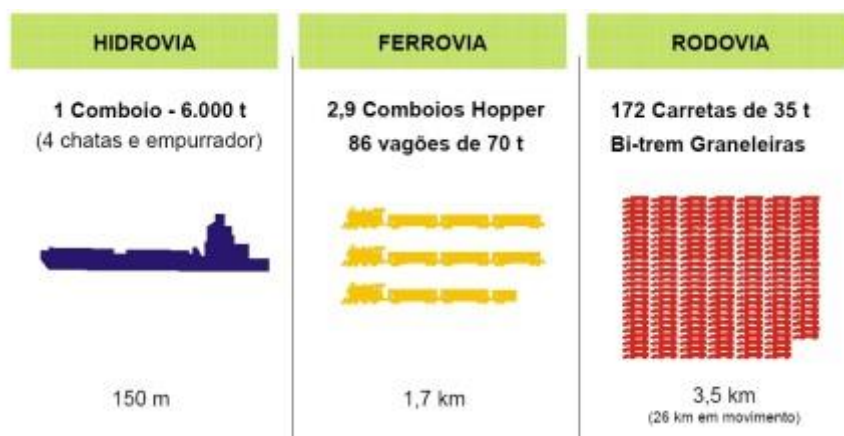


Figura 43 Comparativo de capacidade, em t | Fonte: Secretaria de Transportes de São Paulo, 2023.

O consumo de combustível entre ferrovias e rodovias apresenta uma diferença significativa, refletindo diretamente na eficiência energética e nos impactos ambientais de cada modal de transporte. As ferrovias são amplamente reconhecidas por sua superioridade nesse aspecto, consumindo consideravelmente menos combustível por tonelada-quilômetro em comparação com o transporte rodoviário. Este fato se deve à menor resistência ao rolamento das rodas de aço sobre trilhos e à capacidade de transportar grandes volumes de carga com uma quantidade proporcionalmente menor de combustível (Figura 44; HAWKINS, 2014)



Figura 44 Consumo de combustível para transportar 1 tonelada de carga por 1.000 km | Fonte: ANTAQ, 2023.

Em contraste, os veículos rodoviários, como caminhões, enfrentam maior resistência ao rolamento e ao ar, o que resulta em um consumo de combustível significativamente maior, especialmente em longas distâncias e ao transportar cargas pesadas. Além disso, o transporte rodoviário também é mais suscetível a congestionamentos e paradas frequentes,

fatores que aumentam ainda mais o consumo de combustível (KRAMER, 2017). Atualmente, o transporte rodoviário é responsável por 95% das emissões de CO₂ no setor de transportes no Brasil, enquanto o transporte ferroviário contribui com apenas 5% (INEA, 2023). Essa discrepância é particularmente relevante no contexto da logística urbana de Manaus, onde a infraestrutura rodoviária enfrenta desafios únicos devido às condições geográficas e climáticas.

As construções das ferrovias na região poderiam transformar o cenário logístico de Manaus. As ferrovias oferecem uma alternativa mais eficiente e menos poluente, especialmente para o transporte de cargas pesadas. Adicionalmente, a menor emissão de CO₂ das ferrovias ajudaria a preservar a sensível biodiversidade amazônica, reduzindo os impactos ambientais negativos associados ao transporte rodoviário (Figura 45; SANTOS & ANDRADE, 2016).



Figura 45 Emissões de CO₂ para transportar 1 tonelada de carga por 1.000 km | Fonte: ANTAQ, FENAVEGA, 2023.

Embora as rodovias ofereçam flexibilidade e acesso imediato, elas apresentam desafios significativos, como o desmatamento e a fragmentação de habitats, além de elevados custos de manutenção. Os impactos indiretos associados à sua construção em áreas sensíveis, como na Amazônia, são vastos e multifacetados, afetando diretamente o meio ambiente e contribuindo para o aumento de eventos climáticos extremos, como cheias e secas (LAURANCE *et al.*, 2009). A abertura de rodovias frequentemente induz o crescimento urbano desordenado ao longo de suas

margens, criando aglomerados urbanos que se expandem rapidamente sem o devido planejamento e controle (BARBER *et al.*, 2014). Esse cenário tende a se perpetuar e é notoriamente difícil de fiscalizar, resultando em uma série de consequências ambientais adversas.

O crescimento urbano induzido por rodovias amplifica a fragmentação de habitats naturais e intensifica o desmatamento, que é muitas vezes impulsionado por atividades como o agronegócio, pecuária e exploração madeireira (LAURANCE *et al.*, 2009). A degradação ambiental resultante compromete a biodiversidade e acelera processos de erosão do solo, o que pode levar à perda de fertilidade e, em casos extremos, à desertificação (BARBER *et al.*, 2014). A ocupação irregular e a expansão descontrolada desses aglomerados urbanos comprometem a capacidade de drenagem natural do solo, o que aumenta a vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra. Esse desequilíbrio ambiental não só degrada os ecossistemas locais, mas também exacerba a ocorrência de eventos climáticos extremos, como cheias intensas e secas severas, que afetam diretamente a qualidade de vida das populações e comprometem o desenvolvimento sustentável da região (LAURANCE *et al.*, 2009).

Em contraste, as ferrovias, apesar dos altos investimentos iniciais e da menor flexibilidade, representam uma alternativa mais eficiente e sustentável para o transporte de grandes volumes de carga, com um impacto ambiental reduzido a longo prazo. Portanto, o desenvolvimento da infraestrutura de transporte voltada para a logística urbana deve ser orientado por princípios de sustentabilidade, buscando equilibrar o progresso econômico com a preservação ambiental e a inclusão social.

A combinação de rodovias e ferrovias pode fornecer uma solução robusta para os desafios logísticos de Manaus. Essa integração permitirá uma adaptação mais eficaz às condições regionais e contribuirá para um desenvolvimento econômico sustentável. Assim, a sinergia entre esses modais é fundamental para enfrentar os desafios logísticos e garantir uma rede de transporte que seja tanto eficiente quanto resiliente.

