UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA

SELTON MACHADO SILVA

DANOS HIDROCLIMÁTICOS: OS CUSTOS ECONÔMICOS CAUSADOS POR EVENTOS EXTREMOS NO AMAZONAS

Manaus/AM
2025

SELTON MACHADO SILVA

DANOS HIDROCLIMÁTICOS: OS CUSTOS ECONÔMICOS CAUSADOS POR EVENTOS EXTREMOS NO AMAZONAS

Orientador: Prof. PhD. Henrique dos Santos Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Salomão Franco Neves

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Manaus/AM
2025

SELTON MACHADO SILVA

DANOS HIDROCLIMÁTICOS: OS CUSTOS ECONÔMICOS CAUSADOS POR EVENTOS EXTREMOS NO AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Data de Aprovação: 10/09/2025

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. PhD, Henrique dos Santos Pereira, UFAM, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

_____

Dr. Danilo Egle Santos Barbosa,
Universidade de Aveiro - Portugal

_____

Profa. Dra. Lenice Ypiranga Benevides de Araújo Vieira Sá,
Universidade Federal do Amazonas

_____

Prof. Dr. Fabricio Beggiato Baccaro,
Universidade Federal do Amazonas

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586d Silva, Selton Machado
Danos Hidroclimáticos: Os Custos Econômicos Causados Por Eventos Extremos no Amazonas / Selton Machado Silva. - 2025.
99 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Henrique dos Santos Pereira.
Coorientador(a): Salomão Franco Neves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Manaus - Amazonas, 2025.

1. Eventos Extremos. 2. Custos Econômicos. 3. Resiliência. 4. Eventos Extremos. 5. Custos Econômicos. I. Pereira, Henrique dos Santos. II. Neves, Salomão Franco. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. IV. Título

---

Dedico esse trabalho à minha querida tia Iara Cristina Martins Machado, que infelizmente não está aqui para desfrutar dessa imensa alegria e conquista, porém sempre será uma das minhas maiores fontes de inspiração.

(in memorian)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e sabedoria que, nos momentos de angústia, foi minha fonte fortalecedora para vencer todos os desafios nessa caminhada.

A minha esposa, Catherine Bianca Oliveira do Rego Machado, a mulher dos meus sonhos, a pessoa que me traz mais alegrias e que tive o prazer de ser aceito para compartilhar a vida ao lado.

A minha mãe, Maria do Perpétuo Socorro Martins Machado, a mulher mais bondosa, caridosa e generosa que tive a honra todos os dias de chamar de mãe, que desde sempre me apoia, me fortalece e sempre esteve presente em todos os momentos alegres, tristes, de conquistas ou de perda.

Ao meu pai, Orivelton Guerreiro da Silva, homem de muito conhecimento e que apesar dos cascudos sempre esteve presente no meu ensino e na formação do meu caráter como pessoa e como cidadão.

Ao meu querido orientador, Professor Doutor Henrique dos Santos Pereira, uma das minhas maiores fontes de inspiração na ciência, no ensino, na extensão e nessa caminhada como pesquisador.

Ao meu querido ex-orientador e agora coorientador, Professor Doutor Salomão Franco Neves, minha maior fonte de inspiração na carreira docência e nas ciências econômicas.

Ao meu querido chefe e tio Doutor Ademar Roberto Martins de Vasconcelos, por todos os ensinamentos, puxões de orelha, risadas, bolos nos aniversários e lanches nos dias de fome, és um dos meus maiores pilares na vida.

Aos meus queridos tios, tias, primos e afilhado, em especial a Orlanda e a Nayara, minhas queridas primas que estão comigo no dia a dia e acompanharam a rotina exaustiva de aulas, seminários, provas e a dissertação.

Aos meus queridos amigos, em especial aos que tiveram comigo nesses dois últimos anos, os futuros doutores Aíxa Lopes e Xadreque Victorino, e a futura mestra Sissi Mikaella.

Ao Instituto Acariquara Organização de Serviços Socioambientais Sustentáveis, que me possibilitou as melhores vivências e experiências no ramo profissional e que, também contribuiu para o profissional que sou hoje.

Aos meus queridos amigos do Acariquara, que celebram e nutrem todos os dias uma união única, um saudoso abraço à Lany, à Ane, à Michelle, à Marcela, ao Ian e ao Sabá que se desdobram todos os dias em diversos projetos.

A Universidade Federal do Amazonas, que me proporcionou o melhor ambiente possível para o aprendizado científico.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia - PPGCASA, em seu corpo docente e todos os seus colaboradores técnicos e administrativos, em especial o saudoso Sr. Carlos Augusto, mais conhecido como Tijolinho, sempre atencioso e solícito para ajudar a todos.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por conceder a bolsa de estudos neste período.

A todos os professores do Departamento de Economia e Análise da Universidade Federal do Amazonas que contribuíram para minha formação.

RESUMO

O aumento da frequência e intensidade de eventos hidroclimáticos extremos, como cheias, estiagens, chuvas intensas e incêndios florestais, constitui um dos principais desafios socioeconômicos e ambientais do Amazonas. Esses fenômenos, potencializados pela mudança climática, afetam infraestrutura, cadeias produtivas e a vida das populações ribeirinhas e urbanas, gerando custos econômicos diretos e indiretos que comprometem políticas públicas e investimentos estruturantes. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo identificar e avaliar os custos econômicos provocados por desastres naturais de origem hidroclimática no estado, considerando tanto perdas públicas e privadas quanto custos de oportunidade, a fim de subsidiar decisões de gestão de risco e formulação de políticas de adaptação e mitigação. A pesquisa adotou abordagem exploratória e quantitativa, abrangendo os 62 municípios amazonenses, no período de 2009 a 2023, a partir de dados oficiais do Atlas Digital de Desastres no Brasil, tratados com correção monetária e analisados mediante estatística descritiva, regressão linear simples e modelos de contagem. Os resultados indicam prejuízos do setor público, especialmente em infraestrutura, assistência emergencial e serviços essenciais, com valores bilionários acumulados, além de perdas significativas no setor privado, sobretudo na agricultura e comércio. Verificou-se tendência de intensificação das ocorrências e redução do intervalo entre eventos extremos, com destaque para cheias históricas e secas severas. Os padrões observados reforçam a urgência de políticas preventivas, investimentos em infraestrutura resiliente, sistemas de alerta precoce, integração entre entes federativos e ampliação de instrumentos financeiros, como seguros agrícolas e contra catástrofes. Conclui-se que a internalização dos custos ambientais e sociais nas economias locais e a adoção de soluções baseadas na natureza são estratégicas para reduzir vulnerabilidades e assegurar a sustentabilidade econômica e social frente aos impactos da mudança climática na Amazônia.

Palavras-Chave: Eventos Extremos, Custos Econômicos, Resiliência.

ABSTRACT

The increasing frequency and intensity of extreme hydroclimatic events, such as floods, droughts, heavy rainfall, and forest fires, represent major socioeconomic and environmental challenges in Amazonas. These phenomena, intensified by climate change, affect infrastructure, production chains, and the livelihoods of riverine and urban populations, generating direct and indirect economic costs that compromise public policies and structural investments. This study aimed to identify and assess the economic costs caused by hydroclimatic disasters in the state, considering public and private losses as well as opportunity costs, to support risk management decisions and the formulation of adaptation and mitigation policies. An exploratory and quantitative approach was applied to all 62 municipalities between 2009 and 2023, using official data from the Digital Disaster Atlas, adjusted for inflation and analyzed through descriptive statistics, simple linear regression, and count models. Results reveal predominance of losses in the public sector, particularly in infrastructure, emergency assistance, and essential services—with accumulated values in the billions, alongside significant private losses, especially in agriculture and commerce. The observed patterns highlight the urgency of preventive policies, resilient infrastructure investments, early warning systems, intergovernmental integration, and expanded financial instruments such as agricultural and catastrophe insurance. It is concluded that internalizing environmental and social costs into local economies and adopting nature-based solutions are strategic to reducing vulnerabilities and ensuring economic and social sustainability in the face of climate change impacts in the Amazon.

Keywords: Extreme Events, Economic Costs, Resilience.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perda de vidas e danos causados por eventos climáticos extremos devido às mudanças climáticas.....23
Gráfico 2: Eventos extremos hidroclimáticos por ano.....48
Gráfico 3: Registros por tipo de evento no Amazonas (2009 a 2023).....53
Gráfico 4: Valor dos danos materiais.....59
Gráfico 5: Valor dos prejuízos públicos.....61
Gráfico 6: Valor dos prejuízos privados.....64
Gráfico 7: Distribuição dos danos por tipologia de desastres hidrológicos no Amazonas.....69
Gráfico 8: Tendências de ocorrências por ano.....70
Gráfico 9: Total de dano por ano.....72
Gráfico 10: Tendência ao longo do tempo por grupo de desastre.....74

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Registros de Ocorrências de Desastres no Amazonas 49
Tabela 2: Danos Humanos.....55
Tabela 3: Danos Materiais.....57
Tabela 4: Prejuízos por Evento 67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Atuação da Defesa Civil.....19
Figura 2: Mapa do Estado do Amazonas 38
Figura 3: Mapa do estado do Amazonas.....51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Cat bonds	Títulos de Catástrofe
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
DH_total_danos_humanos	Total de Danos Humanos
DHARMa	Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models
DM_total_danos_materiais	Total de Danos Materiais
dplyr	Pacote de manipulação de dados na linguagem R
FIDE	Formulário de Informações de Desastres
FGV	Fundação Getulio Vargas
Fundo Clima	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
FUNCAP	Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil
ggplot2	Pacote de visualização de dados na linguagem R
glmmTMB	Generalized Linear Mixed Models using Template Model Builder
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
lubridate	Pacote para manipulação de datas na linguagem R
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
Minitab	Software de análise estatística
PEPL_total_publico	Total de Prejuízos ao Setor Público
PEPR_total_privado	Total de Prejuízos ao Setor Privado
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
quantreg	Pacote para regressão quantílica na linguagem R
R	Linguagem e ambiente para computação estatística
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEMA-AM	Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas
Swiss Re Institute	Instituto de Pesquisa da Swiss Re
tidyr	Pacote de organização de dados na linguagem R
Tidyverse	Conjunto de pacotes para ciência de dados na linguagem R
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

2. REFERENCIAL TEÓRICO 18

2.1 Gestão de Riscos e Gerenciamento de Desastres 18

3. POLÍTICAS PÚBLICAS E DESASTRES 29

3.1 Política Nacional de Meio Ambiente e de Clima 29
3.2 Política Estadual de Meio Ambiente e de Clima 30
3.3 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil 31
3.4 Seguros Privados Frente as Perdas Climáticas 34

4. METODOLOGIA 38

4.1 Área de Estudo 38
4.2 Base de Dados 40
4.3 Tratamento e Análise dos Dados 43

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 46

5.1 Caracterização dos eventos hidroclimáticos extremos no Amazonas 47
5.2 Registros de Danos dos Eventos Hidroclimáticos Extremos 55
5.3. Registros de Prejuízos dos Eventos Hidroclimáticos Extremos 59
5.4 Variações dos Eventos Hidroclimáticos Extremos no Amazonas 68

5. CONCLUSÃO 77

6. REFERÊNCIAS 80

7. ANEXOS 83

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo no interesse por investigações voltadas aos fenômenos naturais extremos em diferentes partes do globo. Esses eventos, frequentemente associados ao equilíbrio entre as ações humanas e os processos ambientais, têm sido alvo de análises aprofundadas, visando compreender suas causas e impactos.

À medida que se tornam mais comuns e graves, os eventos extremos têm-se mostrado uma ameaça significativa à estabilidade econômica global. Esses fenômenos, como tempestades mais intensas, secas prolongadas, incêndios florestais descontrolados e inundações devastadoras, causaram danos à infraestrutura, à produção agrícola, à indústria energética e a muitas outras áreas abertas (IPCC, 2022).

Conforme a Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012, que criou a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), um desastre é o desenvolvimento de um evento adverso, seja natural ou antrópico, que ocorre em um ambiente suscetível e resulta em perturbações graves no funcionamento de uma comunidade ou sociedade. Essas ocorrências podem resultar em grandes perdas e danos materiais, humanos, econômicos ou ambientais, que ultrapassam a capacidade da comunidade ou da sociedade de lidar com tais problemas de forma independente (YOUNG et al., 2015).

Os custos associados aos eventos climáticos extremos são extensos e variados. Em primeiro lugar, há as perdas diretas que incluem os danos físicos às propriedades, construções, cultivos, estradas, pontes e outras infraestruturas. Governos, empresas e pessoas pagam caro e de forma cada vez mais constante para proteger o patrimônio e remover esses danos.

Os eventos climáticos extremos também podem interromper os negócios e causar perdas de produção. Por dependerem fortemente de condições climáticas limitadas, setores como agricultura, pesca, turismo e transporte são particularmente afetados por esses impactos. Segundo Pyndick (2013), a interrupção da cadeia de abastecimento também pode levar a restrições da oferta e circulação da produção, o que aumenta os preços e afeta os consumidores.

Após eventos extremos climáticos, os gastos governamentais com saúde também aumentam. Desastres naturais estão geralmente associados a um aumento

na demanda por serviços de saúde devido a lesões, doenças ambientais[1] e problemas de saúde mental. Além disso, o governo deve distribuir fundos para assistência de emergência, reconstrução de infraestrutura e implementação (FREITAS et al., 2014).

Além disso, eventos climáticos extremos podem afetar o mercado financeiro, alterando as taxas de câmbio, os preços das commodities e os preços dos seguros. A maior frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos também pode colocar as empresas e os investidores em risco crescente. O que pode resultar em perdas financeiras em formato de cadeia, ao redor do globo, havendo assim uma crescente preferência ao redor do mundo por ativos mais verdes.

Estimar e arcar com as despesas associadas aos eventos extremos intensificados pela mudança climática são desafios cada vez maiores e mais complexos para as sociedades e economias globais. Em um futuro cada vez mais incerto para o clima, a eficácia da mitigação e da adaptação a essas mudanças no clima é essencial para reduzir esses custos, proteger as comunidades mais vulneráveis, promover a resiliência econômica e, por fim, assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento.

Portanto, para lidar com os custos crescentes que surgem como resultado de desastres naturais, são necessárias as informações completas para subsidiar o tomador de decisão público a compreender quais são os custos econômicos causados por eventos extremos no estado do Amazonas, a priorizar dentre as diversas medidas possíveis, aquelas que poderão ou mesmo deverão ser adotadas. Dentre as medidas preventivas e de reposta estão os investimentos em infraestrutura robusta, os sistemas de alerta precoce, o planejamento urbano adequado, os programas de seguro e assistência financeira para os afetados e a promoção da sustentabilidade ambiental bem como soluções baseadas da própria da natureza. O conjunto dessas medidas garantiria a resiliência econômica, ambiental e social das cidades, diante das ameaças associadas à mudança climática.

Essas medidas são essenciais para enfrentar as externalidades negativas geradas pela mudança climática, garantindo que os custos ambientais e sociais sejam incorporados às economias locais e globais. Nesse cenário, o papel

[1] Doenças ambientais são condições de saúde causadas ou agravadas pela exposição a fatores ambientais perigosos. A poluição do ar, a água contaminada, a exposição a produtos químicos, as mudanças climáticas e a manipulação do ecossistema estão entre essas coisas (GONZALES et. al, 2014).

do governo é fundamental. Ao direcionar recursos para infraestrutura resiliente, sistemas de alerta precoce e soluções baseadas na natureza, os governos podem mitigar os impactos dos eventos climáticos extremos e fomentar um desenvolvimento mais sustentável. Além disso, a implementação de políticas públicas, como a precificação de carbono, a criação de mercados de créditos de carbono e a regulamentação de atividades poluentes, é crucial para alinhar os incentivos econômicos com as metas ambientais.

Essas iniciativas ajudam a garantir que os responsáveis pelas emissões arquem com os custos dos danos causados (internalizando as externalidades) e que os benefícios das práticas sustentáveis sejam distribuídos de forma mais equitativa. Sem a intervenção do Estado, o mercado tende a negligenciar os custos ambientais, perpetuando ações insustentáveis e ampliando os riscos climáticos. Dessa forma, a atuação governamental é indispensável para fortalecer a resiliência econômica, ambiental e social frente aos desafios impostos pela mudança climática.

Considerando a crescente ocorrência de desastres e os significativos prejuízos econômicos resultantes de eventos climáticos extremos, esta pesquisa teve como objetivo principal: “identificar e avaliar os custos econômicos provocados por desastres naturais de origem hidroclimático, associados a fenômenos climáticos extremos, no estado do Amazonas”.

É fundamental destacar que os custos econômicos associados aos eventos extremos não se limitam a prejuízos financeiros ou monetários imediatos. Trata-se também de custos de oportunidade, escolhas que indivíduos, governos e agentes econômicos precisam fazer ao alocar recursos escassos em um cenário de riscos crescentes. Esses custos monetários que serão identificados podem influenciar, por exemplo, o adiamento de investimentos em outras áreas sociais ou produtivas para atender a emergências climáticas, além das renúncias implícitas que comprometem políticas públicas de longo prazo. O custo econômico, nesse sentido, inclui o impacto das decisões (ou da ausência delas) sobre o bem-estar coletivo, o desenvolvimento sustentável e a resiliência das comunidades. Essa perspectiva é essencial para compreender a profundidade dos impactos dos eventos hidroclimáticos extremos no Amazonas, pois ultrapassa os danos físicos e revela as consequências estruturais e sistêmicas das escolhas feitas diante da crise climática.

No sentido de encontrar novas dinâmicas ou tendências, essa pesquisa seguiu os objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar os principais desastres hidroclimáticos associados a eventos extremos;
- ✓ Levantar os custos econômicos do setor público em formato de perdas (ou danos) e de assistência aos afetados e do setor privado no formato de perdas ou prejuízos materiais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho fornece uma cronologia conceitual que destaca algumas das complexas interações entre as atividades humanas e o meio ambiente, particularmente à luz da mudança climática. Nas últimas décadas, houve uma variedade de eventos extremos, variando desde ondas de calor devastadoras até furacões de proporções catastróficas. Essas ações provocaram transformações significativas no padrão climático global, desestabilizando ecossistemas delicadamente equilibrados e expondo sociedades vulneráveis aos riscos crescentes. Além disso, a frequência e a gravidade dos eventos extremos têm um impacto direto nos custos econômicos, tanto em termos de danos materiais imediatos como de custos de reconstrução e adaptação a longo prazo, esses custos não apenas sobrecarregam os sistemas econômicos, mas também afetam desproporcionalmente comunidades vulneráveis e países em desenvolvimento.

2.1 Gestão de Riscos e Gerenciamento de Desastres

É crucial entender que as reações das ações humanas sobre o meio ambiente são complexas e multifacetadas ao explorar as causas e efeitos desses impactos. Os efeitos da mudança climática impactaram todas as esferas da sociedade, variando desde mudanças na disponibilidade de recursos naturais até o aumento da pressão sobre sistemas de saúde e infraestrutura. Consequentemente, a finalidade deste estudo não é apenas registrar os ocorridos, mas também fornecer dados fundamentais para influenciar políticas e práticas que possam reduzir os impactos futuros e estimular uma coexistência mais sustentável entre a humanidade e o planeta Terra.

Essa pesquisa se baseia no alicerce da Gestão de Riscos e do Gerenciamento de Desastres, buscando informações para o tomador de decisão acerca dos custos de eventos climáticos extremos, como sugere o ciclo de atuação da defesa civil:

Figura 1: Ciclo de Atuação da Defesa Civil

Fonte: Brasil (2021)

No esquema conceitual, se diferenciam a gestão de riscos e o gerenciamento de desastres, destacando-se as fases e ações envolvidas em cada uma dessas abordagens. A parte superior, representada em azul, corresponde à gestão de riscos, que tem como foco a prevenção e mitigação de possíveis desastres. Dentro desse processo, são abordadas atividades como a análise de risco, a implementação de medidas para a redução desses riscos e ações voltadas à preparação e monitoramento, garantindo que a sociedade e os órgãos responsáveis estejam prontos para enfrentar eventuais ameaças.

Já a parte inferior da imagem, destacada em laranja, refere-se ao gerenciamento de desastres, que envolve as fases de resposta e recuperação após a ocorrência de um evento adverso. Nesse contexto, são adotadas medidas emergenciais como socorro imediato, assistência humanitária e ações para restabelecimento dos serviços

essenciais, além de iniciativas de reconstrução e recuperação para minimizar os impactos a longo prazo. No centro do esquema, há a distinção entre risco e desastre. O risco está relacionado à possibilidade da ocorrência de um evento adverso, enquanto o desastre representa a concretização desse evento e suas consequências para a sociedade e o meio ambiente. como a imagem demonstra, a gestão de riscos desempenha um papel essencial na redução dos impactos financeiros, uma vez que ações preventivas e estratégias de mitigação podem diminuir os danos causados por eventos climáticos extremos, como enchentes e secas prolongadas, que frequentemente afetam a região amazônica. No entanto, quando o desastre ocorre, há custos inevitáveis associados às ações emergenciais e à recuperação, incluindo gastos com socorro, assistência humanitária e reconstrução de infraestrutura. Esta pesquisa pode se beneficiar desse esquema ao considerar a relação entre investimentos em prevenção e a redução dos custos de resposta, destacando a importância de políticas públicas voltadas ao planejamento e à resiliência diante de desastres ambientais.

a. Eventos Extremos

As mudanças nos padrões climáticos da Terra que ocorrem ao longo do tempo são conhecidas como mudança climática. A mudança do clima global vem sendo causada principalmente pelas atividades humanas, pelos seus processos industriais que liberam grandes doses de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), na atmosfera (HUILI, LI E NGUYEN, 2023). O acúmulo desses gases atmosféricos desencadeia o aquecimento global e provoca o desequilíbrio climático. Os efeitos da mudança do clima são amplos e variados. Eles incluem o aumento da temperatura média global, o derretimento das calotas polares e geleiras, o aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos (como tempestades mais fortes, secas prolongadas e ondas de calor), mudanças nos padrões de interceptação, ameaças à segurança alimentar e hídrica e alterações no funcionamento dos ecossistemas (INPE, 2005).

Eventos extremos podem ser entendidos como variações significativas em relação aos padrões climáticos normais, ocorrendo em períodos que podem variar de alguns dias a milhares de anos. Definir esses fenômenos como resultado de condições meteorológicas ou climáticas é uma tarefa desafiadora, já que eles abrangem

diferentes contextos espaciais e temporais (MARENGO et al., 2007).

O termo "evento hidroclimático extremo” quando relacionado ao fator, refere-se a um evento meteorológico ou climático que sai dos padrões normais ou históricos e tem um grande impacto na sociedade e no meio ambiente. Exemplos desses fenômenos são as tempestades fortes e extensas, secas prolongadas, ondas de calor, enchentes devastadoras, furacões e tornados catastróficos. Eles têm o potencial de causar danos à infraestrutura, destruir propriedades, causar perda de vidas humanas, afetar a economia e afetar a sociedade (PERKINS-KIRKPATRICK e PITMAN, 2018).

Outro ponto importante levantado por Marengo (2009), sobre os eventos climáticos extremos é a questão das mudanças nas estações do ano. Uma época de chuvas fraca ou muito forte, com temperaturas altas causadas por mudanças na temperatura do mar no Oceano Pacífico tropical (como os fenômenos El Niño e La Niña) ou no Atlântico tropical e subtropical, pode trazer grandes problemas para as pessoas e para setores da economia que dependem da água.

Marengo (2009) dá como exemplo uma das secas mais graves que aconteceu no sudoeste da Amazônia em 2005. Essa seca afetou muitas comunidades que vivem perto do Rio Amazonas e de seus afluentes, como os rios Solimões e Madeira. Naquela época, o nível dos rios chegou ao mais baixo já registrado, e a navegação teve que ser parada. Isso deixou pequenas comunidades isoladas e prejudicou o turismo e a vegetação das margens dos rios, fato que ocorre até os dias atuais quando acontecem eventos dessa proporção na região.

Conforme Santos (2013), “uma das principais preocupações da sociedade contemporânea em relação às projeções do clima diz respeito às possíveis mudanças na frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos de curta duração”. Nas palavras da autora, a problemática do evento extremo tem se tornado mais preocupante não somente pela intensidade e prejuízo que os eventos causam, mas pela constância de ocorrência desses eventos.

Por conta do grau devastador que a mudança climática pode causar ao bem-estar humano, este é o primeiro caso na história moderna em que as principais nações do mundo optaram por um assunto que não está relacionado aos problemas clássicos de economia ou segurança (ANDRADE E COSTA 2008, Apud VIOLA e LEIS 2001).

Conforme estudo de Almudi e Sinclair (2022), as populações mais vulneráveis residentes na Amazônia, como os povos indígenas e comunidades tradicionais tanto de várzea quanto de terra firme, dispõem da percepção que os eventos de cheia

extrema a partir do ano de 2009 estão cada vez mais regulares, onde o período de subida dos rios está cada vez mais elevado, com maior velocidade e com essa sazonalidade cada vez mais em desequilíbrio. O estudo também apresenta a percepção dessas populações que as tempestades se encontram no mesmo padrão, mais intensos e mais comuns, os autores dizem que “Os participantes de ambas as fases mencionaram comumente que os eventos climáticos estão se tornando mais variáveis, com maior amplitude de intensidade em prazos mais curtos”, eles relacionam essas percepções com a literatura regional e avaliam que há correlação.

Quadro 1: Impactos das principais alterações hidroclimáticas e eventos extremos nas comunidades rurais

Meios de subsistência	Frequencia	A infraestrutura	Frequencia	Saúde	Frequencia
Inundações extremas					
Perda de colheitas, sementes, propágulos	Alto	Deterioração de casas/edifícios	Alto	Vida selvagem perigosa (cobras)	Baixo
Temporada de colheita mais curta	Alto	Perda de móveis e eletrodomésticos	Alto	Falta de comida e água potável	Baixo
Perda de animais, menor produtividade	Médio	Danos aos materiais devido à alta umidade	Médio	Aumento de infecções de pele	Baixo
Perda de plantas perenes, menor produtividade	Médio	Rede elétrica afetada	Baixo	Enxaqueca, dor de cabeça, dor nas costas	Baixo
Aumento dos estoques de peixes	Médio	Perda de terras devido a quedas nas margens do rio	Baixo	Afogamento	Baixo
Secas hidrológicas extremas					
Mortalidade de peixes (em lagos, canais)	Alto	Dificuldade de acesso e transporte	Médio	Falta de água potável	Baixo
Perda de produção (transporte difícil)	Alto	Aumento dos custos das mercadorias	Médio	Transporte difícil de pacientes	Baixo
Morte de gado (por falta de água)	Médio	Barcos encalhados, acidentes de lanchas	Médio	Vida selvagem perigosa (jacaré)	Baixo
Acesso difícil à madeira/PFNM	Médio	Danos às artes de pesca	Baixo	Acidentes com lanchas	Baixo
Dificuldade de acesso às zonas de pesca	Médio	Danos em casas flutuantes em terra firme	Baixo	Diarréia (água poluída)	Baixo
Verões mais secos e quentes					
Redução da produtividade das culturas	Alto	Casa e colheita queimadas nas terras altas	Médio	Dor de cabeça, mal-estar, fadiga	Baixo
Incapaz de cultivar vegetais verdes	Alto	Perdas materiais por incêndio	Médio	Doenças respiratórias	Baixo
Menor produtividade das pastagens	Médio	Perda de material produtivo por incêndio	Médio	Infecção ocular devido à fumaça	Baixo
Mortalidade de peixes (na aquicultura)	Médio	Perda de casas devido ao incêndio	Baixo	Emocionalmente abalado devido ao fogo	Baixo
Perda de árvores (também devido a inundações)	Baixo	Contribui para os impactos das secas	Baixo	Insolação	Baixo

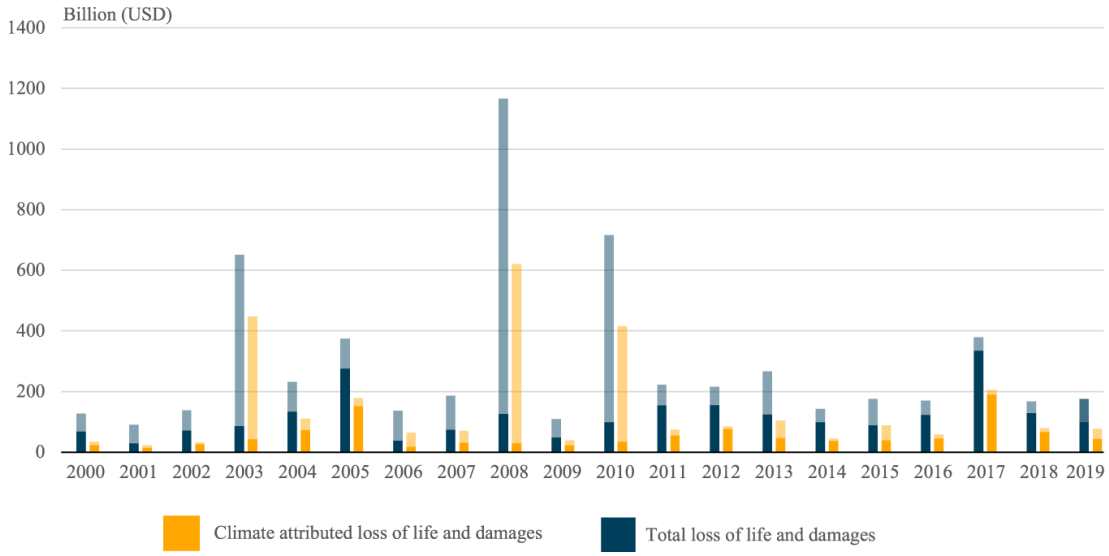
Fonte: Almudi e Sinclair (2022)

Em relação aos impactos é notório que os mais vulneráveis são os primeiros a sentir, o quadro 1 demonstra alguns abalos que eventos extremos hidroclimáticos trazem para a vida dos moradores de comunidades rurais da Amazônia, possibilitando assim avaliar os perigos desses eventos que prejudicam principalmente a subsistência, as infraestruturas e como dito acima a saúde das pessoas.

Conforme descrito por Newman e Noy (2023), de 2000 a 2019 cerca de 143 milhões de dólares por ano em média de custos estão atribuídas as alterações climáticas, conforme gráfico 1, sendo cerca de 63% decorrente de alguma perda de

vida humana, configurando assim um alerta mundialmente em que a mudança do clima está acarretando custos para as sociedades, governos e diretamente na vida das pessoas (NEWMAN e NOY, 2023).

Gráfico 1: Perda de vidas e danos causados por eventos climáticos extremos devido às mudanças climáticas



Fonte: Newman e Noy (2023)

Na apresentação do balanço de atendimentos e dos gastos federais com desastres na câmara dos deputados, o secretário nacional de Proteção e Defesa Civil, demonstrou que cerca de 2.797 municípios brasileiros estiveram em emergência ou estado de calamidade pública no ano de 2023 sendo assim destinados R$: 1,4 bilhão para o atendimento das cidades afetadas por desastres. O que reforça a demanda por recurso para mitigação e a necessidade de medidas de prevenção pela defesa civil (BRASIL, 2023).

É crucial reconhecer que a Terra é um sistema vivo intricadamente interconectado. Eventos extremos impulsionados pela mudança climática têm o potencial de causar impactos significativos em ambientes com resistência, como, por exemplo, na Amazônia. Esses impactos não ficam confinados às fronteiras da floresta tropical; eles reverberam por todo o planeta, afetando diretamente os biomas interligados e os sistemas naturais em todo o mundo. O desafio em relação à mudança climáticas transcende a ecologia; ele se estende para além, desencadeando uma cascata de problemas econômicos, geopolíticos, disputas sobre direitos de propriedade, alocação de recursos, acesso à saúde e uma imensidade de outros

desafios interconectados e complexos. Portanto, abordar a mudança climática não é apenas uma questão ambiental, mas uma necessidade urgente que requer uma abordagem holística e colaborativa para mitigar seus efeitos adversos em escala global.

b. Economia Ambiental e Externalidades

A Ciência Econômica é definida como o estudo de como indivíduos, empresas e sociedades alocam recursos escassos para atender a necessidades ilimitadas, analisando processos de produção, distribuição e consumo. Já a Economia Ambiental e dos Recursos Naturais é um ramo especializado da Economia que se concentra na gestão sustentável dos recursos naturais finitos e na análise de políticas públicas para mitigar impactos ambientais, como poluição, degradação de ecossistemas e esgotamento de matérias-primas. Ainda temos dificuldades em tomar decisões que equilibrem a proteção do meio ambiente com outras necessidades econômicas e sociais (Rivas, 2014).

Essa dificuldade em conciliar desenvolvimento econômico e conservação está intimamente ligada ao conceito de externalidades efeitos colaterais das atividades econômicas que não são refletidos em seus custos ou preços de mercado. Quando uma indústria polui um rio sem arcar com os custos da degradação ambiental, ou quando um agricultor preserva uma floresta sem ser compensado pelos benefícios ecológicos gerados para toda a sociedade, estamos diante de externalidades negativas e positivas, podem trazer custos das mais diversas esferas, mas também podem trazer benefícios individuais que diminuam os custos sociais, onde o custo privado é menor que o custo social respectivamente.

A teoria do bem-estar em sua origem abordava os custos sociais simplesmente como dados estatísticos dentro de seus modelos teóricos, mas com o aumento dos problemas sociais práticos como as carências em saúde educação e desigualdade os economistas começaram a expandir suas análises passando a incluir variáveis fundamentais como o papel do capital humano que considera saúde e educação como fatores produtivos e a definição de um padrão de bem-estar que vai além de indicadores meramente econômicos (Marta, 1999).

Nesse contexto, o meio ambiente foi identificado como uma externalidade negativa relevante, onde problemas como poluição e degradação ambiental antes ignorados pelos mercados passaram a ser reconhecidos como custos reais que

impactam diretamente a sociedade e a economia. Essa evolução demonstra a necessidade de integrar três dimensões essenciais sendo elas a eficiência econômica a equidade social e a sustentabilidade ambiental criando assim modelos que reflitam de maneira mais fiel à realidade atual onde os fatores sociais e ambientais são componentes indispensáveis do desenvolvimento econômico e não apenas externalidades secundárias

É no conceito de externalidades que verificamos as falhas de mercado[2] como uma importante classe dessas falhas, e como sugerem Costa e Lima (2007), são: “as formações de preços deixam frequentemente de incorporar os impactos sociais, ambientais e sanitários consequentes das atividades produtivas que geram produtos e serviços”. Dessa forma, segundo os autores:

> (...) a “competição” entre agentes econômicos por melhores preços oferecidos ao "mercado", longe de otimizar o funcionamento da economia, pode se constituir num dos maiores entraves para a sustentabilidade do desenvolvimento, pois externaliza diversos custos sociais, ambientais e sanitários que permanecem ocultos nos preços das mercadorias e terminam por serem socializados.

Fica evidente as controvérsias e o esquecimento das ações de mercado para contextos socioambientais e de bem-estar, as externalidades surgem nessa divergência entre esses e o contexto privado, onde quem gera a externalidade não tem incentivo de verificar o quanto é custoso para outros indivíduos a existência da mesma (Soares e Porto, 2007).

Nos estudos de Marta (1999), há uma nova ótica do conceito de externalidade, segundo ela: “externalidade é o que acontece quando a intervenção governamental ocorre para aumentar o bem-estar dos consumidores e produtores ao mesmo tempo”, essa visão está ligada estritamente aos conceitos explicitados na interação entre esses agentes econômicos, não levando em consideração tudo aquilo que não está nessa interação de consumo como, por exemplo, os impactos ambientais.

> “Tais concepções teóricas têm sua inviabilidade prática, considerando que representam a ficção de uma curva suave dos custos marginais de degradação e ignoram que os impactos ambientais evoluem de modo imprevisível devido à existência de efeitos sinérgicos. Assim, não é possível tratar a problemática ambiental através dos instrumentos chamados econômicos, sendo necessária a intervenção dos poderes públicos: os chamados instrumentos de comando e controle" (Marta, 1999).

[2] Falhas de mercado são situações em que o mecanismo de preços, por si só, falha em alocar recursos de forma eficiente, resultando em desperdício, injustiças sociais ou danos ambientais. Elas representam limitações do sistema capitalista em garantir o bem-estar coletivo, mesmo quando indivíduos e empresas agem de forma racional no mercado (Sales, 2010).

Rivas (2014) diz: “Os mercados têm propriedades desejáveis, mas não podem fazer tudo. Particularmente, são deficientes em promover um nível de qualidade ambiental que maximize o bem-estar da sociedade”, o autor destrincha a função dos mercados e mostra como é ineficiente nessa promoção de bem-estar em face do uso dos recursos ambientais, além disso, evidencia a divergência entre os “custos privados e custos sociais”.

De acordo com Rivas (2014), não precisamos escolher entre ter um ambiente preservado ou uma economia forte, é possível conciliar os dois. O desafio está em encontrar maneiras de gerenciar melhor esses aspectos para melhorar a qualidade de vida das pessoas. No entanto, muitos governantes e líderes evitam tomar decisões difíceis, especialmente quando os custos aparecem agora, mas os benefícios só virão no longo prazo. Cada vez que as decisões sobre o futuro não são tomadas, as incertezas aumentam e a escassez de escolhas e das externalidades estão cada vez mais crescentes e podem chegar a estágios irreversíveis.

Diante da crescente frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, torna-se essencial compreender como essas externalidades negativas geram custos socioambientais significativos, tanto em termos econômicos diretos (como perdas materiais e interrupções produtivas) quanto em seus impactos desproporcionais sobre as populações mais vulneráveis, cuja capacidade de adaptação e resiliência é limitada pela falta de recursos e infraestrutura.

c. Custos

Nas ciências sociais, existem algumas métricas chamadas de custos, podendo-se citar os custos econômicos, de transação, os contábeis como os fixos, variáveis, médios, diretos, indiretos, explícitos, implícitos, totais e marginais. O entendimento dessa métrica viabiliza a tomada de decisão por meio do controle financeiro e do planejamento estratégico. Nessa seção discutiremos sobre custos e suas variedades, indicando sempre que não somente são custos aqueles que têm um valor monetário implícito, mas também aqueles que não são atribuídos um preço.

Segundo Mankiw (2009), existem 10 princípios que caracterizam a economia, dos quais podemos citar o segundo princípio: “O custo de uma coisa é o que você abre mão para obtê-la”, levando em consideração que as pessoas tomam decisões (enfrentam trade-offs) e pensam de forma racional e na margem (1º e 3º princípio) custo é definido como tudo aquilo trocado por outra em uma decisão, nomeado por

Mankiw como custo de oportunidade, também nomeado como custo econômico. Ele destaca que o custo de uma decisão não se limita apenas ao dinheiro gasto, mas inclui também o valor das oportunidades sacrificadas ao fazer essa escolha. Esse princípio é fundamental na economia porque ajuda a explicar como a sociedade, as pessoas, empresas, governos etc. tomam decisões em face da escassez de recursos. Ao considerar o custo de oportunidade, é possível fazer escolhas mais esclarecidas e alocar recursos de forma mais eficiente (PYNDICK, 2013).

Os custos ambientais representam os impactos adversos causados ao meio ambiente como resultado de atividades humanas, incluindo processos industriais, urbanização, agricultura intensiva, entre outros. Esses custos muitas vezes são externalizados, o que significa que não são diretamente incorporados nos preços dos bens e serviços, mas são suportados pela sociedade na totalidade ou pelas gerações futuras (RIBEIRO e GRATÃO, 2000). Esses custos podem se manifestar de várias formas e em diferentes escalas, desde a degradação local do solo e da água até os impactos globais das mudanças climáticas.

Um dos principais custos ambientais está relacionado à poluição do ar, da água e do solo, que pode resultar em danos à saúde humana, perda de biodiversidade e degradação dos ecossistemas. Por exemplo, a poluição do ar está associada a uma série de doenças respiratórias, enquanto a poluição da água pode afetar a disponibilidade de água potável e prejudicar os ecossistemas aquáticos. Esses custos estão altamente interligados com externalidades (Trapp e Rodrigues, 2016).