6. Resultados

Ante o exposto, constata-se a importância do Rio Negro, juntamente com o Rio Madeira, como bacias essenciais para o sistema hidrográfico local e o Porto de Manaus como um hub estratégico para o transporte fluvial na Amazônia, facilitando a condução de mercadorias para estados como Pará, Rondônia e Acre. No entanto, a redução dos níveis de água afeta gravemente a navegação, acumulando produtos nos portos e aumentando os custos operacionais em até 30%, o que prejudica tanto a economia local quanto a nacional (SOUZA *et al.*, 2023).

Durante os períodos de seca, a diminuição do nível dos rios impede a navegação de embarcações, prejudicando o abastecimento de insumos essenciais, não apenas para a produção no PIM e para ZFM, mas também para toda a zona urbana e rural, como medicamentos, alimentos e outros produtos fundamentais. Para assegurar a resiliência logística e fomentar um crescimento econômico sustentável, é fundamental diversificar e modernizar os modais de transporte. Essa estratégia se torna ainda mais importante diante das mudanças climáticas e da crescente frequência de eventos extremos.

Para uma melhor compreensão dos problemas presentes na região de estudo, foi conduzida uma análise diagnóstica utilizando a metodologia de Análise SWOT. Foram examinadas as características e incidentes principais relativos aos temas de infraestrutura urbana, com especial atenção ao setor de logística e os impactos da seca extrema. Para além do diagnóstico inicial, busca-se fornecer um panorama mais abrangente da situação, incorporando informações e referências bibliográficas relevantes. O quadro 2 subsequente apresenta essas investigações:

Quadro 2 Análise SWOT | Fonte: Autor, 2024.

	Fortalezas	Oportunidades	Fraquezas	Ameaças
Infraestrutura	Sistema de transporte fluvial desenvolvido	Desenvolvimento de infraestrutura resiliente à seca	Dependência do transporte fluvial para abastecimento	Seca extrema intensificando os problemas de infraestrutura
	Presença de portos e terminais	Criação de novos modais de transporte	Vulnerabilidade da infraestrutura à erosão e inundações	Aumento dos custos de manutenção e reparo
	Rede de distribuição de água potável em expansão	Implementação de tecnologias de captação e armazenamento de água	Rede de esgoto incompleta	Redução da qualidade de vida da população
	Investimentos em projetos de saneamento básico	Fortalecimento da agricultura urbana	Falta de integração entre os modais de transporte	Perda de competitividade econômica
Logística Urbana	Experiência na gestão de logística fluvial	Implementação de logística urbana sustentável	Falta de planejamento integrado da logística urbana	Seca extrema impactando a cadeia de suprimentos
	Presença de empresas de transporte e logística	Redução dos custos logísticos	Congestionamentos nas vias públicas	Aumento dos preços dos produtos
	Crescimento do e-commerce	Aumento da eficiência da cadeia de suprimentos	Alta informalidade no setor de transporte	Dificuldade de acesso a bens e serviços essenciais
	Desenvolvimento de soluções tecnológicas para logística	Criação de novos empregos	Desarticulação entre os diferentes modais de transporte	Perda de competitividade das empresas
Impactos da Seca Extrema	Desníveis do Rio	Desenvolvimento de novas tecnologias para captação e armazenamento de água	Aumento da incidência de doenças relacionadas à falta de água	Intensificação dos problemas de infraestrutura e logística urbana
	Disponibilidade de água para abastecimento e consumo	Investimentos em projetos de irrigação	Deterioração da qualidade do ar	Aumento dos custos de produção e transporte
	Florestas	Implementação de políticas públicas para combate à desertificação	Perda de biodiversidade	Redução da competitividade econômica
	Safras agrícolas	Diversificação da matriz energética	Migração da população rural para áreas urbanas	Crise social e humanitária

A análise do quadro *SWOT* reafirma a complexa interação entre fatores internos e externos que impactam o desenvolvimento e a eficiência da logística urbana manauara. Assim como o exposto por Pucher e Renne (2003), a localização estratégica como porta de entrada para a região amazônica apresenta sim uma vantagem competitiva significativa, pois pode atrair investimentos e facilitar o comércio regional e internacional. Contudo, a subdesenvolvida infraestrutura, principalmente de transporte, ressalta a necessidade urgente de investimentos em modernização e expansão das redes viárias.

A seca extrema de 2023 serviu como um ponto de virada para Manaus, expondo as fragilidades da infraestrutura urbana e os desafios da logística em cenários de escassez hídrica. O diagnóstico do quadro FOFA destaca a necessidade urgente de ações estratégicas para fortalecer a resiliência da cidade à seca e garantir o desenvolvimento sustentável. Além disso, a vulnerabilidade às mudanças climáticas corrobora a importância de adotar medidas de adaptação e resiliência para garantir a sustentabilidade dos sistemas de transporte, conforme destacado pelo IPCC (2023).

Para atenuar os impactos da estiagem, é essencial adotar diversas medidas estratégicas e bem planejadas. Em primeiro lugar, é importante investir em infraestrutura que seja capaz de suportar condições adversas de seca. Isso inclui a sinalização adequada das hidrovias e a construção de portos com maior profundidade, de modo a garantir a navegação fluvial mesmo em períodos de baixo nível de água. Um exemplo desse tipo de investimento é o "Novo PAC", que prevê um investimento estimado em R\$41 milhões para obras de dragagem no Rio Solimões e no Rio Amazonas (BRASIL, 2023).

A preservação e a restauração da Floresta Amazônica são fundamentais para enfrentar os impactos ambientais da seca. O monitoramento ambiental rigoroso e a aplicação eficaz de leis de conservação são essenciais para manter o ecossistema saudável. Estudos utilizados nesta dissertação mostram que a manutenção da floresta amazônica desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico

e na prevenção de eventos extremos. O uso de tecnologia também é vital para otimizar a logística na região amazônica. Sistemas de rastreamento, análise de dados e otimização de rotas podem ajudar a minimizar atrasos e reduzir custos, aumentando a eficiência das operações logísticas.

No que tange às hidrovias do Amazonas, especialmente o Rio Madeira, a seca extrema de 2023 evidenciou a necessidade urgente de modernização nas operações de dragagem para garantir a continuidade do transporte fluvial. Técnicas mais modernas e eficientes são fundamentais para mitigar os impactos logísticos na capital Manaus, que atualmente depende quase exclusivamente desse meio para o escoamento de mercadorias e o abastecimento.

A seca prejudica as comunidades ribeirinhas, cuja subsistência está diretamente ligada ao rio. A falta de acesso à água potável durante períodos de estiagem extrema reforça a necessidade de se investir em sistemas de captação e armazenamento de água que atendam a essas populações, minimizando os impactos sociais e econômicos.

Além do transporte fluvial, a diversificação dos modos de transporte é uma estratégia importante para contornar as dificuldades causadas pela seca. Considerar alternativas como o transporte ferroviário e rodoviário pode proporcionar flexibilidade e resiliência ao sistema logístico da região. A situação na Amazônia e os impactos da seca representam desafios significativos para a logística na região.

No entanto, com investimentos adequados em infraestrutura, diversificação dos modos de transporte, compromisso com a preservação ambiental e planejamento tecnológico, é possível minimizar as consequências da estiagem e criar um futuro mais sustentável para a Amazônia e para a logística nacional.

6.1 Soluções para uma Logística Urbana Resiliente

A proposta de interligar Manaus a outros territórios por modais terrestres gera um debate sobre seus impactos socioambientais.

Proponentes defendem o aumento da integração a nível regional e nacional, do escoamento da produção e do desenvolvimento económico, enquanto críticos alertam para os riscos de desmatamento, perda de biodiversidade, fragmentação de habitats e conflitos sociais.

A conexão por rodovias ou ferrovias, com outras regiões, facilitaria o acesso a serviços essenciais, como saúde e educação, melhorando a qualidade de vida das populações locais. Além disso, a comercialização de produtos locais seria fortalecida, impulsionando o desenvolvimento regional. O quadro 3 exemplifica a aplicação da matriz SWOT para análise da implementação dos modais rodoviários e ferroviários.

Quadro 3 Análise SWOT - Rodovias x Ferrovias | Fonte: Autor, 2024.

	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS	AMEAÇAS
RODOVIAS	Acessibilidade; Flexibilidade de Rota; Infraestrutura existente;	Desenvolvimento urbano e rural; Melhoria na logística regional; Integração com outros modais;	Congestionamento e Poluição; Manutenção contínua; Dependência de Combustíveis Fósseis;	Expansão urbana desordenada; Degradação rápida; Aumento das emissões de CO2; Acidentes e Segurança.
	Benefícios Para população: Acessibilidade direta e rápida; Para logística: Flexibilidade de rota e horários.	Intermodalidade Conexão com outros sistemas de transportes.	Manutenção Necessidade de reparos frequentes.	Impactos Ambientais Destruição de habitats naturais, fragmentação de ecossistemas; Ocupação das margens.

FERROVIAS	Eficiências energética; Eficiência no Transporte de Carga; Baixo custo operacional.	Expansão da malha ferroviária; Integração Logística; Redução do tráfego rodoviário.	Custo inicial elevado; Dependência de Manutenção; Flexibilidade e Infraestruturas limitadas.	Distúrbio de habitats naturais; Desocupação forçada; Desinteresse governamental.
	Benefícios Para população: transporte seguro e confortável; Para logística: transporte de grandes volumes de carga.	Intermodalidade Conexão eficiente com portos e rodovias.	Manutenção Alto custo de reparos e substituição de trilhos.	Impactos Ambientais Consequências em habitats naturais.

A escolha entre rodovias e ferrovias possui efeitos significativos que variam conforme a infraestrutura e o contexto ambiental e social. O quadro 4 visa comparar os impactos associados à implementação dos dois modais, de acordo com estudos realizados por autores do setor de transportes.

Quadro 4 Impactos Diretos e Indiretos | Fonte: Autor, 2024.

Aspecto	Rodovias	Ferrovias
Impactos Sonoros	Aumento do ruído devido ao tráfego de veículos.	Menor impacto sonoro em comparação com rodovias, mas pode ser significativo perto das linhas férreas.
Impactos Ambientais	Desmatamento e alteração de ecossistemas para construção.	Menos desmatamento em comparação com rodovias; porém, a construção de trilhos pode afetar habitats.

	Poluição do ar e da água devido ao aumento do tráfego e derramamento de combustíveis.	Poluição menor comparada a rodovias, mas acidentes ferroviários podem causar impactos ambientais.
Transporte de Mercadorias	Danos e perdas devido a acidentes rodoviários e condições climáticas adversas. Trânsito congestionado pode atrasar entregas.	Menos propenso a danos em comparação com rodovias, mas acidentes ferroviários podem ocorrer. Menos congestionamento; porém, problemas em trilhos podem afetar a pontualidade.
Motoristas	Cansaço e estresse devido a longas distâncias e tráfego intenso. Acidentes de trânsito podem causar ferimentos e perdas de vidas.	Menos estresse relacionado à condução, já que o transporte é feito por trens. Menos acidentes fatais; porém, acidentes ferroviários podem ser graves.
Eficiência de Transporte	Menos eficiente para longas distâncias devido ao congestionamento.	Alta eficiência para transporte de grandes volumes e longas distâncias.
Custo de Manutenção	Altos custos de manutenção devido ao desgaste e necessidade de reparos frequentes.	Menor custo de manutenção per capita, mas custos significativos para infraestrutura inicial.
Desenvolvimento Econômico Regional	Estímulo ao crescimento econômico local, atraindo investimentos e facilitando o comércio.	Estímulo ao crescimento econômico em áreas remotas, atraindo indústrias e comércio.

<i>Mudança no Uso do Solo</i>	Conversão de terras agrícolas e áreas naturais em áreas urbanas ou industriais.	Desenvolvimento de áreas ao longo das linhas férreas, com novas habitações, estabelecimentos comerciais e industriais.
<i>Impacto sobre Comunidades Locais</i>	Segregação de comunidades, dividindo bairros e afetando a coesão social.	Mudanças socioeconômicas e transformação do uso do solo, afetando comunidades locais positiva ou negativamente.
<i>Mudanças na Logística e Cadeia de Suprimentos</i>	Mudança nos padrões de transporte, com mais pessoas optando por transporte individual.	Alteração na maneira como empresas planejam suas cadeias de suprimentos, preferindo transporte ferroviário para grandes volumes de carga.
<i>Desenvolvimento Turístico</i>	Facilitação do acesso a destinos turísticos, promovendo o crescimento do turismo regional.	Estímulo ao turismo, facilitando o acesso a destinos turísticos.