Além disso, a mudança climática representa um dos maiores custos ambientais enfrentados pela sociedade moderna. Outro custo ambiental importante está relacionado à perda de habitat e extinção de espécies. A destruição de ecossistemas naturais, como florestas tropicais e áreas úmidas, para a agricultura, a mineração e a urbanização, está resultando na perda de biodiversidade em uma escala alarmante, o que pode ter consequências irreversíveis para os ecossistemas e a sociedade.

O estudo e a gestão de custos são muito importantes para avaliar a eficiência, especialmente em empresas. A primeira métrica a ser considerada ao tomar decisões estratégicas é o custo. Isso inclui a definição de níveis de produção, fixação de preços e alocação de investimentos. No que diz respeito aos danos causados por eventos extremos, mapear esses custos é essencial para uma avaliação precisa dos riscos associados a desastres naturais, crises econômicas e outros tipos de eventos extremos. Isso permite que as medidas preventivas e os planos de contingência

adequados sejam implementadas. Além disso, é essencial para um bom planejamento financeiro, especialmente no governo, garantindo que as políticas, as medidas preventivas e os investimentos em infraestrutura sejam viáveis. Essa compreensão aumenta a conscientização pública sobre os riscos associados a eventos extremos, o que leva à adoção de medidas de prevenção e preparação no nível individual, comunitário e institucional.

Conforme afirmam Silva, Menezes e Neder (2015), “os custos econômicos podem ser divididos em custos tangíveis e intangíveis”. Os custos tangíveis são aqueles que podem ser facilmente mensurados e quantificados, incluindo despesas correntes como danos materiais causados por acidentes ou perda de produção. Esses custos são diretamente relacionados a perdas financeiras ou de recursos materiais e podem ser avaliados com relativa facilidade. Por outro lado, os custos intangíveis são aqueles que não podem ser facilmente quantificados em termos monetários. Embora sejam sentidos pela sociedade, não podem ser calculados devido à sua natureza subjetiva ou à falta de uma métrica clara para avaliação. Um exemplo disso é a morte de uma pessoa em consequência de um acidente.

Embora essa perda tenha um impacto significativo na sociedade, não é possível atribuir um valor monetário direto à vida humana perdida. Essa distinção entre custos tangíveis e intangíveis é crucial para uma compreensão abrangente dos impactos econômicos de eventos como acidentes ou desastres naturais (SILVA, MENEZES E NEDER, 2015).

3. POLÍTICAS PÚBLICAS E DESASTRES

3.1 Política Nacional de Meio Ambiente e de Clima

Ao considerar a gravidade dos dados obtidos nesta pesquisa – que revelam prejuízos bilionários, deslocamentos forçados, destruição de infraestruturas essenciais e a ampliação da vulnerabilidade humana no estado do Amazonas, torna-se imperativo refletir sobre a eficácia e a implementação concreta das políticas públicas ambientais brasileiras. Duas normativas legais no âmbito Federal se destacam como marcos fundamentais nesse cenário: a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei nº 6.938/1981, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabelecida pela Lei nº 12.187/2009.

A PNMA, pioneira no ordenamento jurídico ambiental brasileiro, oferece as bases estruturais da gestão ambiental no país, com ênfase na proteção dos recursos naturais, no uso racional do meio ambiente e na prevenção de impactos ambientais negativos. Ela estabelece instrumentos de gestão como o licenciamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, o zoneamento ecológico-econômico (ZEE), a educação ambiental e a criação de Unidades de Conservação, todos voltados à promoção do equilíbrio ecológico e à minimização dos danos causados pelas atividades humanas (BRASIL, 1981).

Já a PNMC, mais recente e alinhada aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, tem como objetivo integrar medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas ao desenvolvimento econômico sustentável. Seus princípios estão profundamente enraizados na lógica da precaução, prevenção, equidade intergeracional, desenvolvimento sustentável, participação social e responsabilidade comum, porém diferenciada. A lei prevê metas voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa, estímulo a tecnologias limpas, criação de fundos climáticos, instrumentos econômicos e planos setoriais para adaptação e mitigação (BRASIL, 2009).

Ainda mais relevante é a possibilidade de uso do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima) e a implementação dos Planos Municipais de Adaptação, que poderiam ser utilizados pelos municípios amazonenses para antecipar os efeitos dos extremos climáticos e estruturar respostas eficazes, evitando o agravamento das perdas econômicas, sobretudo no setor público, que concentrou a maior parte dos prejuízos monetários neste estudo. No entanto, conforme também

refletido nos dados e na discussão apresentada, a aplicação real desses instrumentos ainda é extremamente limitada na região, em grande parte devido à baixa capacidade institucional, à falta de integração intergovernamental e à ausência de financiamento contínuo para ações locais de prevenção.

Essa lacuna entre o arcabouço legal existente e sua aplicação prática aponta para um desafio crítico da gestão pública ambiental no Brasil: a efetividade das políticas públicas frente à desigualdade territorial e socioeconômica. A existência de uma legislação avançada, como a PNMA e a PNMC, não garante automaticamente sua implementação. É necessário fortalecer os mecanismos de governança ambiental descentralizada, investir na capacitação técnica dos gestores locais, fomentar o acesso aos instrumentos financeiros federais e promover a integração de dados e sistemas de informação climática, para que o planejamento territorial no Amazonas incorpore, de forma real e contínua, a gestão de riscos e a adaptação às mudanças climáticas.

3.2 Política Estadual de Meio Ambiente e de Clima

O estado do Amazonas, apresenta um histórico institucional de políticas ambientais e climáticas marcado por avanços formais e retrocessos práticos. A Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA-AM) é o principal órgão responsável pela formulação, implementação e coordenação da política ambiental estadual. No entanto, nos últimos anos, especialmente durante a gestão estadual de 2019 a 2022, observou-se um enfraquecimento da atuação da SEMA, que perdeu protagonismo político, capacidade técnica e efetividade na implementação de ações estratégicas.

A perda de influência da SEMA ocorreu paralelamente ao aumento do desmatamento e das queimadas no estado. Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apontam que, em 2021, o Amazonas registrou a segunda maior taxa de desmatamento entre os estados brasileiros, com um aumento de mais de 60% em relação ao ano anterior. Esse dado é particularmente alarmante quando se considera que a floresta amazônica desempenha papel central na regulação climática regional e global. Além disso, a desconexão entre o discurso político e a prática administrativa no âmbito estadual revela uma lacuna profunda entre o que está previsto nas normativas legais e o que, de fato, é executado pelas instâncias governamentais.

Embora o estado do Amazonas tenha firmado compromissos internacionais em

matéria de clima, como a adesão à Coalizão Under2 e o alinhamento às metas do Acordo de Paris, ainda não possui um Plano Estadual de Mudança Climática implementado. Tal documento, que deveria orientar ações intersetoriais de adaptação, mitigação e gestão de riscos climáticos, segue em fase de elaboração, mesmo após mais de uma década da promulgação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187/2009).

Além disso, é importante destacar que nenhum dos 62 municípios amazonenses possuía, até 2023, planos municipais de adaptação ou prevenção a desastres climáticos. Esse fato, denunciado pelo Ministério Público de Contas do Amazonas, demonstra que a política ambiental estadual tampouco conseguiu articular, coordenar ou induzir ações efetivas nos níveis locais, deixando as populações mais vulneráveis completamente expostas.

A análise crítica da resposta institucional aos desastres naturais no Amazonas evidencia a fragilidade sistêmica da política ambiental e climática estadual. A estrutura de defesa civil em muitos municípios é precária, desarticulada e carente de recursos humanos e financeiros. Conforme identificado pelo Ministério Público de Contas, a ausência de planos de contingência e a inexistência de rotinas de prevenção colocam em risco permanente milhares de famílias ribeirinhas, indígenas e urbanas.

Eventos como a seca histórica de 2023, que afetou drasticamente a navegação fluvial, a pesca, o abastecimento de água e o fornecimento de alimentos, escancararam a falta de um sistema de alerta precoce eficiente e de planos de resposta coordenada. A letargia na atuação do poder público resultou em medidas emergenciais improvisadas, baseadas em ações pontuais e insuficientes, o que agrava os impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres.

A recorrência desses eventos evidencia uma tendência de intensificação das vulnerabilidades socioambientais. No entanto, os gestores estaduais insistem em estratégias reativas, sem priorizar investimentos em prevenção, como readequação de infraestruturas, proteção de áreas de risco, reflorestamento de margens de rios, educação ambiental comunitária e capacitação das defesas civis municipais.

3.3 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei n.º 12.608 de 10 de abril de 2012, representa o principal instrumento normativo e

orientador da atuação do Estado brasileiro no que tange à prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação diante de desastres. A lei estabelece diretrizes para a integração entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios, propondo um modelo sistêmico e descentralizado de atuação, coordenado pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), vinculada ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

A PNPDEC fundamenta-se no conceito de gestão de riscos e gerenciamento de desastres, conforme descrito na própria norma. Essa distinção é essencial: enquanto a gestão de riscos compreende ações de caráter preventivo e de mitigação, o gerenciamento de desastres abrange os esforços de resposta e reconstrução. A estrutura normativa também reforça o uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) e do Formulário de Informações de Desastres (FIDE) como ferramentas obrigatórias de registro e repasse de dados, o que se mostra crucial para a produção de diagnósticos e análises estratégicas.

Entretanto, embora a legislação ofereça uma base sólida, sua operacionalização enfrenta diversos obstáculos práticos, sobretudo em contextos regionais como o da Amazônia, onde a distância, a fragilidade institucional local e a carência de recursos dificultam a implementação efetiva das diretrizes.

A despeito do avanço legislativo representado pela PNPDEC, sua implementação prática sofre com profundas desigualdades regionais e com a baixa institucionalização da política em nível subnacional. Uma das maiores fragilidades da política reside na inexistência ou insuficiência de Planos Municipais de Contingência e Planos de Gestão de Riscos em grande parte dos municípios brasileiros, especialmente nos localizados na Amazônia Legal. Esses planos são fundamentais para a operacionalização das ações previstas na lei, mas carecem de recursos, apoio técnico e capacitação.

Outro fator limitante é a fragmentação institucional. Apesar da tentativa de integrar as ações de defesa civil com outras áreas como meio ambiente, infraestrutura, saúde e educação, na prática, os órgãos públicos ainda operam de forma compartimentalizada, sem articulação intersetorial efetiva. Isso reduz a eficácia das ações de prevenção e aumenta a vulnerabilidade das populações atingidas por desastres.

Além disso, há falhas na política de comunicação de risco e na mobilização da sociedade civil. A participação comunitária, prevista como eixo estruturante da

PNPDEC, raramente se concretiza, e a cultura da prevenção continua sendo frágil. Os investimentos federais continuam sendo majoritariamente direcionados para ações de resposta, com baixa alocação de recursos para medidas estruturais de mitigação e adaptação.

A execução orçamentária da União para ações de Defesa Civil revela um padrão de gasto que privilegia ações emergenciais, em detrimento da prevenção e da resiliência territorial. Dados da Controladoria-Geral da União (CGU) e do Tribunal de Contas da União (TCU) demonstram que a maior parte dos recursos federais é liberada após a ocorrência de desastres, por meio da transferência de verbas via programas especiais, dificultando a estruturação de uma política contínua e articulada.

Além disso, o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil (FUNCAP), criado com o intuito de subsidiar ações estruturantes e emergenciais, não dispõe de arrecadação própria significativa, dependendo de recursos discricionários do orçamento geral da União. Isso torna a política vulnerável às flutuações políticas e fiscais, comprometendo sua sustentabilidade de longo prazo.

Os municípios, por sua vez, dependem da homologação dos desastres pela União para acessar recursos, o que cria um ciclo de dependência, centralização e lentidão burocrática que compromete a agilidade das respostas e a autonomia local. Essa situação reforça o caráter reativo da política pública e perpetua a vulnerabilidade das comunidades expostas a riscos naturais recorrentes.

No contexto amazônico, onde a frequência e a intensidade de eventos hidroclimáticos têm se intensificado, a ausência de uma implementação robusta da PNPDEC tem implicado em perdas humanas, sociais e econômicas significativas. A falta de integração entre os entes federativos e a pouca atenção às especificidades territoriais do bioma amazônico têm contribuído para a perpetuação de uma lógica emergencialista e improvisada, em detrimento de uma política pública eficaz e estrutural.

Segundo Dalla Valle (2024), apesar dos marcos legais disponíveis as ações de adaptação ainda são incipientes, dispersas e pouco efetivas, especialmente no nível local. As estratégias de enfrentamento às mudanças climáticas são, em geral, tratadas de forma secundária nas agendas municipais, o que revela uma baixa institucionalização da temática, reforçando que as políticas públicas citadas tendem a falhar no que tange a responder adequadamente à intensidade e frequência crescentes desses eventos e as perdas e custos causados por eles. Mesmo em áreas

urbanas mais estruturadas como a Região Metropolitana de Curitiba, os municípios carecem de recursos, capacitação técnica e institucionalidade robusta para implementar políticas de adaptação. Isso evidencia que o problema não está apenas na legislação existente, mas na ausência de mecanismos que garantam sua execução.

3.4 Seguros Privados Frente as Perdas Climáticas

Os seguros privados desempenham um papel crucial na mitigação das perdas econômicas decorrentes de eventos climáticos extremos, como furacões, secas, inundações, incêndios florestais e tempestades severas. Diante do aumento na frequência e intensidade desses fenômenos impulsionados pelas mudanças climáticas o setor de seguros tem adaptado seus produtos e modelos de precificação para garantir proteção financeira a indivíduos, empresas e governos, ao mesmo tempo em que mantém sua sustentabilidade econômica.

Contudo, o cenário atual apresenta desafios complexos para as seguradoras privadas, que precisam lidar com o aumento exponencial de sinistros e a crescente dificuldade em precificar riscos em regiões particularmente vulneráveis. A assimetria de informação, onde os segurados possuem maior conhecimento sobre seus riscos do que as próprias seguradoras, e a escassez de dados históricos confiáveis devido às mudanças nos padrões climáticos, complicam ainda mais a equação atuarial. Em resposta a esses obstáculos, o mercado segurador vem desenvolvendo soluções inovadoras que incluem desde o uso de tecnologias avançadas como inteligência artificial e sensoriamento remoto para melhorar a avaliação de riscos, até a criação de instrumentos financeiros sofisticados como os títulos de catástrofe que permitem distribuir os riscos entre um leque mais amplo de investidores.

A evolução do setor aponta para a necessidade de expandir as coberturas existentes para incluir novos tipos de riscos climáticos, ao mesmo tempo em que se desenvolvem produtos mais acessíveis para populações vulneráveis. A integração de critérios de sustentabilidade nas políticas de subscrição e a promoção ativa de medidas de adaptação e resiliência entre os segurados emergem como estratégias-chave para o futuro. Neste contexto, os seguros privados não apenas cumprem sua função tradicional de proteção financeira, mas também assumem um papel proativo na construção de sociedades mais resilientes, atuando como catalisadores de práticas

sustentáveis e parceiros essenciais na mitigação dos impactos das mudanças climáticas. A colaboração entre o setor privado, governos e a sociedade civil será determinante para garantir que os mecanismos de proteção financeira possam efetivamente enfrentar os desafios de um mundo com riscos climáticos cada vez mais complexos e imprevisíveis. Apesar de sua importância, os seguros privados enfrentam obstáculos significativos na gestão de riscos climáticos como o aumento de sinistros, subscrever riscos catastróficos, assimetria de informação falta de dados históricos.

Conforme Moraes et al. (2024), os seguros agrícolas podem ser classificados em diferentes tipos conforme os riscos que cobrem, sendo os mais comuns o seguro indexado, que se baseia em índices climáticos ou de produtividade, o seguro de indenização que cobre perdas diretas nas lavouras e o seguro contra desastres naturais que inclui cobertura para eventos como inundações, secas e tempestades. Esses produtos são essenciais para reduzir o impacto econômico dos eventos climáticos adversos, garantindo a renda dos produtores e promovendo a resiliência do setor agrícola, além disso o seguro agrícola contribui para a estabilidade dos mercados minimizando a volatilidade dos preços dos alimentos e fortalecendo a segurança alimentar.

No entanto a adoção do seguro agrícola enfrenta diversos desafios que limitam sua eficácia e abrangência um dos principais obstáculos é o chamado risco de base que ocorre quando o seguro não reflete adequadamente as perdas reais dos produtores levando a situações em que eles não recebem indenizações mesmo quando sofrem prejuízos significativos, outro desafio é o custo elevado dos prêmios que muitas vezes torna o seguro inacessível especialmente para pequenos produtores com recursos limitados Fatores comportamentais e culturais também desempenham um papel importante, pois muitos agricultores desconhecem o funcionamento dos seguros ou desconfiam das seguradoras o que reduz a demanda por esses produtos.

O estudo ressalta a importância do envolvimento governamental para superar esses desafios, sugerindo medidas como subsídios para reduzir os custos dos prêmios, programas de educação para aumentar a conscientização dos produtores e parcerias público-privadas para ampliar a oferta de seguros adaptados às necessidades locais. A intervenção do governo é particularmente relevante em países em desenvolvimento, onde o mercado de seguros agrícolas ainda é incipiente e os produtores enfrentam maiores dificuldades para acessar proteção financeira.

A revisão também identifica lacunas significativas na literatura existente, como a

escassez de estudos sobre a relação entre seguros e mudanças climáticas, especialmente na América do Sul e na África onde os impactos das alterações climáticas são mais severos. Além disso, há pouca pesquisa qualitativa sobre a percepção dos pequenos produtores em relação aos seguros, o que dificulta o desenvolvimento de produtos mais adequados às suas necessidades. Culturas como frutas e hortaliças que são essenciais para a segurança alimentar também recebem pouca atenção nos estudos existentes.

Para orientar pesquisas futuras, o artigo propõe um framework que inclui a melhoria dos modelos de risco de base a investigação do papel do seguro na adaptação à mudança climática e a análise do impacto dos seguros em culturas específicas e diferentes regiões geográficas. Essas pesquisas são fundamentais para desenvolver soluções mais eficazes e inclusivas que possam enfrentar os crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas no setor agrícola.

O documento publicado pelo Swiss Re Institute (2025), oferece uma oferece uma análise abrangente sobre as perdas econômicas e seguradas causadas por eventos climáticos extremos, destacando tendências, desafios e estratégias para mitigar riscos. O relatório aponta que as perdas seguradas por catástrofes naturais estão em trajetória de crescimento, com uma projeção de USD 145 bilhões em 2025, seguindo uma tendência de aumento anual de 5–7% em termos reais. Esse crescimento é impulsionado por fatores socioeconômicos, como urbanização, concentração de ativos em áreas de risco e inflação nos custos de construção, além de efeitos das mudanças climáticas.

Um dos destaques do relatório é a distinção entre "perigos primários" (como terremotos e ciclones tropicais) e "secundários" (como tempestades convectivas severas e inundações). Embora os perigos secundários sejam mais frequentes e contribuam significativamente para as perdas anuais, os primários têm um potencial de perda muito maior, especialmente em anos de pico, quando podem elevar as perdas totais para mais do que o dobro da tendência histórica. Por exemplo, em 2017, os furacões Harvey, Irma e Maria levaram as perdas globais a 111% acima da tendência. O relatório estima que há uma probabilidade de 1 em 10 de que as perdas seguradas em 2025 atinjam USD 300 bilhões ou mais, um cenário que exigiria uma resposta significativa do mercado de resseguros.

O setor de seguros e resseguros desempenha um papel crítico na absorção dessas perdas, atuando como um amortecedor de choques em anos de pico. O capital

tradicional de resseguros está estimado em USD 500 bilhões, e o mercado está bem capitalizado para lidar com eventos extremos, desde que o crescimento do capital acompanhe o aumento dos riscos. Além disso, o mercado de títulos de catástrofes (cat bonds) tem se expandido, oferecendo uma camada adicional de proteção. No entanto, o relatório alerta que a sustentabilidade desse modelo depende da capacidade do setor em gerar retornos acima do custo de capital ao longo do tempo, o que nem sempre tem ocorrido.