A implementação de rodovias e ferrovias envolve uma série de repercussões diretas e indiretas que necessitam de uma avaliação metódica durante o planejamento e o desenvolvimento de projetos de infraestrutura. Essas duas modalidades de transporte, embora essenciais para o desenvolvimento socioeconômico, possuem características e impactos distintos que afetam de maneira ampla o meio ambiente, a logística, a economia e as comunidades locais.

Rodovias, como mencionado, tendem a gerar impactos mais significativos em termos de poluição sonora e ambiental. O aumento do tráfego de veículos nas rodovias resulta em maiores emissões de gases poluentes, partículas e ruído, os quais têm efeitos adversos na qualidade do ar e na saúde pública. Além disso, as rodovias frequentemente implicam em custos de manutenção elevados, decorrentes do desgaste causado pelo uso constante e pela necessidade de reparos frequentes.

O desenvolvimento de infraestrutura em áreas sensíveis, como Manaus e outras cidades da Amazônia, exemplifica o impacto negativo do crescimento urbano desordenado e do desmatamento extensivo, que ocorre como consequência da construção desenfreada. Impulsionado por atividades como agronegócio, pecuária e exploração madeireira, esse desmatamento, quando associado à erosão do solo, resulta na perda de fertilidade e pode até levar à desertificação.

O crescimento urbano não planejado intensifica a fragmentação de habitats, agravando a degradação ambiental e colocando ainda mais pressão sobre os ecossistemas locais. A ocupação irregular do solo pode resultar na criação de assentamentos precários, onde a falta de serviços básicos agrava as condições de vida e potencializa problemas de saúde pública. Em longo prazo, esses impactos não apenas prejudicam a qualidade de vida dos habitantes, mas também comprometem o desenvolvimento sustentável da região, aumentando a vulnerabilidade socioambiental das populações locais.

Além dos impactos ambientais, a construção de rodovias pode gerar conflitos por terras e recursos, especialmente em áreas habitadas por comunidades tradicionais, como indígenas e ribeirinhos, aumentando a vulnerabilidade dessas populações a violações de direitos. No entanto, apesar das preocupações ambientais associadas às rodovias, é possível adotar medidas de mitigação que minimizem esses impactos.

Por outro lado, as ferrovias apresentam uma alternativa mais eficiente e sustentável, especialmente no transporte de grandes volumes de carga e em longas distâncias. Elas demonstram maior eficiência energética e capacidade de transportar grandes quantidades de mercadorias a custos operacionais relativamente baixos, o que as torna uma opção atraente para o desenvolvimento de infraestrutura em regiões remotas ou de difícil acesso.

Sua implementação, apesar dos altos custos iniciais de construção e manutenção, pode proporcionar benefícios ambientais significativos a

longo prazo, incluindo a redução das emissões de CO₂. Além disso, as ferrovias oferecem um meio de transporte menos poluente em comparação com as rodovias, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais associados ao transporte.

A intermodalidade, que combina rodovias, ferrovias e transporte fluvial, emerge como uma solução promissora para a logística urbana, especialmente em cidades como Manaus, onde a infraestrutura fluvial e rodoviária enfrenta desafios significativos devido às condições climáticas extremas, como as secas prolongadas e as enchentes sazonais, bem como à geografia complexa da região amazônica, marcada por vastas áreas alagadas e terrenos de difícil acesso.

Essa abordagem integrada permite otimizar a eficiência do transporte de cargas, reduzir custos operacionais, minimizar impactos ambientais e aumentar a resiliência da rede logística em face das adversidades naturais, garantindo, assim, um fluxo contínuo de mercadorias essenciais para o abastecimento da cidade e o desenvolvimento econômico regional.

Portanto, a escolha entre rodovias e ferrovias deve ser fundamentada em uma análise abrangente que leve em consideração os benefícios e desafios associados a cada modalidade de transporte. Embora as rodovias ofereçam flexibilidade e acessibilidade imediata, facilitando o acesso a áreas urbanas e rurais e promovendo a coesão social e econômica, elas também apresentam riscos ambientais e sociais que não podem ser ignorados.

Alternativamente, as ferrovias, com sua eficiência e sustentabilidade a longo prazo, representam uma alternativa viável que pode complementar a malha rodoviária existente, especialmente em regiões onde a intermodalidade pode ser aplicada para melhorar a logística e reduzir os impactos ambientais. Assim, o desenvolvimento de infraestrutura de transporte deve equilibrar o progresso econômico com a preservação ambiental e a inclusão social, aproveitando os benefícios da

intermodalidade para enfrentar desafios como as secas extremas e a logística urbana em regiões como a Amazônia.

Em um horizonte imediato, a pavimentação das rodovias existentes, como a BR-319 e outras estradas estaduais em condições precárias, é uma medida crucial para reduzir os impactos da seca na conectividade de Manaus com outros municípios do estado e regiões do país. A recuperação dessas vias melhoraria significativamente a logística, facilitando o transporte de mercadorias e pessoas, e impulsionando o desenvolvimento econômico e social da região. A reabilitação dessas rodovias permitiria uma resposta mais rápida e eficiente às demandas logísticas, amenizando problemas que surgem devido à falta de infraestrutura adequada e garantindo um fluxo contínuo e seguro, essencial para a economia local.

Por outro lado, em uma perspectiva futura, o estudo da implementação de rotas ferroviárias deve ser prioritário, pois oferece uma solução mais sustentável e estratégica para o transporte de grandes volumes de carga a longas distâncias. As ferrovias, reconhecidas por sua eficiência energética e menor impacto ambiental, poderiam complementar a malha rodoviária, aliviando a pressão sobre as estradas e proporcionando uma alternativa mais duradoura e viável. Além disso, é fundamental considerar o ajuste e a implementação de bases e terminais aéreos para fortalecer a intermodalidade na região. Essa abordagem integrada, que combina rodovias, ferrovias e transporte aéreo, não apenas melhora a logística urbana, mas também aumenta a resiliência da infraestrutura de transporte em Manaus, preparando-a para enfrentar desafios climáticos e geográficos futuros.