O documento também aborda os desafios de segurabilidade em regiões de alto risco, como os EUA, onde prêmios de seguros residenciais estão subindo devido ao aumento dos custos de reconstrução e à maior exposição a catástrofes. Em estados como Flórida, Califórnia e Louisiana, os prêmios são significativamente mais altos devido à exposição a furacões, incêndios florestais e outros perigos. Em algumas áreas, a disponibilidade de seguros tem diminuído, levando os proprietários a depender de programas governamentais, como o California FAIR Plan, originalmente concebido como uma opção de último recurso.

Para enfrentar esses desafios, o relatório enfatiza a necessidade de medidas de adaptação e prevenção, como códigos de construção mais rigorosos, melhor planejamento urbano e investimentos em infraestrutura resiliente. Essas medidas não apenas reduzem as perdas potenciais, mas também podem tornar os seguros mais acessíveis. Além disso, políticas públicas e regulatórias devem ser adaptadas para incentivar a redução de riscos e garantir a sustentabilidade do mercado de seguros.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a área de estudo, detalha a base de dados utilizada, os tipos de análises realizadas e os modelos adotados. Sua construção foi fundamentada na revisão teórica realizada previamente, com o intuito de alcançar os objetivos propostos pela pesquisa.

Sendo um estudo exploratório, buscou-se obter informações por meio de fontes primárias, como registros históricos, dados bibliográficos, estatísticas e documentos oficiais, examinando-se os custos relacionados aos desastres resultantes de eventos extremos. Adicionalmente, foram consultadas fontes secundárias, incluindo livros e artigos científicos. Os dados utilizados possuem caráter não experimental, ou seja, não sofrem manipulação ou controle por parte do pesquisador (Lakatos e Marconi, 2002).

4.1 Área de Estudo

A área de estudo envolve os 62 municípios do estado do Amazonas (Figura 2), levando-se em consideração todas as suas particularidades sejam elas econômicas, políticas, geológicas, climatológicas e principalmente de bioma, todos os municípios são semelhantes no ponto de vista ambiental por estarem no mesmo tropico e partilharem de hidrografia, clima e vegetação nativa semelhantes. Nesse sentido, a amostra traz dados de desastres dos municípios no período de 2009 a 2023.

Figura 2: Mapa do Estado do Amazonas

Fonte: Adaptado de BRASIL (2022)

É importante ressaltar que esta pesquisa adota uma concepção ampliada de custo econômico, que não se limita à quantificação contábil de danos ou prejuízos financeiros. A partir da economia ambiental e dos princípios microeconômicos clássicos, entende-se que os eventos extremos implicam custos de oportunidade para os diferentes agentes envolvidos. Por exemplo, os valores monetários associados a prejuízos públicos representam não apenas perdas diretas, mas também escolhas forçadas por parte dos gestores públicos, que precisam alocar recursos emergenciais em detrimento de outras políticas ou investimentos estruturantes. Isso vale para os prejuízos privados, que refletem o comprometimento de cadeias produtivas, a suspensão de atividades econômicas e o empobrecimento de famílias. Assim, os dados utilizados nesta pesquisa permitem capturar não apenas os impactos visíveis dos desastres, mas também sinalizam os efeitos indiretos e as renúncias impostas à sociedade pela ocorrência dos eventos extremos compondo, dessa forma, nos permite visualizar um panorama abrangente dos custos econômicos no contexto amazônico.

4.2 Base de Dados

A coleta de dados foi realizada em fonte aberta e a produção do conhecimento se deu mediante investigação digital. Foram utilizadas informações disponibilizadas por órgãos da Defesa Civil de cada Município e do Estado, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) na qual disponibiliza a consulta e a visualização no Atlas Digital de Desastres no Brasil em um dashboard e Mapa interativo, além da disponibilidade de extração dos dados em formato xlsx.

O registro dos eventos e de precificação de valores em reais para o Atlas Digital de Desastres no Brasil segue uma metodologia rigorosa e detalhada que envolve múltiplas etapas desde a coleta inicial de dados até a disponibilização final das informações na plataforma digital.

Inicialmente os dados brutos são coletados mediante diversos documentos oficiais sendo o principal deles o Formulário de Informações do Desastre (FIDE) que é preenchido obrigatoriamente pelos agentes municipais de defesa civil ou por autoridades locais quando não existir uma coordenadoria específica este formulário padronizado contém oito seções distintas que abrangem desde a identificação básica do município e do evento até os danos humanos materiais ambientais e prejuízos econômicos públicos e privados.

Além do FIDE são utilizados relatórios técnicos complementares elaborados por órgãos especializados como a Epagri para perdas agrícolas e pecuárias secretarias municipais de agricultura para levantamento de distribuição de água potável secretarias de infraestrutura para avaliação de danos em vias públicas e instalações comunitárias e órgãos ambientais para quantificação de impactos ecológicos esses documentos auxiliares fornecem os valores específicos posteriormente consolidados no sistema principal.

O sistema utilizado para o registro inicial é o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) uma plataforma digital desenvolvida e mantida pelo governo federal onde cada desastre recebe um código de protocolo único composto por informações sobre o estado município tipo de desastre e data de ocorrência os agentes locais acessam este sistema para inserir todas as informações coletadas em campo e dos documentos complementares.

Após o registro inicial no S2ID os dados passam por um rigoroso processo de tratamento realizado pelo Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa

Civil (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em parceria com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – MIDR. Esta etapa inclui a verificação de consistência dos dados, identificação e correção de erros de preenchimento, eliminação de registros duplicados e padronização das informações.

Uma etapa crucial do processo é a correção monetária que utiliza o Índice Geral de Preços Disponibilidade Interna (IGP-DI) calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) para atualizar todos os valores históricos permitindo comparações temporais consistentes, por exemplo, um prejuízo registrado em 2005 no valor de cem mil reais é multiplicado por um fator específico para representar seu equivalente no poder de compra atual.

Os dados tratados são então disponibilizados no Atlas Digital de Desastres no Brasil uma plataforma de acesso público que permite visualizações georreferenciadas consultas personalizadas e download da base completa para análises mais aprofundadas. Esta ferramenta pretende principalmente fornecer informações confiáveis e atualizadas para subsidiar políticas públicas de prevenção e resposta a desastres. A base de dados, até a finalização dessa pesquisa, fora atualizada em 29 de abril de 2024, contendo dados dos anos de 1991 a 2023.

A base disponibilizada pelos Atlas Digital compreende todo o Brasil, foi realizado um filtro para ser utilizado somente os dados correspondentes ao estado do Amazonas e seus municípios, dentre os anos de 2009 e 2023, para os seguintes grupos de desastres:

Quadro 3: Classificação dos desastres

Cobrade	Grupo de tipologia	Grupo de desastres
14110	Estiagem e Seca	Climatológico
14131	Incêndio Florestal	Climatológico
12100	Inundações	Hidrológico
11321	Movimentos de Massa	Hidrológico
12300	Alagamentos	Hidrológico
13214	Chuvas Intensas	Hidrológico
12200	Enxurradas	Hidrológico

Fonte: Adaptado de Schadeck, R. (2020)

A escolha por esses desastres não foi feita de forma aleatória, é compreendido que a região do Amazonas é de clima equatorial úmido, e sua região contém uma

diversidade de rios sendo o principal o rio Amazonas, além de sua floresta que se divide em diferentes formações conforme a proximidade com os rios e o regime de inundações. Por conta desses fatores complexos há somente duas estações do ano: uma estação denominada inverno amazônico com períodos com chuvas intensas e consequentemente cheia dos rios (período de cheia), e outra de insolação intensa e poucos períodos de chuva onde ocorrem os períodos de vazante e o da Estiagem (período de “seca”), quando os rios têm seus níveis reduzidos. As populações do Estado estão historicamente ligadas a essas dinâmicas, principalmente nas regiões denominadas ribeirinhas (Wolfarth-Couto, B.; Filizola, N.; Durieux, L, 2020).

Os impactos inerentes a esses tipos de desastres são os principais desafios das políticas de prevenção e mitigação a eventos extremos, além da preocupação desses eventos ocorrerem cada vez mais constantes e com poder de destruição cada vez mais devastador.

Os dados compreendem todos os desastres de eventos, subdivididos em tipologia e grupos conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – Cobrade, os dados utilizados foram conforme descritos na base de dados, “descrição da_tipologia” onde estão os nomes de cada tipo de desastres, “grupo_de_desastres” classificação diferenciando cada tipo, além da utilização dos totalizadores.

O primeiro totalizador utilizado é o “DH_total_danos” que compreende todos os danos humanos, sendo número de mortes, feridos, enfermos, desabrigados, desalojados e desaparecidos; O segundo totalizador é o “DM_total_danos_materiais, na qual se refere todos os danos materiais, sendo computados casos de Habitações Danificadas e Habitações Destruídas e o valor monetário de cada uma delas, Instituições de Saúde Danificadas e seu valor monetário, danos a instituições de ensino sejam elas Danificadas ou Destruídas e o seu valor monetário, Instituições de Serviço e instituições comunitárias e o valor monetário correspondente, além de danos materiais a obras de infraestrutura, sejam danos que danificaram ou destruíram, e o valor monetário que corresponde a cada dano.

O terceiro totalizador corresponde ao total de prejuízos ao setor público (PEPL_total_público), que são os prejuízos públicos com assistência médica, saúde pública e atendimento de emergências médicas, abastecimento de água potável, esgoto de águas pluviais e sistema de esgotos sanitários, sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo, sistema de desinfestação/desinfecção do habitat/controle de pragas e vetores, geração e distribuição de energia elétrica,

telecomunicações, transportes locais, regionais e de longo curso, distribuição de combustíveis, especialmente os de uso doméstico, segurança pública e por fim prejuízos públicos com ensino.

No último totalizador, são os totais de prejuízos ao Setor Privado (PEPL_total_privado), os quais fazem referência aos danos causados aos setores produtivos privados, como a Agricultura, Pecuária, Indústria, Comércio e Serviços. Todas essas nomenclaturas encontram-se na base de dados e no Manual de Aplicação da base de dados do Atlas Digital de Desastres no Brasil.

Vale ressaltar que nos dados aparecem certos vieses, possíveis erros nos registros históricos de desastres, subnotificação de eventos menos impactantes, necessidade de avaliar modelos alternativos para lidar com super dispersão e zeros excessivos, essas precauções foram levadas em conta para garantir a robustez das análises e a validade das conclusões extraídas a partir dos dados, por isso foi aplicado análises estatísticas para verificar as tendências ao longo do tempo.

4.3 Tratamento e Análise dos Dados

Como já foi dito, os dados extraídos da plataforma do Atlas Digital compreendem todo o Brasil, logo foi realizado o filtro para serem analisados somente o estado do Amazonas e seus 62 municípios, após o filtro da região e do Estado, foram filtrados os grupos de desastres que mais abalam a região o climatológico e o hidrológico, subdivididos em 7 tipos de desastres (Quadro 3).

Foi utilizado planilha Excel, para visualização previa, filtros e consequentemente análises, após o tratamento, utilizando dados com correções monetárias já disponibilizadas, com auxílio de tabelas dinâmicas, foram feitas as tabelas apresentadas na seção abaixo que ajudam a visualizar os quantitativos, por município, por ano, por grupo de desastre, por tipologia, por total de danos humanos, total de danos materiais, total de prejuízos públicos e total de prejuízos privados.

Para um melhor entendimento das dinâmicas dos custos e dos eventos, com auxílio do software R versão 4.4.3 (2025-02-28) Copyright © 2017 The R Foundation for Statistical Computing ISBN 3-900051-07-0 e Minitab® 18.1 Copyright © 2017 Minitab, Inc, na qual a realização de análises estatísticas elimina qualquer viés contido nos dados, foram utilizado os pacotes Tidyverse (ggplot2, dplyr, tidyr) para manipulação e visualização de dados, glmmTMB para modelos avançados de

regressão de contagem, DHARMa para verificação da adequação dos modelos, quantreg para possíveis análises de regressão quantílica, lubridate para manipulação de datas. Foram usados dois modelos de análise, o primeiro modelo é de Regressão Linear Simples, na qual analisa a relação entre tempo (utilizando o dado Data_regristro) e o tipo de desastre (grupo_de_desastre) sobre as seguintes variáveis de danos:

Quadro 4: Variáveis de danos

R - ID	Nome	Sigla
md1	Previsão dos danos humanos	(DH_total_danos_humanos)
md2	Previsão dos danos materiais	(DM_total_danos_materiais)
md3	Previsão dos danos ao setor público	(PEPL_total_publico)
md4	Previsão dos danos ao setor privado	(PEPR_total_privado)

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A equação utilizada para obtenção do resultado na qual se espera na análise é a seguinte:

```
md1 <- lm(log10(DH_total_danos_humanos) ~ Data_Registro * grupo_de_desastre, data = df.zero)
```

A variável dependente (ou resposta) é log10(DH_total_danos_humanos), ou seja, estamos modelando os danos humanos em escala logarítmica para estabilizar a variância e lidar com valores muito altos. As variáveis independentes (ou preditoras) são Data_Registro (ano do desastre) e grupo_de_desastre (tipo de desastre). O operador * indica que estamos incluindo efeitos principais e interação, o que significa que estamos analisando tanto os efeitos individuais de Data_Registro e grupo_de_desastre, quanto o efeito combinado entre eles. Trocando cada “R-ID” (“md1, md2” ...) e seus respectivos dados (“DH_total_danos_humanos”, “DH_total_danos_materiais” .....) obteremos a relação entre cada uma das variáveis contidas no quadro 04. Uma observação importante que está contida na fórmula e foi testada para aumentar o viés e a confiabilidade é a exclusão de zeros ou dados em branco, o modelo estatístico até consegue explotar análises, mas apresenta confiabilidade muito baixa.

Outro Modelo empregado nas análises estatísticas foi o modelo de contagem, um modelo de regressão linear que conta as ocorrências dos desastres em cada ano. A equação utilizada foi: `md5 <- lm(soma_occ ~ ano + grupo_de_desastre, data = df.var)`.

Aqui, “soma_occ” é a contagem de ocorrências de desastres, e as variáveis preditoras são: “ano (tempo)” para verificar se o número de ocorrências aumenta ou diminui ao longo dos anos e “grupo_de_desastre” para avaliar se diferentes tipos de desastre têm frequências diferentes. Trocando cada “R-ID” (“md1, md2” ...) e seus respectivos dados (“DH_total_danos_humanos”, “DH_total_danos_materiais” .....) obteremos a relação entre cada uma das variáveis contidas no quadro 04.

A adoção dos modelos estatísticos, como a regressão linear simples e os modelos de contagem, não se deu de forma aleatória, mas fundamenta-se na necessidade de investigar os impactos causados por eventos hidroclimáticos extremos de maneira analítica, sistemática e comparável. Considerando que esta pesquisa visa não apenas descrever ocorrências, mas avaliar os efeitos concretos, persistentes e distribuídos desses eventos ao longo do tempo, o uso de técnicas estatísticas torna-se imprescindível. Através desses modelos, é possível estimar tendências temporais, comparar a magnitude dos danos entre diferentes grupos de desastres, verificar relações entre o tipo de evento, o ano de ocorrência e a extensão dos prejuízos, bem como controlar variações nos registros para identificar padrões consistentes e generalizáveis.

Essa abordagem fortalece a confiabilidade dos achados e oferece subsídios empíricos robustos para sustentar inferências acerca dos custos econômicos e sociais associados aos desastres ambientais. Além disso, as análises estatísticas viabilizam uma leitura crítica das políticas públicas e de sua eficácia, ao quantificar a variação dos danos e prejuízos mesmo em contextos com avanços institucionais ou mudanças no padrão climático.

Complementando a abordagem quantitativa, os dados analisados foram representados visualmente por meio do pacote ggplot2, amplamente utilizado em ambientes estatísticos, o qual permitiu a construção de gráficos descritivos e interpretativos, que facilitam a identificação de tendências, oscilações e comportamentos dos fenômenos estudados. Foram elaborados gráficos de dispersão, curvas de suavização (geom_smooth), distribuições temporais e facetas por grupo de desastre, o que possibilitou uma comparação direta entre os diferentes tipos de eventos, seus impactos acumulados e suas recorrências ao longo da série histórica. A visualização gráfica foi estratégica para revelar padrões que, de outra forma, poderiam passar despercebidos em tabelas numéricas, além de reforçar a leitura crítica dos dados e evidenciar a importância de se compreender os custos econômicos

não apenas como números absolutos, mas como expressões materiais das vulnerabilidades estruturais e das limitações na capacidade de resposta institucional frente às mudanças climáticas na Amazônia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos detalhadamente os principais resultados obtidos a partir da investigação e análise dos dados coletados. A estrutura desta seção foi cuidadosamente organizada para facilitar a compreensão e a interpretação dos achados, sendo dividida em duas partes distintas, cada uma com um enfoque específico na apresentação e avaliação dos dados.

Na primeira parte, são explorados os dados brutos, de modo a fornecer uma visão geral e descritiva das informações coletadas. Serão apresentados os valores absolutos e relativos, bem como a distribuição das quantidades registradas ao longo dos anos. Além disso, serão analisadas algumas tendências temporais, observando-se padrões de variação e recorrência dos eventos ao longo do período estudado. A categorização será feita considerando diferentes perspectivas, como a distribuição dos desastres naturais por ano, por tipologia de evento e por município, permitindo assim uma avaliação comparativa entre os diferentes contextos geográficos e temporais a fim de caracterizar os eventos hidroclimáticos extremos na região.

Na segunda parte, serão detalhadas as análises estatísticas realizadas a partir dos dados coletados, com ênfase nas metodologias empregadas para a modelagem e interpretação dos fenômenos estudados. Serão apresentados os resultados das técnicas estatísticas utilizadas, incluindo a modelagem de regressão simples e o modelo de contagem, aplicados com o intuito de identificar padrões e verificar tendências ao longo do tempo para cada tipologia de desastre registrada. Por fim, os resultados obtidos serão comparados com aqueles encontrados em estudos acadêmicos e relatórios técnicos previamente publicados, permitindo a verificação da consistência dos achados e a validação das análises realizadas com base no referencial teórico e empírico disponível.

A análise crítica dos dados permitirá identificar padrões que possam estar relacionados a variações climáticas, políticas públicas de mitigação e resposta a desastres, bem como ao grau de vulnerabilidade dos municípios afetados. Dessa forma, espera-se que os achados desta pesquisa contribuam para o avanço do

conhecimento sobre a dinâmica dos desastres na região estudada, fornecendo subsídios para a formulação de estratégias mais eficazes de prevenção, mitigação e gestão de riscos. Ao longo da apresentação dos resultados, serão destacados aspectos relevantes que podem indicar a necessidade de revisões nas políticas públicas existentes, reforçando a importância de ações baseadas na natureza para minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres naturais.

5.1 Caracterização dos eventos hidroclimáticos extremos no Amazonas

5.1.1 Registro de Eventos no Amazonas

Dentre os anos estudados ocorreram particularidades interessantes de serem mencionadas, no intervalo de 2009 e 2023 ocorreram as maiores cheias do Rio Negro, o maior afluente do rio Amazonas que mais constantemente está batendo recordes de cheias as margens do porto da capital, Manaus, foram um total de 7 acontecimentos históricos marca acima de 29 metros (quadro 5) o que impacta diretamente no fenômeno de inundação em praticamente todos os municípios do Estado.