7. Conclusões

A mudança climática, especialmente as secas extremas, têm impactos profundos e multifacetados na logística urbana de Manaus, destacando a vulnerabilidade da infraestrutura existente e a necessidade de medidas adaptativas urgentes. A análise realizada evidencia que a falta de uma infraestrutura resiliente agrava os desafios enfrentados pela cidade, resultando em prejuízos socioeconômicos e sobrecarga dos serviços públicos essenciais. Diante desse cenário, é importante considerar a implementação de estratégias eficazes que garantam a resiliência urbana frente aos eventos climáticos extremos.

A colaboração entre governo, setor privado e sociedade civil é indispensável para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas na Amazônia. Políticas públicas aprimoradas, baseadas em evidências científicas e dados robustos, são necessárias para promover a adaptação e mitigação dos impactos ambientais. Além disso, um planejamento urbano integrado, que contemple a expansão e modernização das infraestruturas de transporte, surge como um fator crucial para garantir a continuidade das atividades econômicas e a qualidade de vida da população.

A urgência em fortalecer a rede rodoviária e considerar a viabilidade de uma rede ferroviária na região é evidente, como formas de diversificar as rotas logísticas e reduzir a dependência das vias fluviais, frequentemente afetadas pelas secas severas. A diversificação das rotas logísticas, por meio da construção de rodovias e ferrovias, oferece uma solução sustentável e eficiente, capaz de suportar grandes volumes de carga com menor impacto ambiental. Paralelamente, à modernização e expansão das rodovias existentes são medidas indispensáveis para garantir a conectividade e a continuidade das operações logísticas, essenciais para o desenvolvimento econômico da região. Uma infraestrutura mais resistente e adaptável, aliada a políticas de gestão sustentável dos recursos naturais, apresenta-se como um caminho

promissor para aumentar a resiliência urbana e diminuir os riscos associados a mudança climática.

As soluções propostas não se restringem à infraestrutura física, mas também envolvem a capacitação e o engajamento das comunidades locais na gestão dos recursos e na adaptação às novas realidades climáticas. A educação ambiental e a participação comunitária são pilares fundamentais para a construção de uma cidade mais resiliente e preparada para enfrentar os desafios futuros. Portanto, as políticas de desenvolvimento urbano devem ser reformuladas para incluir essas dimensões sociais, garantindo que as soluções implementadas sejam sustentáveis e equitativas.

No entanto, enquanto as secas extremas já foram previamente estudadas, as cheias extremas, com seus efeitos e desafios na logística urbana, também requerem uma análise mais profunda. As cheias podem provocar interrupções significativas no transporte e na distribuição de bens, além de impactar diretamente a infraestrutura física que podem ser danificadas ou destruídas. Este fenômeno deve ser analisado em pesquisas futuras para compreender plenamente suas implicações para a logística urbana em Manaus, permitindo a criação de soluções adaptativas que mitiguem seus efeitos adversos e garantam a continuidade das atividades essenciais durante os períodos de cheia e seca.

A resiliência urbana em Manaus depende de uma abordagem holística e integrada, que considere não apenas os aspectos físicos e técnicos, mas também as dinâmicas sociais e econômicas. A adoção de medidas adaptativas, combinada com o fortalecimento das políticas públicas e a mobilização da sociedade, torna-se essencial para reduzir os impactos da mudança climática e assegurar um futuro sustentável para a região amazônica.

Referências

ACEITUNO, P. *Trends in rainfall and temperature series in the Tropics: Southern Africa*. *Journal of Climate*, v. 1, n. 2, p. 228-241, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0228>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0228>2.0.CO;2). Acesso em: 05 jul. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas. Plano Nacional de Recursos Hídricos. (2019). Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 30 set. 2024.

ARAUJO, E. M.; NOBRE, C. A.; ADUSUMILLI, S. *Climate change and water scarcity in the Amazon: Challenges and opportunities for sustainable water management*. *Water Resources Management*, v. 36, n. 1, p. 177-191, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02975-8>. Acesso em: 05 jul. 2024.

AZEVEDO, J. L. *Memória de uma tragédia amazônica: o ciclo da borracha no Brasil*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1997.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Linhas de Crédito para Projetos de Adaptação Climática. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>. Acesso em: 05 jul. 2024.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Fundo Amazônia. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/nwps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-amazonia>. Acesso em: 05 jul. 2024.

BARBER, C. P., COCHRANE, M. A., SOUZA, C. M., & LAURANCE, W. F. *Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon*. *Biological Conservation*, 177, 203-209. (2014). Disponível em: [doi:10.1016/j.biocon.2014.07.004](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004). Acesso em: 05 jul. 2024.

BARBOSA, R. *A Amazônia*. São Paulo: Moderna, 1999.

BNDES. Caderno de Infra-Estrutura nº 7: Transporte na Região Amazônica. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. Programa de Aceleração do Crescimento - PAC. Brasília, 2023.

BRINGEL, M. M. S. Logística na Amazônia Ocidental: Suprimento e Transporte. Belém, 2002.

BRINKMAN, W. A. R.; RIBEIRO, M. N. As "Friagem" na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 44, n. 2, p. 3-34, 1972.

BUTTON, K. J.; HENSHER, D. A.; STOPHER, P. R. *Handbook of transport strategy, policy and institutions*. Bingley: Emerald Group Publishing, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/9781786352549>. Acesso em: 05 jul. 2024.

CARVALHO, J. D. D. *Circulation features and their relationship to rainfall patterns in the Amazon Basin during the 1982-83 El Niño event*. In: *Proceedings of the International Conference on Tropical Climate and Global Atmospheric Change*. Geneva: World Meteorological Organization, 1989. p. 425-430.

CHAVES, V. L. Comunidades Tradicionais Ribeirinhas da Amazônia: Modernidade e Invisibilidade. Manaus, 2001.

CLARK, D. B. et al. *Composites of forest atmospherically-driven carbon flux: A global perspective*. *Nature Geoscience*, v. 3, n. 3, p. 218, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo843>. Acesso em: 05 jul. 2024.

COEHN, S. L. et al. *Meteorological conditions associated with the formation and propagation of squall lines in eastern Amazonia*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 94, n. D11, p. 14167-14183, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/JD094iD11p14167>. Acesso em: 05 jul. 2024.