Quadro 5: Anos de Cheia Histórica do Rio Negro

N°	Ano	Metros
1	2021	29,98
2	2012	29,97
3	2009	29,77
4	1953	29,69
5	2015	29,66
6	1976	29,61
7	2014	29,5
8	1989	29,42
9	2019	29,42
10	1922	29,35
11	2013	29,33

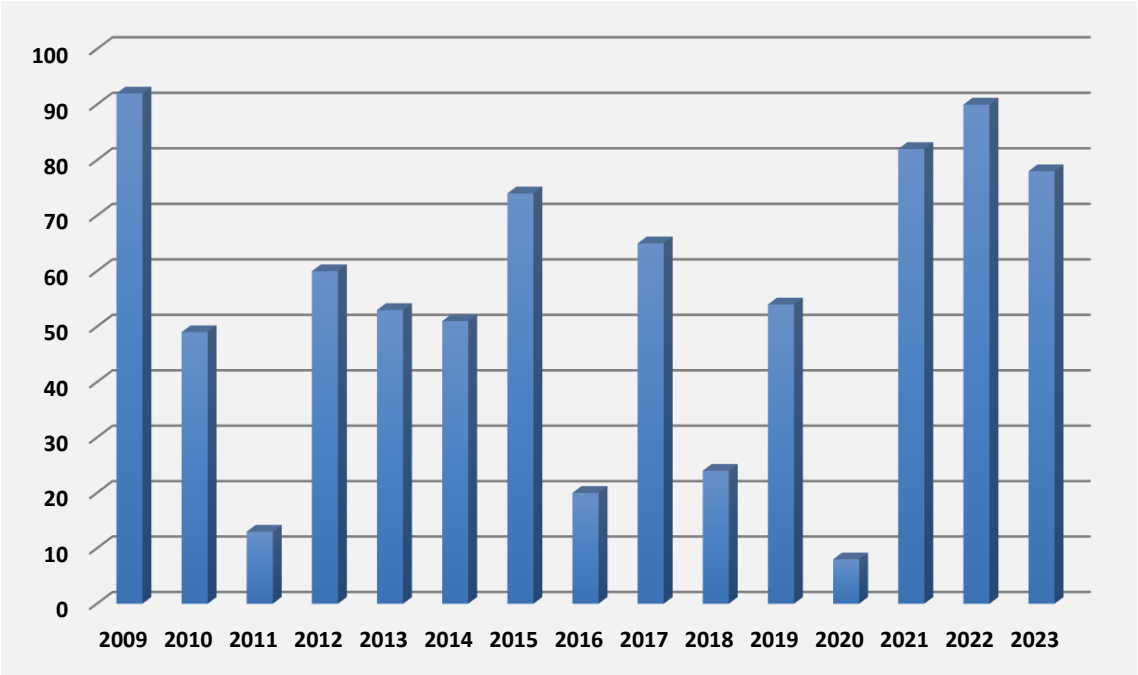
Fonte: Adaptado de G1 Amazonas

Além disso, é notório que o fenômeno inverso, caracterizado por períodos de estiagem severa e níveis historicamente baixos do Rio Negro, também tem ocorrido de forma recorrente nas últimas décadas. Em 2010, por exemplo, o rio atingiu a cota mínima de 13,63 metros, um recorde preocupante para a época. No entanto, esse valor foi superado em 2023, quando o nível do rio recuou ainda mais, atingindo 12,70 metros, evidenciando um agravamento das secas na região. O episódio mais extremo

registrado até o momento ocorreu no ano de 2024, quando a estiagem alcançou níveis críticos, com a cota mínima do rio chegando a apenas 12,17 metros, conforme os dados oficiais do Porto de Manaus. Esse evento configurou-se como a mais severa seca já registrada no estado do Amazonas, impactando diretamente a navegação, o abastecimento de água, a biodiversidade e o modo de vida das comunidades ribeirinhas.

Diante desse cenário, torna-se cada vez mais evidente que tanto os eventos hidrológicos quanto os eventos climáticos extremos, resultantes de mudanças nos padrões atmosféricos, estão se tornando mais frequentes e intensos. O intervalo entre esses fenômenos vem diminuindo significativamente, demonstrando uma alteração preocupante na dinâmica ambiental da região. Além disso, os impactos sociais e econômicos dessas mudanças são cada vez mais perceptíveis, afetando diretamente a infraestrutura urbana, a segurança alimentar, a economia local e a resiliência das populações vulneráveis. A intensificação dessas variações climáticas exige um planejamento mais eficiente para mitigação de danos e adaptação das políticas públicas voltadas à gestão de desastres ambientais, uma vez que a tendência aponta para um cenário de desafios cada vez mais severos para a região amazônica.

Gráfico 2: Eventos extremos hidroclimáticos por ano



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Tabela 1: Registros de Ocorrências de Desastres no Amazonas

Ano	Registros de Ocorrências
2009	92
2010	49
2011	13
2012	60
2013	53
2014	51
2015	74
2016	20
2017	65
2018	24
2019	54
2020	8
2021	82
2022	90
2023	78
Total Geral	813

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Os dados apresentados acima demonstram a variação na quantidade de registros de eventos extremos no estado do Amazonas ao longo do período compreendido entre os anos de 2009 e 2023. O gráfico 2 exibe a distribuição anual do número de ocorrências, permitindo visualizar a oscilação na frequência desses eventos ao longo dos anos. Já a tabela 1 apresenta a contagem exata de registros para cada ano analisado, totalizando 813 registros durante todo o período observado.

Nesse cenário de constantes eventos extremos, destacam-se alguns anos como o de 2009, que apresentou o maior número de registros no início da série histórica, com um total de 92 ocorrências, evidenciando uma elevada incidência de eventos extremos naquele período. No ano seguinte, 2010, houve uma redução significativa no número de registros, contabilizando 49 ocorrências, o que representa uma queda em relação ao ano anterior. Em 2011, a diminuição se tornou ainda mais expressiva, registrando apenas 13 eventos, configurando-se como o ano com o menor número de registros dentro da série analisada.

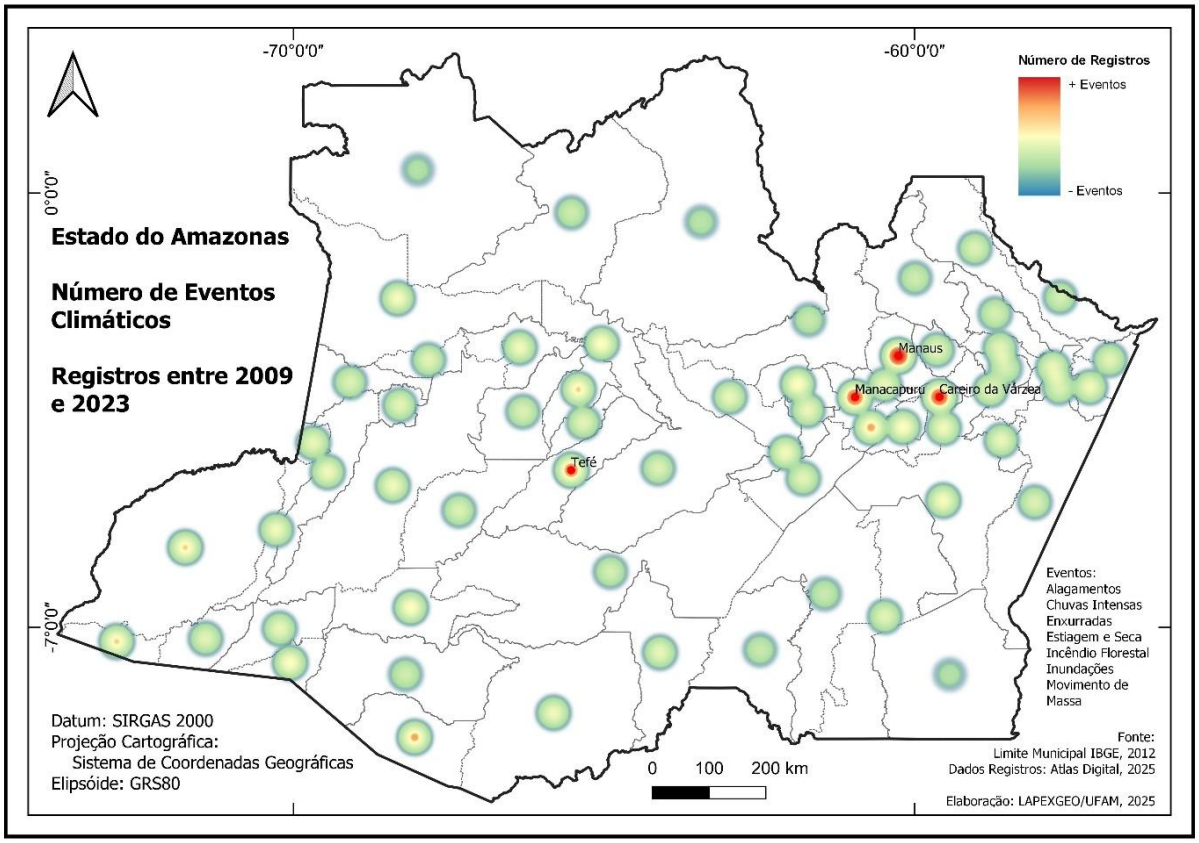
A partir de 2012, observa-se uma nova elevação na quantidade de eventos, atingindo 60 registros naquele ano. Em 2013 e 2014, os números se mantiveram relativamente próximos, com 53 e 51 registros, respectivamente. O ano de 2015 apresentou um novo pico significativo, totalizando 74 registros, indicando uma elevação considerável na quantidade de eventos extremos registrados em relação aos anos imediatamente anteriores.

Os anos de 2016 e 2018 demonstram quedas acentuadas na quantidade de eventos registrados, com 20 e 24 ocorrências, respectivamente, valores notadamente inferiores aos picos observados em 2015 e 2017, ano este em que a contagem de registros chegou a 65 ocorrências, evidenciando novamente um aumento na frequência dos eventos. Em 2019, houve um leve acréscimo em comparação ao ano anterior, com 54 registros computados.

O ano de 2020 registrou uma queda acentuada no número de eventos, com apenas 8 ocorrências, sendo o segundo menor valor dentro da série histórica, atrás apenas de 2011, que apresentou 13 registros. No entanto, a partir de 2021, os números voltam a apresentar uma elevação expressiva, atingindo 82 registros. Essa tendência de crescimento se manteve nos anos seguintes, com 90 ocorrências em 2022 e 78 em 2023, demonstrando uma retomada nos altos valores de registros de eventos extremos no estado do Amazonas nos últimos anos da série analisada.

Ao longo do período observado, verifica-se que há flutuações na quantidade de registros, com períodos de maior incidência seguidos por reduções, porém, em um panorama, constata-se que os anos mais recentes da série histórica analisada apresentam um aumento significativo na contagem de eventos, com destaque para os valores registrados entre 2021 e 2023, que se aproximam dos patamares mais elevados observados no início da série, especialmente os valores de 2009 e 2015.

Figura 3: Mapa do estado do Amazonas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O mapa acima (auxiliado pelo anexo 1) demonstra a quantidade de eventos extremos registrados entre os anos de 2009 e 2023 para cada município do estado do Amazonas, permitindo uma análise da distribuição desses eventos ao longo do território estadual. Os dados mostram uma variação significativa no número de ocorrências por município, evidenciando regiões com maior e menor frequência de registros ao longo do período analisado.

O município com o maior número de eventos registrados é Manaus, a capital do estado, com um total de 26 ocorrências ao longo dos 14 anos analisados. Esse número se destaca como o mais elevado entre todos os municípios listados, indicando uma alta incidência de eventos extremos na região metropolitana. Outros municípios com valores expressivos incluem Careiro da Várzea (24 registros), Manacapuru (23 registros) e Tefé (21 registros), evidenciando que essas localidades também enfrentam muitas ocorrências de eventos extremos.

Na faixa entre 15 e 20 eventos registrados, encontram-se municípios como Borba (15 eventos), Caapiranga (16 eventos), Careiro (16 eventos), Envira (16

eventos), Itamarati (16 eventos), Japurá (15 eventos), Manaquiri (18 eventos), Novo Airão (12 eventos), Tabatinga (13 eventos), Uarini (17 eventos) e Guajará (17 eventos). Esses municípios apresentam um número considerável de registros, demonstrando uma alta frequência de eventos extremos ao longo dos anos.

Já municípios com registros em torno de 10 a 14 eventos incluem Alvarães (12 eventos), Amaturá (12 eventos), Anamã (13 eventos), Anori (14 eventos), Atalaia do Norte (17 eventos), Autazes (12 eventos), Barcelos (6 eventos), Barreirinha (14 eventos), Benjamin Constant (14 eventos), Beruri (12 eventos), Boa Vista do Ramos (11 eventos), Boca do Acre (13 eventos), Codajás (13 eventos), Eirunepé (13 eventos), Fonte Boa (14 eventos), Humaitá (8 eventos), Ipixuna (12 eventos), Iranduba (13 eventos), Itacoatiara (13 eventos), Itapiranga (12 eventos), Juruá (11 eventos), Jutaí (14 eventos), Lábrea (14 eventos), Maraã (8 eventos), Maués (11 eventos), Nhamundá (10 eventos), Nova Olinda do Norte (13 eventos), Parintins (9 eventos), Presidente Figueiredo (9 eventos), Rio Preto da Eva (13 eventos), Santa Isabel do Rio Negro (11 eventos), Santo Antônio do Içá (11 eventos), São Gabriel da Cachoeira (5 eventos), São Paulo de Olivença (14 eventos), São Sebastião do Uatumã (9 eventos), Silves (10 eventos), Tapauá (10 eventos), Tonantins (12 eventos), Urucará (11 eventos) e Urucurituba (13 eventos).

Os municípios com menor número de registros ao longo do período analisado são Apuí (5 eventos) e São Gabriel da Cachoeira (5 eventos), evidenciando que nessas regiões a incidência de eventos extremos foi relativamente baixa em comparação a outras localidades do estado do Amazonas.

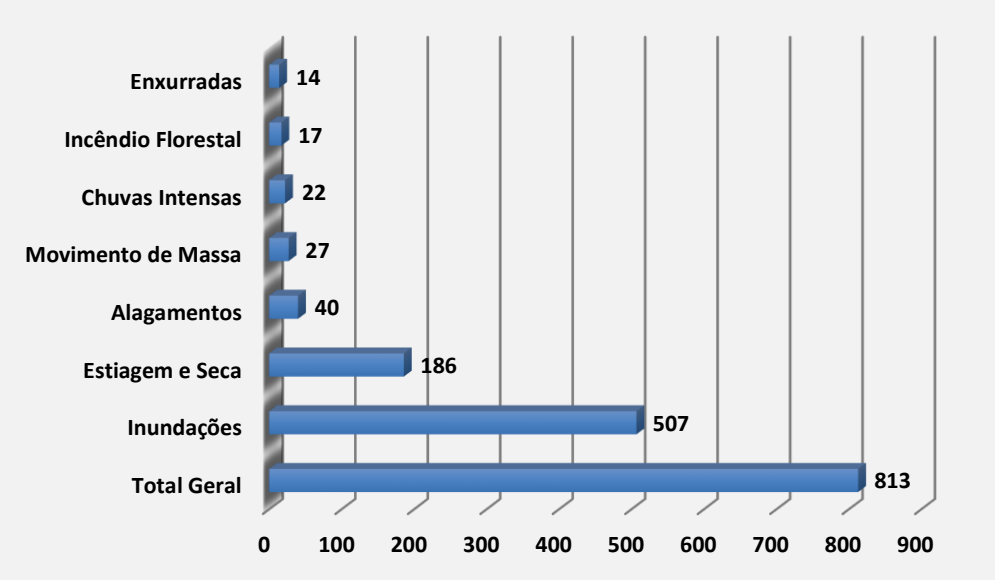
A análise da distribuição espacial desses eventos ao longo dos municípios revela que algumas regiões enfrentam uma maior frequência de ocorrências, o que pode indicar uma maior vulnerabilidade a eventos extremos. Municípios localizados na região metropolitana, como Manaus e Manacapuru, apresentam altos índices de registros, assim como áreas ribeirinhas, que frequentemente sofrem impactos associados a eventos hidrológicos e climáticos extremos.

Após analisar detalhadamente como os eventos extremos estão distribuídos pelos municípios do Amazonas, é importante agora examinar quais tipos de desastres ocorrem com mais frequência na região. Essa forma de visualizar os eventos nos permite entender melhor não apenas onde esses eventos acontecem, mas também quais são suas características principais.

Os dados que apresentamos anteriormente mostraram que cidades como Manaus, Careiro da Várzea e Manacapuru registraram o maior número de ocorrências. No entanto, saber apenas a quantidade de eventos em cada local não é suficiente. Precisamos compreender que tipos de problemas essas regiões enfrentam, se são principalmente inundações, secas, deslizamentos ou outros fenômenos.

Essa classificação por tipo de evento complementa perfeitamente os dados de localização que já vimos. Juntas, essas duas análises nos dão uma visão completa da situação: sabemos onde os problemas são mais frequentes e também conhecemos a natureza desses problemas. O gráfico 3 apresenta a contagem de registro com base em cada evento.

Gráfico 3: Registros por tipo de evento no Amazonas (2009 a 2023)



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Dentre todas as tipologias registradas, as inundações aparecem como o evento mais frequente, representando aproximadamente 62,4% do total de registros. Essa predominância absoluta reflete as características hidrográficas do estado do Amazonas, marcado por sua extensa rede fluvial e pelos ciclos naturais de cheias dos rios. As inundações mostram-se como o principal desafio ambiental da região, com impactos diretos na vida da população ribeirinha, na infraestrutura urbana e nas atividades econômicas locais.

Em segundo lugar, mas com uma frequência consideravelmente menor, aparece a categoria "Estiagem e Seca", que apresentam 22,9% do total. Este dado é

particularmente relevante por revelar uma aparente contradição climática: enquanto parte do ano sofre com excesso de água, outra parte enfrenta escassez hídrica. As secas têm se mostrado um problema crescente na região, com impactos severos na agricultura, no abastecimento de água e na navegação fluvial.

Os alagamentos, com 4,9% do total, aparecem como a terceira tipologia mais comum. Embora muitas vezes confundidos com inundações, os alagamentos têm características distintas, geralmente associadas a problemas de drenagem urbana e à incapacidade do solo de absorver grandes volumes de precipitação em curto espaço de tempo. Este fenômeno é especialmente relevante em áreas urbanas como Manaus, onde a impermeabilização do solo agrava o problema.

As chuvas intensas, com 2,7% do total, representam outro fenômeno meteorológico importante. Estes eventos estão frequentemente associados não apenas a alagamentos, mas também a outros problemas como interrupção do transporte, danos a edificações e riscos à segurança da população.

Os movimentos de massa, com 3,3% do total, embora menos frequentes que outros fenômenos, são particularmente preocupantes devido ao seu potencial destrutivo. Estes eventos, que incluem deslizamentos de terra e quedas de barreiras, estão frequentemente associados com áreas de ocupação irregular em encostas ou barrancos, comuns em muitas cidades da região.

As enxurradas e os incêndios florestais, com 1,7% e 2,1% do total respectivamente, completam o quadro geral. Embora menos frequentes, estes eventos podem ter impactos localizados bastante severos. As enxurradas são particularmente perigosas por sua velocidade e força destrutiva, enquanto os incêndios florestais representam uma ameaça crescente à biodiversidade amazônica. A análise da distribuição percentual revela que três categorias: inundações, estiagens e alagamentos respondem por mais de 90% dos registros totais, indicando a necessidade de políticas públicas focadas nestes três eixos principais. No entanto, é importante ressaltar que mesmo os eventos menos frequentes podem ter impactos significativos quando ocorrem, exigindo um sistema de prevenção e resposta abrangente.

Os dados sugerem, por exemplo, que estratégias de convivência com as cheias deveriam receber prioridade, sem descuidar dos programas de prevenção e combate aos efeitos das secas, que apesar de menos frequentes que as inundações, apresentam uma frequência relevante.

5.2 Registros de Danos dos Eventos Hidroclimáticos Extremos

Após conhecermos a quantidade de eventos por ano e a maneira que estão espacializados, podemos ir para uma próxima etapa, onde se verifica os danos e prejuízos propriamente ditos, sendo eles categorizados primeiramente em unidades de Danos Humanos (DH) e consequentemente em Danos Materiais (DM) do total de 813 registros, divididos em 2 períodos de 2009 a 2016 e 2017 a 2023, com 412 e 401 registros respectivamente.

A tabela 2 aponta os Danos Humanos de cada evento extremo durante os anos de análise. Leia-se “Danos Humanos” como todo o tipo de prejuízo ou enfermidade diretamente às pessoas, subdividido em 7 categorias: número de Mortos, Feridos, Enfermos, Desabrigados, Desalojados, Desaparecidos, Outros Afetados.

Tabela 2: Danos Humanos

Tipos de Danos Humanos	2009 a 2016	2017 a 2023	Total
DH_MORTOS	66	68	134
DH_FERIDOS	6.017	16.148	22.165
DH_ENFERMOS	89.851	251.947	341.798
DH_DESABRIGADOS	247.696	63.902	311.598
DH_DESALOJADOS	552.302	264.741	817.043
DH_DESAPARECIDOS	9	4	13
DH_OUTROS AFETADOS	1.214.654	2.769.056	3.983.710
DH_total_danos_humanos	2.110.595	3.365.866	5.476.461

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

No que diz respeito às vítimas, os números mostram uma relativa estabilidade entre os dois subperíodos analisados, com 66 óbitos registrados entre 2009 e 2016 e 68 entre 2017 e 2023, totalizando 134 mortes ao longo dos quinze anos. Esta pequena variação de apenas três por cento sugere que, apesar do aumento geral na frequência de eventos extremos, as medidas de proteção podem ter conseguido evitar um crescimento proporcional no número de fatalidades.

Contudo, quando examinamos os dados sobre feridos, o cenário se mostra bastante diferente e mais alarmante. O primeiro período registrou 6.017 pessoas feridas, número que saltou para impressionantes 16.148 no segundo período, representando um aumento de 168 por cento. Esta disparidade pode estar relacionada a diversos fatores, incluindo maior abrangência dos sistemas de registro, aumento da densidade populacional em áreas de risco ou mudanças na própria natureza dos eventos extremos, que podem estar se tornando mais frequentes ou intensos.

A situação se mostra ainda mais crítica quando analisamos os casos de pessoas que adoeceram em consequência desses eventos. Entre 2009 e 2016 foram registrados 89.851 casos, enquanto entre 2017 e 2023 esse número subiu para 251.947, um crescimento de 180 por cento que pode refletir o prolongamento das condições insalubres após os desastres, o surgimento de novas doenças relacionadas às mudanças climáticas ou os efeitos cumulativos de eventos extremos recorrentes sobre a saúde das populações afetadas.

Em contraste com esses aumentos expressivos, as categorias de desabrigados e desalojados apresentaram tendência oposta. O número de desabrigados caiu de 247.696 no primeiro período para 63.902 no segundo, uma redução de 74 por cento, enquanto os desalojados diminuíram de 552.302 para 264.741, queda de 52 por cento. Estas reduções podem indicar melhorias nas estratégias de prevenção, investimentos em infraestrutura mais resiliente ou mudanças nos critérios de classificação dessas categorias.

Os casos de desaparecidos, embora numericamente menores em comparação com outras categorias, também merecem atenção. Foram registrados 9 casos entre 2009 e 2016 e 4 entre 2017 e 2023, totalizando 13 desaparecimentos no período completo. A redução de 56 por cento pode refletir avanços nos sistemas de busca e salvamento ou melhorias nos registros populacionais.

A categoria denominada "outros afetados" apresenta os números absolutos mais expressivos e um crescimento acentuado, passando de 1.214.654 pessoas no primeiro período para 2.769.056 no segundo, aumento de 128 por cento. Estes dados sugerem uma ampliação significativa dos impactos indiretos dos eventos extremos, afetando grandes contingentes populacionais de formas diversas que não se enquadram nas categorias específicas anteriores.

Quando consolidamos todos esses dados no total geral de danos humanos, observamos que o número de pessoas afetadas de alguma forma saltou de 2.110.595 entre 2009 e 2016 para 3.365.866 entre 2017 e 2023, representando um aumento geral de 59 por cento. Este crescimento ocorreu mesmo com as reduções observadas nas categorias de desabrigados e desalojados, indicando uma transformação no perfil dos impactos humanos dos eventos extremos.

Tabela 3: Danos Materiais

Tipos de Danos Materiais	2009 a 2016	2017 a 2023	Total
DM_Uni Habita Danificadas	140.981,00	40.716,00	181.697,00
DM_Uni Habita Destruídas	11.942,00	23.206,00	35.148,00
DM_Inst Saúde Danificadas	867,00	383,00	1.250,00
DM_Inst Saúde Destruídas	21,00	7.327,00	7.348,00
DM_Inst Ensino Danificadas	3.337,00	1.597,00	4.934,00
DM_Inst Ensino Destruídas	160,00	906,00	1.066,00
DM_Inst Serviços Danificadas	-	148,00	148,00
DM_Inst Serviços Destruídas	-	257,00	257,00
DM_Inst Comuni Danificadas	2.009,00	519,00	2.528,00
DM_Inst Comuni Destruídas	43,00	229,00	272,00
DM_Obras de Infra Danificadas	32.637,00	6.702,00	39.339,00
DM_Obras de Infra Destruídas	16.979,00	12.241,00	29.220,00
Total unidades de danos	208.976,00	94.231,00	303.207,00

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

No setor habitacional, observamos tendências divergentes entre danificações e destruições totais. As unidades habitacionais danificadas apresentaram uma redução expressiva de 71%, caindo de 140.981 no primeiro período para 40.716 no segundo. Porém, em contraste alarmante, as habitações totalmente destruídas mais que dobraram, com um aumento de 94%. Esta disparidade sugere que os eventos extremos podem estar se tornando mais intensos em sua capacidade destrutiva, mesmo ocorrendo menos danos parciais.

O sistema de saúde apresentou um padrão ainda mais preocupante. Enquanto as instalações de saúde danificadas diminuíram 56%, as unidades totalmente destruídas experimentaram um aumento assustador de 34.800% (de apenas 21 para 7.327). Este dado extremamente relevante indica uma vulnerabilidade crescente das infraestruturas de saúde frente a eventos extremos, com consequências graves para a capacidade de resposta a emergências.

No âmbito educacional, tanto as instituições de ensino danificadas quanto as destruídas apresentaram reduções nos danos parciais (52% de queda nas danificadas) mas aumentos nas perdas totais (466% de crescimento nas destruídas).

Este padrão repetido em diferentes setores sugere uma possível mudança na natureza dos eventos extremos, que estariam causando menos danos parciais, mas mais destruições completas.

Um dado particularmente relevante é o surgimento de registros para instituições de serviços nos últimos anos (2017-2023), que não apareciam no período anterior, com 148 e 257 em prejuízos. Da mesma forma, as instalações comunitárias mostraram redução de 74% nos danos parciais, mas aumento de 433% nas destruições totais.

As obras de infraestrutura apresentaram comportamento semelhante aos demais setores: redução de 79% nas perdas de estruturas danificadas, mas queda menos acentuada de 28% nas destruições totais. Isso indica que, embora menos infraestruturas estejam sofrendo danos parciais, o número das que são completamente destruídas permanece elevado.

Quando analisamos o quadro geral, vemos que o total de unidades danificadas em termos monetários em todos os setores caiu de 208.976 para 94.231 (redução de 55%), porém com aumentos significativos em categorias específicas de destruição. Este padrão consistente mediante diversos setores (habitação, saúde, educação, serviços comunitários e infraestrutura) sugere algumas possíveis interpretações:

I. Os eventos extremos podem estar se tornando mais intensos, causando mais destruições completas e menos danos parciais.
II. As estruturas podem estar se tornando mais resistentes a danos leves, mas permanecendo vulneráveis a eventos extremos.
III. Pode ter havido mudanças nos critérios de classificação entre danificadas e destruídas.
IV. Os tipos de eventos podem estar mudando, com maior proporção de eventos altamente destrutivos.

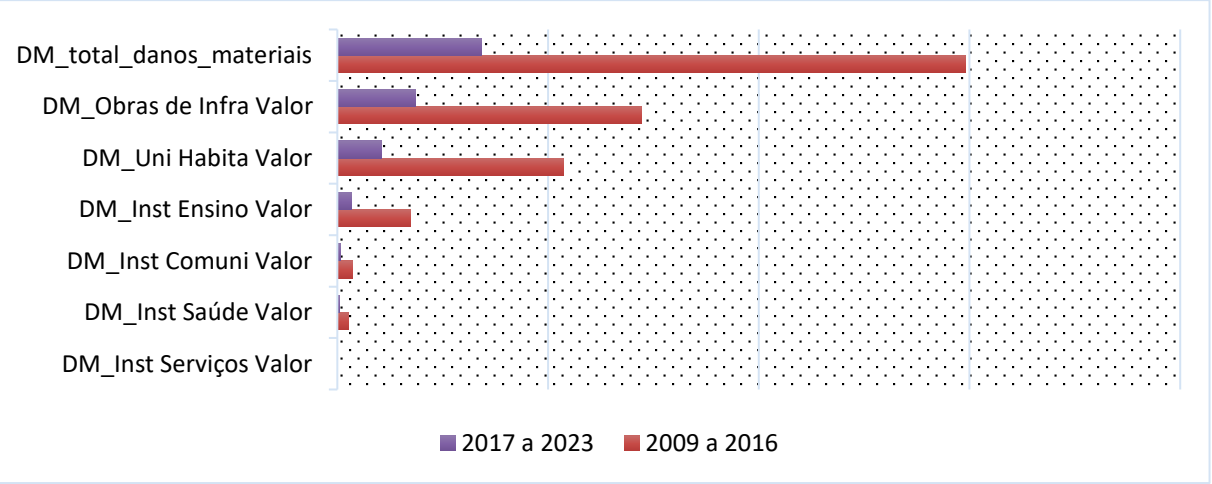
Os dados apresentam um desafio claro: embora menos estruturas estejam sofrendo danos parciais, um número crescente está sendo totalmente destruído, particularmente em setores vitais como saúde e educação. Esta mudança no perfil dos danos materiais exige adaptações correspondentes nas estratégias de prevenção, preparação e resposta a desastres.

5.3. Registros de Prejuízos dos Eventos Hidroclimáticos Extremos

Não basta somente sabermos como e onde ocorrem, a quem e o que foi prejudicado. As pessoas interagem com os incentivos (Mankiw, 2009) e a necessidade de saber os valores dos prejuízos causados pelos Eventos Extremos são de suma importância para a tomada de decisão e para subsidiar os mecanismos de resposta.

Nessa seção, são visualizados os dados de maneira agrupada em Danos Materiais, Prejuízos ao Setor Público (PEPL_total_publico), Setor Privado (PEPR_total_privado) e os Prejuízos Totais (PE_PlePR).

Gráfico 4: Valor dos danos materiais



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O montante total de prejuízos materiais acumulados nesse período de quinze anos atingiu a impressionante cifra de aproximadamente R$ 3,66 bilhões, sendo que a distribuição temporal desses danos revela uma disparidade marcante entre os dois sub períodos analisados, com os primeiros oito anos (2009-2016) concentrando a esmagadora maioria dos prejuízos, totalizando R$ 2,981 bilhões que representam aproximadamente 81% do valor global, enquanto os últimos sete anos (2017-2023) registraram R$ 682 milhões em danos materiais, correspondendo a cerca de 19% do total, o que configura uma redução substancial de 77% no valor absoluto dos prejuízos quando comparamos os dois intervalos temporais.

Essa drástica redução nos valores dos danos materiais entre os dois períodos pode ser atribuída a diversos fatores inter-relacionados, incluindo possíveis melhorias nas estratégias de prevenção e mitigação de desastres, investimentos em infraestrutura mais resiliente e preparada para enfrentar eventos extremos, mudanças

no padrão de ocorrência e intensidade desses eventos climáticos, além de possíveis atualizações nos métodos e critérios utilizados para avaliação e quantificação dos danos materiais.

Ao analisarmos a distribuição setorial desses prejuízos monetários, observamos que as obras de infraestrutura foram as que sofreram os maiores impactos em termos absolutos, acumulando perdas totais de R$ 1,815 bilhões ao longo dos quinze anos, o que representa nada menos que 49,5% de todos os danos materiais registrados, sendo que no primeiro período (2009-2016) os prejuízos nesse setor alcançaram R$ 1,442 bilhões enquanto no segundo período (2017-2023) reduziram-se para R$ 372 milhões, configurando uma queda de 74% que, apesar de significativa, não foi suficiente para tirar a infraestrutura da posição de setor mais vulnerável economicamente aos efeitos dos eventos extremos.

O setor habitacional aparece como o segundo mais afetado em termos monetários, com perdas totais de R$ 1,281 bilhões que correspondem a 35% do montante global, apresentando a redução mais expressiva entre todos os setores analisados, com uma queda de 81% nos valores dos danos entre o primeiro período (R$ 1,072 bilhões) e o segundo período (R$ 209 milhões), redução esta que pode estar associada a diversos fatores como a implementação de programas de construção civil mais resistentes a eventos extremos, a relocação planejada de comunidades situadas em áreas de alto risco, melhorias significativas nos sistemas de alerta que permitem ações preventivas mais eficazes, além de possíveis mudanças nos padrões de ocupação territorial.

As instituições de ensino ocupam o terceiro lugar em termos de magnitude dos prejuízos monetários, com danos acumulados de R$ 415 milhões ao longo dos quinze anos, representando 11% do total geral, onde se observa uma redução de 80% no valor dos danos entre o primeiro período (R$ 345 milhões) e o segundo período (R$ 70 milhões), queda esta que pode refletir a adoção de padrões construtivos mais adequados para edificações escolares, a implementação de programas sistemáticos de manutenção preventiva, além de uma possível redução na exposição ao risco dessas instalações

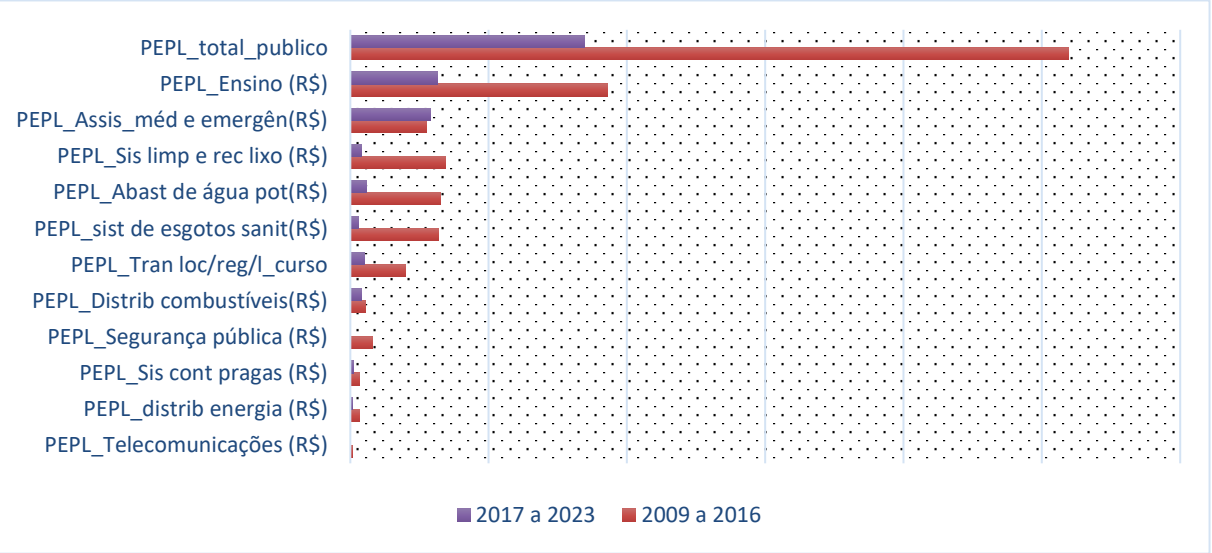
O setor de instalações comunitárias registrou perdas totais de aproximadamente R$ 88 milhões que representam 2,4% do montante global, apresentando uma redução de 76% nos valores dos danos entre os dois períodos analisados (de R$ 71 milhões para R$ 17 milhões), sendo interessante notar o

surgimento de registros específicos para esse segmento apenas no segundo período, com R$ 2,5 milhões em danos, o que pode indicar uma ampliação do escopo de monitoramento e avaliação, um maior reconhecimento da importância estratégica dessas estruturas comunitárias, ou mesmo mudanças nos critérios e metodologias de avaliação empregados.

As instalações de saúde, por sua vez, acumularam prejuízos de aproximadamente R$ 64 milhões ao longo dos quinze anos, correspondendo a 1,7% do total geral, com uma redução de 77% nos valores dos danos entre o primeiro período (R$ 52 milhões) e o segundo período (R$ 12 milhões), queda esta que contrasta com o aumento no número de unidades destruídas observado na análise quantitativa anterior, sugerindo que as instalações afetadas no segundo período possuíam menor valor unitário, possivelmente em decorrência de uma descentralização dos serviços de saúde ou de investimentos em unidades menores e mais distribuídas territorialmente.

Ao examinarmos a distribuição percentual dos danos por setor, observamos que a proporção relativa dos prejuízos manteve um padrão surpreendentemente similar entre os dois períodos analisados, com as obras de infraestrutura respondendo por cerca de metade de todos os danos monetários (49,5%), o setor habitacional por aproximadamente um terço (35%), as instituições de ensino por cerca de um décimo (11%), as instalações comunitárias por 2,4%, as instalações de saúde por 1,7% e as instituições de serviços por apenas 0,07% do total geral.

Gráfico 5: Valor dos prejuízos públicos



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Ao nos atentarmos aos dados referentes aos prejuízos acumulados nos serviços públicos essenciais, ao longo do período, observamos um panorama complexo que revela tanto avanços significativos quanto desafios persistentes na proteção das infraestruturas públicas contra os efeitos de eventos extremos.

O montante agregado dos prejuízos documentados nesse período atingiu R$ 1,38 bilhões, com uma distribuição temporal bastante desigual entre os dois intervalos analisados, sendo que os primeiros oito anos (2009-2016) concentraram R$ 1,04 bilhões em danos, o que representa aproximadamente 75% do valor global, enquanto os últimos sete anos (2017-2023) apresentaram R$ 339 milhões em prejuízos, correspondendo a cerca de 25% do total, o que configura uma redução expressiva de 67% no valor absoluto dos danos quando comparamos os dois períodos.

Ao analisarmos a distribuição setorial desses impactos monetários do setor público, constatamos que o serviço de educação foi o mais afetado em termos absolutos, acumulando prejuízos totais de R$ 497 milhões ao longo dos quinze anos, o que representa 36% de todos os danos registrados nos serviços públicos, sendo que no primeiro período (2009-2016) os prejuízos nesse setor alcançaram R$ 371 milhões, enquanto no segundo período (2017-2023) reduziram-se para R$ 126 milhões, configurando uma queda de 66% que, apesar de expressiva, não foi suficiente para tirar a educação da posição de serviço público mais vulnerável economicamente aos efeitos dos eventos extremos.

O setor de assistência médica e emergência aparece como o segundo mais impactado em termos monetários, com perdas totais de R$ 227 milhões que correspondem a 16,5% do montante global, apresentando uma relativa estabilidade entre os períodos, com aumento de 5% nos valores dos danos (de R$ 111 milhões para R$ 116 milhões), comportamento atípico quando comparado à redução geral observada na maioria dos outros serviços, o que pode indicar uma crescente pressão sobre o sistema de saúde decorrente tanto dos eventos extremos em si quanto da maior demanda por atendimentos de emergência por parte da população afetada.

Os sistemas de saneamento básico, compreendendo o abastecimento de água potável e o esgotamento sanitário, acumularam prejuízos totais de R$ 291 milhões ao longo dos quinze anos, representando 21% do total geral, sendo que o abastecimento de água e o esgotamento sanitário registrou R$ 153 milhões em danos (com redução de 82% entre períodos) no primeiro período e R$ 138 milhões (com queda de 91%) no segundo período, números que sugerem importantes avanços na proteção dessas

infraestruturas críticas essenciais para a saúde pública e a qualidade de vida da população.

Os serviços de limpeza urbana e coleta de lixo apresentaram perdas totais de R$ 153 milhões, que representam 11% do montante global, com uma redução de 88% nos valores dos danos entre os dois períodos analisados (de R$ 137 milhões para R$ 16 milhões), demonstrando uma das quedas mais expressivas registradas em qualquer setor, possivelmente decorrente de melhorias significativas na gestão de resíduos sólidos, na modernização da frota de coleta e na infraestrutura de disposição final.