COEHN, S. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; KELLER, T. P. *An examination of the structure and dynamics of the Amazon squall line using Doppler radar and satellite imagery*. *Monthly Weather Review*, v. 123, n. 1, p. 258-278, 1995.

Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<0258>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<0258>2.0.CO;2). Acesso em: 05 jul. 2024.

CONFALONIERI, R. E.; JÚNIOR, M. R. M. C.; LANDMANN, T. L. *Climate change and dengue fever: An overview and a case study of Brazil*. Revista de Saúde Pública, v. 50, n. 1, p. 120-131, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S01518-8787.2016050006683>. Acesso em: 05 jul. 2024.

COSTA, L.; RIBEIRO, A. Infraestrutura logística e vulnerabilidade climática no Brasil. *Journal of Economic Studies*, v. 15, n. 3, p. 231-245, 2023.

COX, P.; RIVIERE, P.; JONES, D. Ondas de calor e infraestrutura urbana: Um estudo de resiliência climática em cidades australianas. (2022). *Gestão de Riscos Climáticos* v. 32, p. 100270. doi:2024.10.1016 /j.crm.2022.100270. Acesso em: 30 set. 2024.

DANIEL, A.; YAHYA, A.; ALEXANDRE, E. Mudanças climáticas e crises humanitárias na região do Sahel: Desafios e oportunidades para adaptação. (2021). *Cartas de Pesquisa Ambiental*, v. 16, n. 4, pág. 045001. doi: . 2024.10.1088 /1748 -9326 /abde99. Acesso em: 30 set. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Estatísticas de Acidentes de Trânsito 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>. Acesso em: 05 jul. 2024.

DIALLO, M. O. *The impact of new roads on economic development in the Sahel*. *Journal of African Development*, 20(2), 247-260. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/s41287-021-00400-1>. Acesso em: 05 jul. 2024.

FARAH, H.; FISHER, R.; ALI, S. Os impactos da variabilidade climática na hidrologia do Rio Nilo: Uma revisão. (2020). *Água*, v. 12, n. 5, pág. 1416. doi: 2024.10.3390 /w12051416. Acesso em: 30 set. 2024.

FISCH, G. F. *The structure and dynamics of a cold front in Amazonia: A case study*. *Monthly Weather Review*, v. 124, n. 12, p. 2577-2594, 1996a.

Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1996\)124<2577>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1996)124<2577>2.0.CO;2). Acesso em: 05 jul. 2024.

FISCH, G. F. *A climatology and analysis of cold fronts in the southern Amazon. Journal of Climate*, v. 9, n. 1, p. 350-364, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<0350>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<0350>2.0.CO;2). Acesso em: 05 jul. 2024.

FORSYTH, A.; KRIZEK, K. J.; RODRIGUEZ, D. *Assessing the relationship between car access and public transportation use in rural areas. Transport Policy*, v. 17, n. 3, p. 205-211, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.12.002>. Acesso em: 05 jul. 2024.

FRAXE, T. J.; PEREIRA, M. G.; WITKOSKI, A. C. *Desenvolvimento Sustentável da Amazônia*. Manaus: Editora INPA, 2007.

FREITAS, JR. Impactos das extremas secas na navegação fluvial amazônica: O caso do Rio Madeira. (2020). *Revista Brasileira de Geografia* v. 2, pág. 99-117. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-761220200020>. Acesso em: 30 set. 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Vigilância em Saúde do Ambiente*. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa>. Acesso em: 05 jul. 2024.

GARSTANG, M. et al. *The Brazilian Large-Scale Biosphere Experiment: Overview and introduction. Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 99, n. D7, p. 15373-15381, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/94JD00862>. Acesso em: 05 jul. 2024.

GONÇALVES, R. P., & DE OLIVEIRA, F. A. Impactos Ambientais e Sociais das Rodovias e Ferrovias. *Revista Brasileira de Infraestrutura*, 14(3), 115-130. (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/rbiv2020>. Acesso em: 05 jul. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. *Plano de Desenvolvimento Estratégico do Estado do Amazonas 2019-2023*. Disponível em:

<https://www.sedecti.am.gov.br/governo-do-amazonas-lanca-plano-com-novas-estrategias-para-o-desenvolvimento-economico/>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. Política Estadual de Mudanças Climáticas. 2019. Disponível em: <https://seama.es.gov.br/>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. Plano Estadual de Recursos Hídricos. 2020. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos-do-amazonas-e-aprovado-por-conselho-estadual/>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. Programa Amazonas Verde. 2020. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. Programa Cheias. 2021. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

GUERRA, A. J. T. Território e Meio Ambiente no Brasil. São Paulo: Editora Contexto, 2005.

HALL, A. The urbanization of the Amazon. *Geographical Journal*, v. 163, n. 3, p. 323-334, 1997.

HAMILTON, K.; TARIFA, C. R. *An analysis of a severe cold front in the Amazon Basin. Monthly Weather Review*, v. 106, n. 12, p. 1821-1825, 1978.

HAYES, J.; WANG, H. Impactos das mudanças climáticas na Bacia do Rio Mekong: Desafios atuais e futuros. (2018). *Revista de Hidrologia*, v. 556, pág. 57-69. doi: [10.1016/j.jhydrol.2017.11.031] . Acesso em: 30 set. 2024.

HAWKINS, A. "Energy Efficiency of Rail Transport." *Journal of Transport Economics and Policy*, 48(3), 339-356. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/23757440>. Acesso em: 05 jul. 2024.

HOGAN, C. M. *Analysis of highway planning and construction in the Amazon Basin. Journal of Transport Geography*, v. 10, n. 4, p. 265-285, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(02\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(02)00017-5). Acesso em: 05 jul. 2024.

HOGAN, C. M. *Amazon Basin Road and Highway Development: Impact on Deforestation. Environmental Review*, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/A08-001>. Acesso em: 05 jul. 2024.

HOGAN, C. M.; MELLO, N. A. *Projetos de infraestrutura na Amazônia: Avaliação de impactos socioambientais*. Brasília: Embrapa, 2015.

HOREL, J. D.; JONES, C. P.; NIELSON, D. J. *Meteorological aspects of the 1982-83 El Niño/Southern Oscillation event. Monthly Weather Review*, v. 117, n. 10, p. 2312-2329, 1989.