O sistema de transportes, que inclui transporte local, regional e de longo curso, acumulou prejuízos de R$ 100 milhões ao longo dos quinze anos, correspondendo a 7,2% do total geral, com redução de 75% entre períodos (de R$ 80 milhões para R$ 20 milhões), indicando avanços na proteção da malha viária e da infraestrutura de transportes contra os efeitos dos eventos extremos.

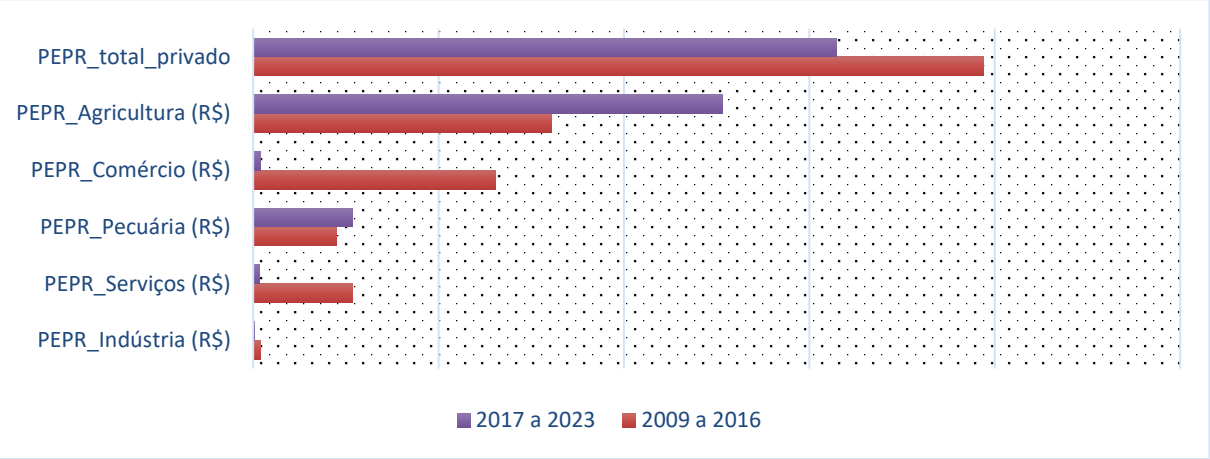
Os demais serviços públicos analisados apresentaram impactos monetários menores, porém ainda significativos, incluindo o sistema de controle de pragas (R$ 18 milhões no total), distribuição de energia (R$ 17 milhões), telecomunicações (R$ 3,4 milhões), distribuição de combustíveis (R$ 37 milhões) e segurança pública (R$ 33 milhões), sendo interessante notar que a segurança pública apresentou a redução mais drástica entre todos os setores (queda de 98% entre períodos), possivelmente indicando uma reorganização bem-sucedida dos protocolos de atuação em situações de emergência.

Ao examinarmos a distribuição percentual dos prejuízos por setor, observamos que a proporção relativa dos danos manteve um padrão relativamente estável entre os dois períodos analisados, com a educação respondendo por mais de um terço de todos os prejuízos (36%), a assistência médica por cerca de um sexto (16,5%), o saneamento básico por aproximadamente um quinto (21%), a limpeza urbana por um décimo (11%), os transportes por 7,2% e os demais serviços combinados por 8,3% do total geral.

A análise detalhada desses dados monetários permite concluir que, a educação permanece como a área mais vulnerável, tendo maiores prejuízos do setor público, exigindo atenção especial e investimentos direcionados, enquanto setores como saneamento básico e limpeza urbana demonstraram notável resiliência no período mais recente, possivelmente como resultado de políticas públicas de modernização e

fortalecimento de suas infraestruturas.

Gráfico 6: Valor dos prejuízos privados



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O total de perdas registradas no setor privado nesse período atingiu a expressiva cifra de R$ 3,54 bilhões com uma distribuição temporal que apresenta particularidades interessantes, sendo que os primeiros oito anos (2009-2016) concentraram R$ 1,97 bilhões em danos, o que representa aproximadamente 56% do valor global, enquanto os últimos sete anos (2017-2023) apresentaram R$ 1,57 bilhões em prejuízos, correspondendo a cerca de 44% do total, configurando uma redução de 20% no valor absoluto dos danos quando comparamos os dois períodos.

Uma análise mais detalhada no que tange o setor privado revela que o setor agrícola foi de longe o mais impactado em termos monetários, acumulando prejuízos totais de R$ 2,07 bilhões ao longo dos quinze anos, o que representa impressionantes 58% de todos os danos registrados no setor privado, sendo que neste caso específico observamos um comportamento atípico com aumento de 57% nos valores dos prejuízos entre o primeiro período (R$ 805 milhões) e o segundo período (R$ 1,26 bilhões), tendência oposta à redução verificada nos outros segmentos.

O comércio, por sua vez, registrou prejuízos totais de R$ 653 milhões ao longo dos quinze anos (sendo o segundo com mais perdas), representando 19% do total geral, porém com uma redução drástica de 97% entre os períodos (de R$ 653 milhões para R$ 20 milhões), queda mais acentuada que a média geral e que pode indicar importantes adaptações do setor comercial às condições de risco.

O setor pecuário aparece como o terceiro mais afetado em termos absolutos, com perdas totais de R$ 494 milhões que correspondem a 14% do montante global,

apresentando um aumento de 20% nos valores dos danos entre os períodos (de R$ 225 milhões para R$ 269 milhões), comportamento similar ao observado na agricultura, que sugere uma crescente vulnerabilidade desses dois segmentos primários aos efeitos dos eventos extremos, possivelmente relacionada às mudanças climáticas e seus impactos nos sistemas de produção rural.

O segmento de serviços apresentou perdas totais de R$ 284 milhões que representam 8% do montante global, com uma redução de 94% nos valores dos danos entre os dois períodos analisados (de R$ 267 milhões para R$ 17 milhões), comportamento similar ao observado no comércio e que sugere que esses dois segmentos terciários conseguiram adaptar aos eventos de maneira mais positiva e rápida.

A indústria foi o segmento menos impactado em termos absolutos, acumulando prejuízos de apenas R$ 22 milhões ao longo dos quinze anos, correspondendo a 0,6% do total geral, com uma redução de 86% entre períodos (de R$ 19 milhões para R$ R$ 3 milhões), números que podem refletir tanto a menor exposição geográfica das unidades industriais a eventos extremos quanto investimentos mais robustos em infraestrutura resiliente por parte desse segmento.

Ao examinarmos a distribuição percentual dos prejuízos por segmento econômico, observamos mudanças significativas na composição relativa dos danos entre os dois períodos analisados, com a agricultura aumentando sua participação de 41% para 80% do total de prejuízos no setor privado, enquanto o comércio reduziu sua participação de 33% para apenas 1%, os serviços de 14% para 1% e a indústria de 1% para 0,2%, com a pecuária mantendo relativa estabilidade em torno de 11% a 17%.

Essa radical transformação no perfil dos prejuízos privados demonstra claramente uma mudança estrutural na vulnerabilidade setorial, com os segmentos primários (agricultura e pecuária) assumindo protagonismo absoluto nos impactos econômicos dos eventos extremos no período mais recente, enquanto os segmentos urbanos (comércio, serviços e indústria) conseguiram reduzir drasticamente suas perdas, possivelmente mediante estratégias de prevenção mais eficazes e adaptações estruturais mais profundas.

A análise comparativa entre setores revela que, enquanto a agricultura e pecuária tiveram aumentos de 57% e 20% respectivamente nos valores dos prejuízos entre períodos, todos os outros segmentos apresentaram reduções significativas,

variando de 86% na indústria a 97% no comércio.

Em resumo, observamos um panorama que revela tanto avanços significativos quanto desafios persistentes no enfrentamento dos eventos extremos, com destaque para a expressiva soma de R$ 5 bilhões em prejuízos totais quando consideramos os setores público, privado e os danos materiais em sua totalidade.

No setor público, que acumulou perdas de R$ 1,38 bilhão, identificamos uma redução geral de 67% nos prejuízos entre os dois períodos analisados, com destaque para o sistema educacional que mesmo apresentando queda de 66% nos valores dos danos permaneceu como o serviço mais vulnerável, respondendo por 36% das perdas totais, enquanto o setor de saúde foi o único que registrou aumento nos prejuízos (5%), alcançando R$ 227 milhões, um dado preocupante que demanda atenção especial.

O setor privado, com prejuízos totais de R$ 3,54 bilhões, apresentou comportamento distinto entre seus segmentos, sendo que a agricultura se destacou negativamente ao acumular R$ 2,07 bilhões em perdas (58% do total) e ainda registrar um aumento de 57% entre os períodos, enquanto a pecuária também mostrou crescimento de 20% nos prejuízos, contrastando fortemente com os setores de comércio, serviços e indústria que reduziram seus danos em mais de 85%.

Os danos materiais, que totalizaram R$ 3,66 bilhões, apresentaram a redução mais expressiva entre todas as categorias analisadas (77%), com as obras de infraestrutura liderando os prejuízos em valores absolutos (R$ 1,81 bilhão) mas registrando queda de 74%, enquanto o setor habitacional apareceu em segundo lugar (R$ 1,28 bilhão) com redução de 81%, padrão que se repetiu em praticamente todos os segmentos de infraestrutura analisados.

No que diz respeito aos impactos humanos, os dados revelaram um aumento geral de 59% no número de pessoas afetadas, alcançando a marca de 5,5 milhões, sendo particularmente alarmantes os crescimentos de 180% nos casos de pessoas que adoeceram e 168% no número de feridos, enquanto as categorias de desabrigados e desalojados apresentaram quedas significativas de 74% e 52% respectivamente.

Tabela 4: Prejuízos por Evento

Tipos de Desastres	Total de PEPR_total_privado (R$)	Total de PEPL_total_publico (R$)	Total de PE_PlePR (R$)
Alagamentos	46.711.510,54	44.350.688,29	91.062.198,83
Chuvas Intensas	43.819.072,53	4.194.181,14	48.013.253,68
Enxurradas	35.264.225,42	50.159.961,22	85.424.186,64
Estiagem e Seca	1.253.475.968,54	179.285.664,75	1.432.761.633,29
Incêndio Florestal	21.393.066,52	2.962.618,77	24.355.685,29
Inundações	2.282.036.536,52	1.122.816.863,60	3.404.853.400,13
Movimento de Massa	5.356.410,77	138.510,31	5.494.921,09
Total Geral	**3.688.056.790,85**	**1.403.908.488,09**	**5.091.965.278,93**

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A tabela 4 consolida os totalizadores privados e públicos por tipo de evento, o que nos faz perceber algumas particularidades. As inundações se destacam como o tipo de desastre mais devastador em termos monetários, acumulando prejuízos totais de R$ 3,4 bilhões, sendo R$ 2,28 bilhões concentrados no setor privado e R$ 1,12 bilhão no setor público, números que representam respectivamente 62% e 80% dos danos totais em cada setor, demonstrando a vulnerabilidade generalizada de ambos os setores frente a esse tipo específico de evento extremo.

Em segundo lugar aparece a estiagem e seca, com impactos totais de R$ 1,43 bilhão, porém com uma distribuição radicalmente diferente entre os setores, sendo que o privado absorveu R$ 1,25 bilhão (87% do total) enquanto o público registrou R$ 179 milhões em prejuízos (13%), discrepância que revela a maior exposição da atividade produtiva privada, especialmente a agricultura e pecuária, aos efeitos das mudanças climáticas e dos períodos prolongados de escassez hídrica na região que nesses períodos enfrenta problemas graves de logística.

Os alagamentos e enxurradas apresentaram padrões semelhantes em termos de magnitude total (R$ 91 milhões e R$ 85 milhões respectivamente), porém com distribuições inversas entre os setores, sendo que os alagamentos afetaram quase igualmente privados (R$ 47 milhões) e públicos (R$ 44 milhões), enquanto as enxurradas causaram mais danos ao setor público (R$ 50 milhões) do que ao privado (R$ 35 milhões), diferenças que podem estar relacionadas aos tipos específicos de infraestrutura atingida em cada caso.

As chuvas intensas registraram prejuízos totais de R$ 48 milhões, com uma distribuição extremamente desigual entre os setores, afetando predominantemente o privado (R$ 44 milhões ou 91% do total) em comparação com o público (R$ 4 milhões), padrão similar ao observado nos incêndios florestais que totalizaram R$ 24 milhões em danos, sendo R$ 21 milhões no privado (87%) e apenas R$ 3 milhões no público (13%).

O movimento de massa foi o tipo de desastre com menor impacto econômico absoluto (R$ 5,5 milhões totais), porém com uma distribuição ainda mais desproporcional, concentrando 97% dos danos no setor privado (R$ 5,36 milhões) contra apenas 3% no público (R$ 138 mil), indicando que esse tipo específico de evento afeta predominantemente propriedades e empreendimentos particulares.

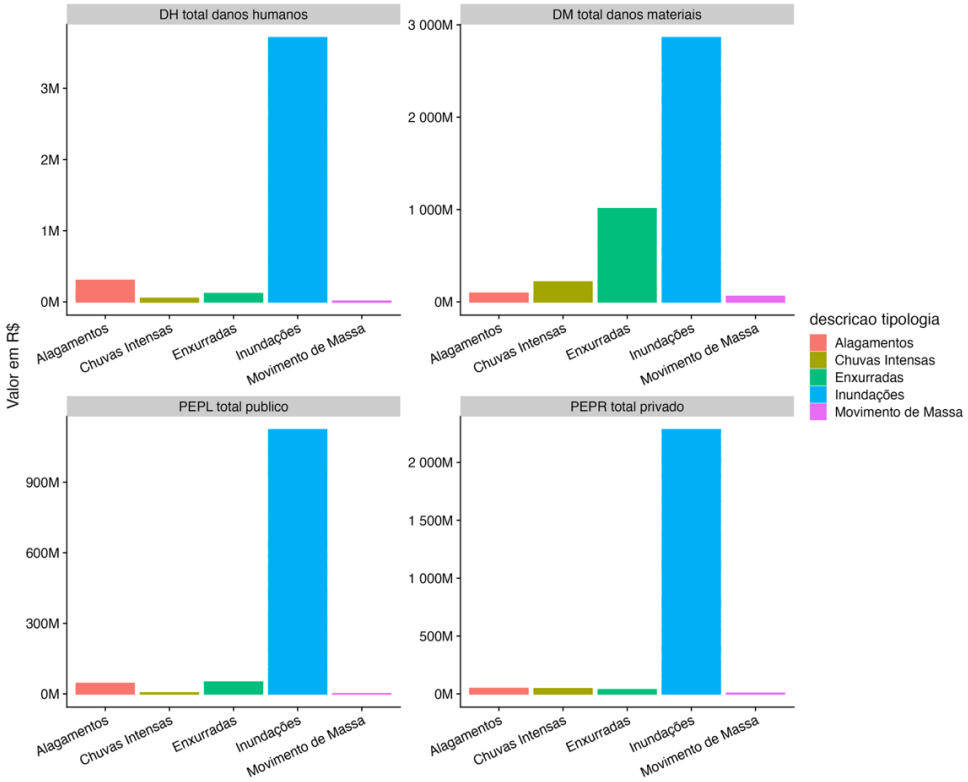
Ao analisarmos o quadro geral, constatamos que o setor privado suportou a maioria dos prejuízos totais (R$ 3,69 bilhões ou 72% do total), enquanto o público registrou R$ 1,4 bilhão (28%), proporção que varia radicalmente conforme o tipo de desastre, desde os quase equilibrados 51%/49% nos alagamentos até os extremamente desproporcionais 97%/3% nos movimentos de massa.

5.4 Variações dos Eventos Hidroclimáticos Extremos no Amazonas

Compreender as mudanças no comportamento dos desastres naturais não se resume à sua ocorrência bruta, mas exige observar como os impactos humanos, materiais e econômicos têm evoluído ao longo do tempo e entre diferentes categorias de desastres. Nesta seção, parte-se de uma análise mais aprofundada sobre os padrões temporais dos danos causados por eventos hidroclimáticos extremos no estado do Amazonas, buscando revelar tendências de intensificação, mudança de perfil ou deslocamentos no foco dos prejuízos.

Como já foi visto na seção anterior, o principal evento que ocorre com mais intensidade e que causa as maiores perdas ou prejuízos são as Inundações, caracterizada como sendo a principal dos eventos hidrológicos, seguida pela Estiagem e Seca que corresponde como o primeiro dos eventos climatológicos. Analisando os eventos hidrológicos de forma isolada, descobriu-se que a principal preocupação ainda continua sendo as inundações, destaca-se como o principal vetor de danos, com prejuízos que são largamente superiores as outras tipologias.

Gráfico 7: Distribuição dos danos por tipologia de desastres hidrológicos no Amazonas



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

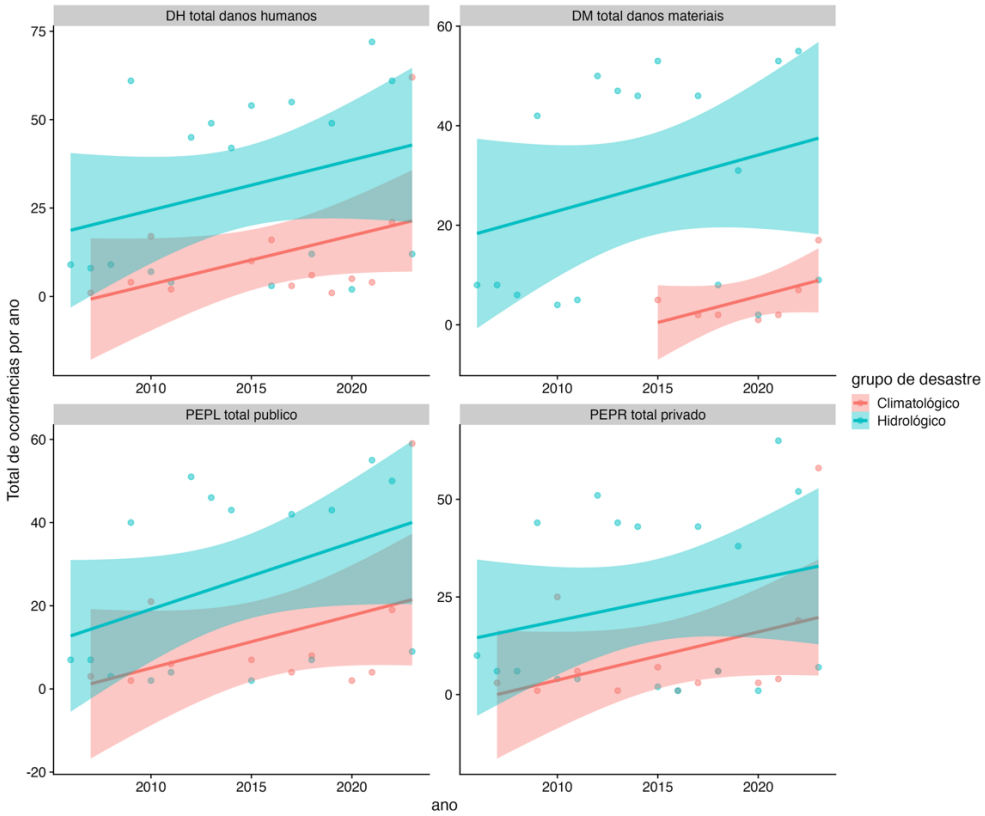
O gráfico 7 demonstra essa disparidade entre os tipos de desastres, algumas tendencias podem ser observadas aqui, a primeira já foi dita que é o alto nível de destruição e ocorrência das inundações, mas também podemos visualizar que os alagamentos é um tipo de desastre que causa bastante prejuízo em forma de danos humanos, mas em relação aos danos materiais isso não é tão intenso, o que pode significar que quando ocorre esse tipo de desastre os danos humanos são maiores que os materiais, há mais prejuízos em relação ao numero de desabrigados, mortes e feridos do que a habitações danificadas ou destruídas por exemplo.