HUMBOLDT, A. von. *Ensaio político sobre o reino da Nova Espanha*. 1807.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira*. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/1727-sintese-de-indicadores-sociais.html>. Acesso em: 05 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/1727-sintese-de-indicadores-sociais.html>. Acesso em: 05 jul. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). *Políticas Sociais: Acompanhamento e Análise*, n. 18, 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/>. Acesso em: 05 jul. 2024.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Políticas Sociais: Acompanhamento e Análise*, n. 18, 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/>. Acesso em: 05 jul. 2024.

JONES, P. G.; THORNTON, P. K. *Croppers to livestock keepers: Livelihood transitions to 2050 in Africa due to climate change. Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 4, p. 427-437, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.08.006>. Acesso em: 05 jul. 2024.

KOHLHEPP, G. O que é a Amazônia. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

Kramer, L. J. "Fuel Consumption in Road Freight Transport." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 399-412. (2017). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.013>. Acesso em: 05 jul. 2024.

LAURANCE, W. F., GOOSEM, M., & LAURANCE, S. G. *Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 659-669. (2009). Disponível em: [doi:10.1016/j.tree.2009.06.009](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009). Acesso em: 05 jul. 2024.

LATHAM, J. *Ecological consequences of forest elephant declines for Afrotropical forests. Conservation Biology*, v. 14, n. 2, p. 1-19, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00000.x>. Acesso em: 05 jul. 2024.

LIMA, J. E. F.; SILVA, C. C. Análise da vulnerabilidade social nas áreas rurais da Amazônia Brasileira. *Boletim de Ciências Geográficas*, v. 25, n. 3, p. 325-338, 2017.

LIMA, R. A. G. *Amazônia em questão*. São Paulo: Moderna, 2000.

LOPES, A. S.; COSTA, D. R. Desmatamento e seus impactos no clima da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 2247-2262, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2247-2262>. Acesso em: 05 jul. 2024.

LORENZONI, I. V. *Atlas da Saúde e do Meio Ambiente da Amazônia*. Brasília: Editora Senado Federal, 2012.

MARQUES, A. P. C. Programas de Desenvolvimento Rural na Amazônia: A experiência do Projeto Igarapé-Açu. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005.

MARTINELLI, L. A. Amazônia: Uma visão integrada de recursos ecológicos. Campinas: Editora Unicamp, 2009.

MASCARENHAS, A. M. Análise de alternativas para o desenvolvimento sustentável na Amazônia. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2011.

MELO, A. M., & SILVA, T. R. Comparação entre Rodovias e Ferrovias: Aspectos Econômicos e Ambientais. *Journal of Transport Economics*, 22(2), 45-60. (2019). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jte.2019.03.004>. Acesso em: 05 jul. 2024.

MELO, R. D.; FERNANDES, M. L. Impactos ambientais e econômicos do desmatamento na Amazônia Legal. *Estudos Econômicos*, v. 37, n. 4, p. 889-914, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-41612007000400008>. Acesso em: 05 jul. 2024.

MENDONÇA, M. J. de. Desenvolvimento ecológico e econômico na Amazônia. *Revista do Instituto Geológico*, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2002.

MILITÃO, E. A. Desertificação no Brasil: uma abordagem metodológica. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

MIRANDA, A. L. D. A dengue na Amazônia: ecologia, sociologia e economia. Manaus: Editora Valer, 2001.

MONTENEGRO, S. M. G. Mapeamento e análise das estradas de Rondônia: Subsídio ao planejamento regional e ambiental. Belém: Universidade Federal do Pará, 2009.

MORAES, M. D. G. S. Ocupação e desmatamento na Amazônia Brasileira: Estudo de caso no Acre. São Paulo: Editora Hucitec, 2010.

MOREIRA, J. de S. Ciclos de exploração e desenvolvimento na Amazônia. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2004.

MOTTA, R. S. M. Políticas Públicas e o Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 2008.

MÜLLER, D. Estrutura e dinâmica das interações solo-planta na Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 5, p. 785-797, 2004.

NASCIMENTO, W. R. et al. *Ecophysiological traits of tree species in Amazonian and Atlantic forests*. *Oecologia*, v. 180, n. 3, p. 903-917, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3575-1>. Acesso em: 05 jul. 2024.

NEPSTAD, D. et al. *The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 107, n. D20, p. 1-18, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2001JD000360>. Acesso em: 05 jul. 2024.

NIJMEIJER, R.; HALL, J. S. *Modelling the spatial distribution of population and employment across sectors and regions in the Amazon*. *Journal of Economic Geography*, v. 4, n. 3, p. 215-229, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbh012>. Acesso em: 05 jul. 2024.

NISHIZAWA, P. H. et al. Padrões de degradação florestal e carbono na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 5, p. 1893-1910, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p1893-1910>. Acesso em: 05 jul. 2024.

OITICICA, J. P. M. Ecologia e planejamento do uso da terra na Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003.

OLIVEIRA, J. F., & PEREIRA, M. A. Eficiência de Transporte e Custo de Manutenção: Rodovias vs. Ferrovias. *Transport Policy Review*, 18(1), 87-99. (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tpr.2021.01.007>. Acesso em: 05 jul. 2024.

PERES, C. A. et al. *Ecological correlates of hunting in Neotropical forests: A review*. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 34, n. 2, p.

149-160, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1076/snfe.34.2.149.2014>. Acesso em: 05 jul. 2024.

PEREIRA, A. J.; GARRIDO, J. *Natureza e economia na Amazônia*. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 2007.

PETERS, C. M.; GENTRY, A. H.; MENDELSON, R. O. *Valuation of an Amazonian rainforest*. *Nature*, v. 339, n. 6227, p. 655-656, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/339655a0>. Acesso em: 05 jul. 2024.

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. *The vegetation types of the Brazilian Amazon*. In: *Amazonia*, Pergamon Press, 1985. p. 109-145.

PORTAL AMAZÔNIA. Portal Amazônia responde: O que é e quais são as calhas dos rios do Amazonas. (2024). Disponível em: <https://portalamazonia.com/meio-ambiente/portal-amazonia-responde-o-que-e-quais-sao-as-calhas-dos-rios-do-amazonas/>. Acesso em: 30 set. 2024.

PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 05 jul. 2024.

RAMOS, P. D. M. A evolução urbana e o crescimento populacional na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 4, n. 2, p. 83-99, 2002.

ROBERTS, C. P. et al. *Future plantations of eucalyptus in the Amazon: The impact on the environment and indigenous peoples*. *Journal of Economic Botany*, v. 12, n. 1, p. 39-52, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12231-008-9020-6>. Acesso em: 05 jul. 2024.

ROCHA, L. F. N.; OLIVEIRA, L. J. C. Revisão sistemática sobre o uso do sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação da Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 3, p. 555-567, 2017.

ROGERS, M. et al. *The economic importance of the Amazon Basin. Environmental Conservation*, v. 12, n. 3, p. 239-248, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892900007821>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SANTOS, A. M., & ANDRADE, M. B. "The Environmental Benefits of Railway Transportation in the Amazon Region." *Environmental Science & Policy*, 2016. 66, 24-31. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.007>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SANTOS, R. F. dos. *A economia da Amazônia*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004.

SANTOS, S. N. dos. *A mineração na Amazônia*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000.

SCHNEIDER, R. R.; SOUZA, C. M. *Environmental costs of government-subsidized infrastructure development in the Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 49, p. 20653-20658, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0806032106>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SILVA, E. C. B. da. *A rede de pesquisa na Amazônia: Contribuições para o desenvolvimento sustentável*. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2001.

SILVA, J. G. C. da. *O desenvolvimento industrial na Amazônia Brasileira*. São Paulo: Editora Ática, 1999.

SANTOS, J. F. & OLIVEIRA, T.H. *Infraestrutura e Transporte Fluvial na Região Norte do Brasil*. (2021). Manaus: Editora Regional.

SILVA, M. A & LIMA, P.R. *Logística e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia*. (2019). Rio de Janeiro: Editora Ambiental.

SILVA, M. A. & SANTOS, P. F. *Sedimentação e mudanças climáticas: Desafios para a navegabilidade no Rio Madeira*. (2019). Estudos Amazônicos v. 1, pág. 34-52. Disponível em:

2024.<https://doi.org/10.24873/j.mazonia.v8.n1.34-52>. Acesso em: 30 set. 2024.

SILVA, P. L., & COSTA, R. N. Impacto Sonoro e Poluição: O Caso das Rodovias e Ferrovias. *Environmental Studies Journal*, 12(4), 203-220. (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1093/esj/12.4.203>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SILVA, P. R. R. e; VIEIRA, I. C. G. Expansão da fronteira agropecuária na Amazônia Brasileira: Análise temporal e espacial. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 2, p. 161-169, 2010.

SILVEIRA, A. B.; FERREIRA, M. T. Amazônia em questão: Perspectivas de desenvolvimento sustentável. Belém: CEJUP, 2001.

SOUZA, A. R. & CARVALHO, J. P. A Bacia Amazônica: Hidrologia e Importância Econômica. (2020). São Paulo: Editora Hidrológica.

SOUZA, C. M. et al. *Ecological consequences of forest fragmentation in the Amazon*. *Oecologia*, v. 119, n. 2, p. 208-218, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004420050779>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A. *Image-based remote sensing for the detection of deforestation in the Brazilian Amazon*. *Remote Sensing of Environment*, v. 88, n. 2, p. 111-123, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.07.009>. Acesso em: 05 jul. 2024.

TEIXEIRA, P. R. M. A expansão urbana e os desafios ambientais na Amazônia. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 4, n. 2, p. 154-168, 2012.

THOMAS, W. M. et al. A reconciliação da conservação da biodiversidade e o desenvolvimento econômico na Amazônia Brasileira. *Biodiversity and Conservation*, v. 22, n. 12, p. 2907-2929, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0540-6>. Acesso em: 05 jul. 2024.

TROMPOWAKY, M. A seca do Rio Amazonas e os impactos logísticos e econômicos para a região Norte. 2023. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/artigos/artigos-de-opiniao/artigo-a-seca-do-rio-amazonas-e-os-impactos-logisticos-e-economicos-para-a-regiao-norte>. Acesso em: 05 jul. 2024

VIANA, V. M.; et al. *Sustainable development and ecological footprint in the Brazilian Amazon. Forest Ecology and Management*, v. 140, n. 1-3, p. 227-245, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00285-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00285-0). Acesso em: 05 jul. 2024.

VIANNA, M. L.; VELASQUEZ-MELENDZ, G.; OLIVEIRA, A. S. Desmatamento e queimadas na Amazônia: O papel das políticas públicas e das dinâmicas socioambientais. *Revista de Administração Pública*, v. 53, n. 5, p. 917-935, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-7612195315113>. Acesso em: 05 jul. 2024.

VIEIRA, M. C., & CARDOSO, S. J. Acidentes e Perdas de Mercadorias no Transporte Rodoviário e Ferroviário. *Journal of Logistics and Transportation*, 15(2), 77-90. (2017). Disponível em: <https://doi.org/10.1080/jlt.2017.08.010>. Acesso em: 05 jul. 2024.

WALSH, P. D. et al. *The biodiversity of the Congo Basin: A priority for conservation. Ambio*, v. 29, n. 7, p. 613-624, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.7.613>. Acesso em: 05 jul. 2024.

WUNDER, S. et al. *Challenges of sustainable forest management in the Brazilian Amazon. Forest Ecology and Management*, v. 110, n. 1-3, p. 159-176, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00300-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00300-0). Acesso em: 05 jul. 2024.

XIMENES, A. J. B. Pecuária e o desmatamento na Amazônia: Impactos econômicos e ambientais. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005.

YANAI, A. M. et al. *Relevance of seasonal climate forecasts for agriculture in the Amazon Basin. Journal of Applied Meteorology*, v. 42, n. 5, p. 650-

662, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<0650>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<0650>2.0.CO;2). Acesso em: 05 jul. 2024.

ZIMMERMAN, B. L. et al. *Carbon emissions of tropical forest degradation caused by logging*. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 1, p. 014010, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014010>. Acesso em: 05 jul. 2024.

A CRÍTICA. Além da seca, outros fatores impactaram o PIM em 2023. Disponível em: <https://www.acritica.com/economia/alem-da-seca-outros-fatores-impactaram-o-pim-em-2023-1.327816>. Acesso em: 30 set. 2024.