Outra tendência bastante interessante é o grau de destruição material causado por enxurradas em comparação com os danos humanos. Diferentemente dos alagamentos, onde os impactos humanos são maiores, nas enxurradas os danos materiais mais que dobram.

Quando vemos os prejuízos nas esferas públicas e privadas as tendencias são semelhantes com algumas peculiaridades, a primeira delas são os níveis de prejuízos

causadas por Alagamentos e Enxurradas, que demonstram ser maiores no setor publico em relação ao setor privado, a mesma coisa acontece com as chuvas intensas, que mesmo sendo baixas comparadas a outras, apresentam uma leve alta no setor privado em relação ao público.

Gráfico 8: Tendências de ocorrências por ano



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O modelo de contagem revela tendências no número de ocorrências, evidenciando particularidades importantes sobre a dinâmica dos desastres naturais na região. Como já mencionado, os eventos hidrológicos tradicionalmente apresentam maior recorrência e poder destrutivo que os climatológicos. De forma ampla, observa-se uma tendência de crescimento contínuo no número de ocorrências em todas as categorias analisadas, especialmente para os eventos hidrológicos. Este crescimento é mais acentuado a partir de 2012, com aceleração progressiva na segunda metade da série, indicando que os eventos extremos estão se tornando mais frequentes e recorrentes ao longo do tempo. A inclinação positiva das curvas de tendência, em especial nos desastres hidrológicos, reforça esse padrão.

No quadrante superior esquerdo, a curva de tendência referente aos danos humanos causados por desastres hidrológicos mostra uma ascensão gradual, mas contínua, com aumento expressivo no número de registros nos últimos anos. Isso pode estar relacionado à intensificação de inundações prolongadas, alagamentos e enchentes em áreas densamente povoadas ou de alta vulnerabilidade. No caso dos desastres climatológicos, embora em menor número, há também um aumento visível no número de ocorrências, o que reforça o papel crescente das secas e queimadas como causadores de impactos sobre a população, especialmente em contextos de saúde pública e acesso a recursos básicos como água e alimentos.

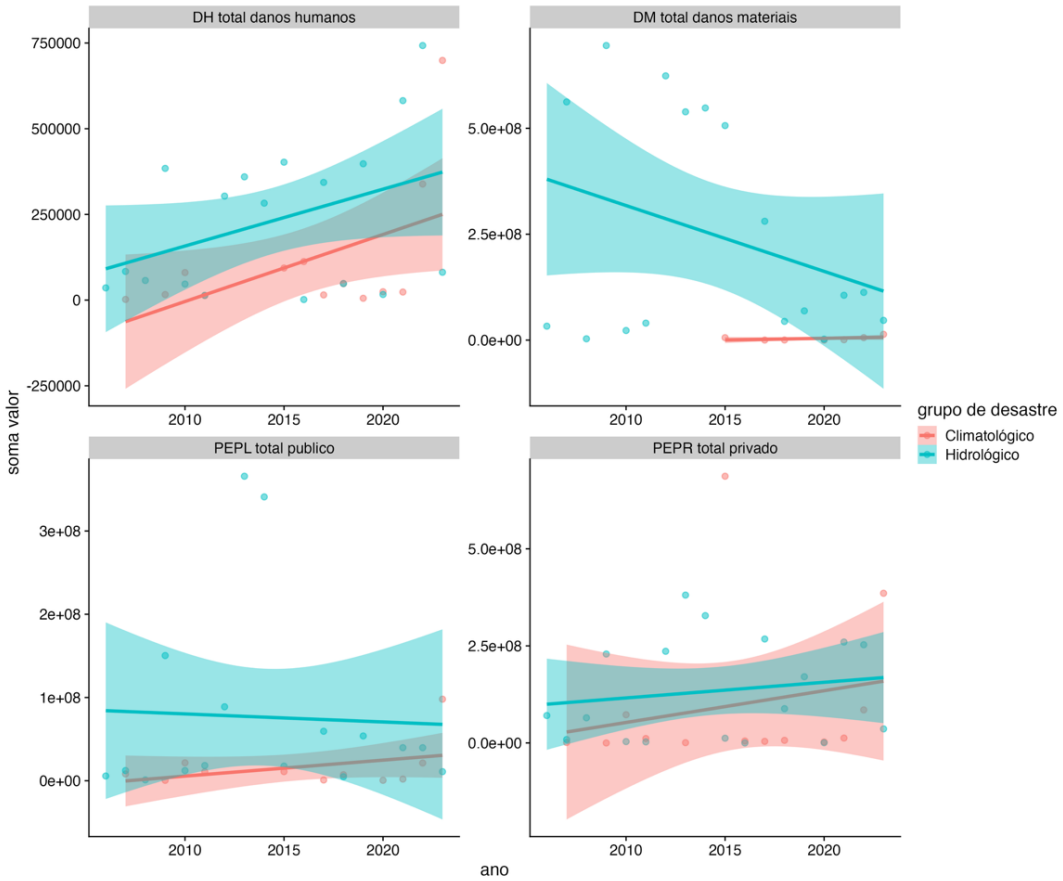
No quadrante superior direito, os danos materiais causados por desastres hidrológicos evidenciam uma tendência fortemente ascendente, com uma inclinação bastante significativa da curva de crescimento. Isso reforça a hipótese de que a vulnerabilidade da infraestrutura urbana e rural frente às cheias e enxurradas tem se mantido ou até se ampliar com o passar dos anos. Em contraste, os desastres climatológicos apresentam uma curva de crescimento mais tímida, mas ainda assim ascendente, com uma recuperação visível após um período de baixa ocorrência entre 2009 e 2015.

No quadrante inferior esquerdo, observa-se um crescimento gradual e constante nas ocorrências de danos ao setor público, tanto para desastres hidrológicos quanto climatológicos. A curva dos hidrológicos é mais acentuada, o que está em linha com sua maior frequência e maior capacidade de afetar serviços e infraestrutura pública como escolas, hospitais e sistemas de transporte em áreas vulneráveis. A curva dos desastres climatológicos, embora mais discreta, também indica um crescimento relevante, sugerindo que secas e queimadas têm afetado, com mais frequência, serviços públicos e bens de uso coletivo.

Por fim, no quadrante inferior direito, observa-se que os prejuízos ao setor privado também vêm crescendo de forma constante. A curva associada aos desastres hidrológicos segue uma trajetória positiva clara, com maior inclinação do que a curva correspondente aos desastres climatológicos. Isso mostra que a repetição dos eventos hidrológicos vem causando perdas frequentes ao setor produtivo, aos comércios, às residências e ao patrimônio privado em geral. O crescimento da curva climatológica também deve ser destacado, pois indica que, nos últimos anos, eventos como estiagens severas podem ter prejudicado cadeias produtivas importantes da economia regional, especialmente nas zonas rurais.

De forma geral, a análise desse gráfico revela um quadro de crescimento generalizado na frequência de eventos extremos que resultam em danos significativos, com destaque para os desastres hidrológicos, que se mostram mais frequentes, mais distribuídos e com tendências de crescimento mais acentuadas em todas as categorias de impacto analisadas. O comportamento das curvas climatológicas também merece atenção, dado o seu crescimento contínuo, embora menos intenso, o que pode sinalizar uma transição climática gradual que tende a ampliar os efeitos das secas e queimadas sobre a realidade amazônica.

Gráfico 9: Total de dano por ano



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O Gráfico 9, ao contrário do Gráfico 8, ilustra a evolução temporal dos valores totais de danos e prejuízos ao longo dos anos. Observa-se a presença de diferentes tendências entre os grupos analisados, o que sugere que ambos os gráficos fornecem informações complementares e enriquecem a compreensão do comportamento dos desastres ao longo do tempo.

O painel superior esquerdo mostra uma tendência clara de aumento nos valores totais dos danos humanos, tanto em eventos hidrológicos quanto climatológicos. A curva azul, referente aos desastres hidrológicos, mostra um crescimento constante e significativo ao longo dos anos, sugerindo que os impactos sobre a saúde, segurança e integridade das populações afetadas vêm se intensificando. Isso pode ser interpretado como reflexo da maior severidade dos eventos, da ampliação da área urbana vulnerável ou de uma maior densidade populacional nas zonas de risco. A curva vermelha, correspondente aos eventos climatológicos, também apresenta crescimento consistente, o que é relevante do ponto de vista político e social: secas prolongadas e queimadas, por exemplo, estão se tornando cada vez mais danosas para o bem-estar humano. O aumento nos valores sugere não apenas maior frequência, mas também ampliação da gravidade dos efeitos diretos e indiretos.

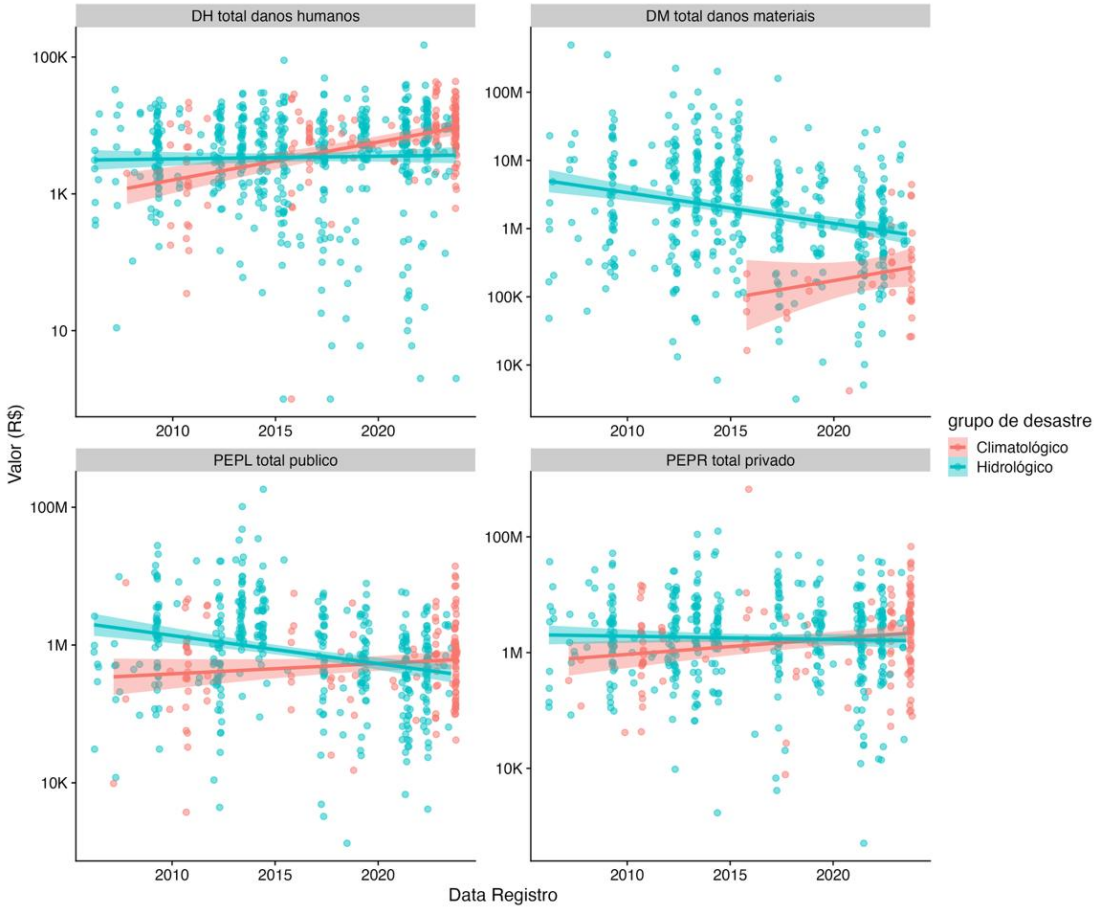
O painel superior direito revela uma tendência de declínio acentuado no valor dos danos materiais associados aos desastres hidrológicos. Essa queda pode ter múltiplas explicações: desde uma possível efetividade de políticas públicas de mitigação e contenção de cheias até mudanças na forma de notificação e contabilização dos danos. É notável, no entanto, que os registros mais altos estão concentrados no início da série histórica. Já os danos materiais provocados por eventos climatológicos, embora apresentem valores muito inferiores, permanecem estáveis ao longo do tempo, com pouca variação na média. Isso pode indicar tanto subnotificação ou subvalorização desses prejuízos quanto a sua distribuição mais difusa e menos concentrada em áreas densamente ocupadas.

O painel inferior esquerdo traz dados sobre os prejuízos enfrentados por entes públicos. A curva azul mostra que, no caso dos desastres hidrológicos, os valores apresentam uma tendência de estabilidade, sem crescimento expressivo ao longo do período. Isso pode indicar que o setor público vem conseguindo, ao longo dos anos, responder de forma mais estruturada aos danos causados por inundações e alagamentos, evitando grandes prejuízos recorrentes. Por outro lado, os prejuízos causados por desastres climatológicos mostram um pequeno aumento na parte final da série, ainda que com grande variabilidade e baixa amplitude. Isso pode sinalizar um aumento na pressão sobre os sistemas públicos devido a eventos como estiagens prolongadas, que afetam o fornecimento de água, saúde pública e sistemas de educação em áreas rurais isoladas.

De forma geral, enquanto os danos humanos apresentam uma tendência geral de crescimento para ambos os tipos de desastres, os danos materiais hidrológicos têm diminuído, possivelmente por mudanças institucionais, investimentos em infraestrutura ou alterações metodológicas de registro.

Nos setores público e privado, os resultados são igualmente contrastantes: o setor público tem mantido certa estabilidade nos danos, talvez como resultado de maior capacidade de resposta, enquanto o setor privado começa a experimentar crescimentos mais sensíveis nos prejuízos, sobretudo por efeitos de eventos climatológicos que podem demonstrar maior grau de resiliência e adaptabilidade nos eventos hidrológicos.

Gráfico 10: Tendência ao longo do tempo por grupo de desastre



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

No painel superior esquerdo, observa-se que os danos humanos decorrentes de desastres hidrológicos apresentam uma leve tendência de crescimento ao longo da série histórica, sugerindo uma intensificação da exposição populacional a eventos

como inundações, enxurradas e alagamentos. Embora a dispersão dos dados seja elevada especialmente em anos com múltiplos registros severos a linha de tendência aponta para um aumento constante na magnitude dos impactos humanos relacionados aos desastres hidrológicos. Já no caso dos desastres climatológicos, embora em menor número, também se nota um aumento sutil, com registros mais expressivos a partir da segunda metade da série (pós-2015). Esse padrão pode refletir a crescente severidade de secas e queimadas, eventos que tradicionalmente impactam a saúde pública, a segurança alimentar e o abastecimento de água, mesmo que de forma mais difusa.

O painel superior direito, que apresenta os danos materiais, revela uma dinâmica interessante e aparentemente contraditória. Enquanto os desastres hidrológicos exibem uma tendência de redução dos valores médios ao longo do tempo, com concentração de altos danos nos anos iniciais da série (especialmente entre 2010 e 2015), os desastres climatológicos mostram um padrão inverso, com aumento gradual dos danos materiais registrados nos últimos anos. Essa inversão de comportamento sugere duas possíveis interpretações complementares: por um lado, a efetividade de políticas públicas de mitigação e prevenção a desastres hidrológicos pode ter contribuído para uma redução dos prejuízos físicos causados por esses eventos, além da adaptação das pessoas a esses eventos; por outro, a intensificação e a maior abrangência dos eventos climatológicos, como secas prolongadas e incêndios, podem estar ampliando seu impacto direto sobre as estruturas urbanas e rurais.

O painel inferior esquerdo, referente aos prejuízos ao setor público, mostra uma tendência relativamente estável nos eventos hidrológicos ao longo dos anos, com flutuações que se mantêm dentro de uma mesma ordem de grandeza. Esse comportamento sugere que os impactos sobre os serviços e patrimônios públicos como escolas, unidades de saúde, sistemas de transporte e abastecimento permanecem constantes, refletindo talvez uma recorrência estrutural de vulnerabilidades nos mesmos territórios afetados ao longo do tempo.

Diferente dos hidrológicos, os eventos climatológicos revelam uma discreta tendência de crescimento, indicando que os prejuízos públicos associados a secas, queimadas e altas temperaturas têm se tornado mais frequentes ou mais severos, especialmente nos anos mais recentes da série. Essa elevação pode estar relacionada, por exemplo, ao aumento de gastos com resposta emergencial, ações de

combate a incêndios ou reforço de sistemas de abastecimento hídrico, que estão mais constantes por conta da peculiaridade do estado do Amazonas, que nesse período de Estiagem e Seca fica com regiões com estado de emergência, não havendo possibilidade de tráfego aumentando assim a vulnerabilidade das pessoas.

Por fim, o painel inferior direito apresenta os dados relativos aos prejuízos no setor privado, onde se percebe um comportamento relativamente estável para ambos os grupos de desastre. No entanto, é possível notar que, nos eventos climatológicos, existe uma maior variabilidade nos últimos anos, com pontos fora da curva indicando registros isolados de perdas significativas. Essa oscilação crescente pode estar associada à vulnerabilidade de atividades econômicas diretamente dependentes do clima, como agricultura, pecuária, turismo e comércio local, cujas perdas podem variar drasticamente conforme a intensidade do evento. Já os desastres hidrológicos continuam gerando prejuízos consideráveis, porém com valores mais concentrados e previsíveis ao longo da série.

A análise conjunta dos quatro painéis permite inferir que, ao longo do período avaliado, os desastres hidrológicos permanecem como os principais causadores de impactos econômicos e sociais no Amazonas, sobretudo por sua maior frequência e por gerarem efeitos diretos e imediatos. No entanto, os desastres climatológicos vêm ganhando protagonismo, tanto em frequência quanto em severidade, especialmente após 2015, o que pode refletir os efeitos crescentes das mudanças climáticas globais sobre a Amazônia. A dispersão elevada dos dados também revela a complexidade da dinâmica dos desastres, influenciada por múltiplos fatores locais e regionais, como estrutura socioeconômica, capacidade de resposta institucional e padrão de ocupação do território.

Esse gráfico evidencia, de forma clara, que não apenas a quantidade de desastres importa, mas também sua intensidade, abrangência e o tipo de impacto que provocam sobre a população e a economia local. Os dados reforçam a necessidade de um planejamento adaptativo, que leve em conta essas dinâmicas específicas, permitindo a formulação de políticas públicas mais eficazes, integradas e sensíveis à realidade diversa e desigual do estado do Amazonas.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como propósito central a identificação, avaliação e compreensão dos custos econômicos provocados por desastres naturais de origem hidroclimática, associados a fenômenos climáticos extremos no estado do Amazonas, entre os anos de 2009 e 2023. Por meio de uma análise robusta, que integrou dados empíricos extraídos do Atlas Digital de Desastres no Brasil e modelagens estatísticas utilizando ferramentas como R®, foi possível demonstrar com clareza a dimensão multifacetada dos impactos desses eventos no território amazonense.

Os resultados obtidos permitiram elucidar que os desastres Hidroclimáticos, particularmente as inundações, são os eventos de maior recorrência, maior intensidade e maior poder destrutivo na região, afetando diretamente a infraestrutura urbana, a segurança alimentar, os sistemas produtivos, os serviços públicos essenciais e, acima de tudo, a população vulnerável. O levantamento e caracterização dos danos humanos, materiais e econômicos evidenciaram um panorama alarmante de vulnerabilidade sistemática, expondo deficiências estruturais nas políticas públicas de prevenção, mitigação e adaptação aos riscos climáticos que assolam o Amazonas.

Do ponto de vista monetário, os prejuízos acumulados superaram a marca dos 5 bilhões de reais, valor este distribuído de forma desigual entre os setores público e privado, com especial destaque para o setor agrícola que, nos últimos anos, passou a concentrar mais da metade das perdas associadas aos eventos de estiagem e seca. A análise dos danos humanos revelou que mais de 5,4 milhões de pessoas foram impactadas direta ou indiretamente por eventos extremos no período analisado, com aumentos significativos nas categorias de feridos e enfermos, o que reforça o papel destrutivo e contínuo dos desastres na saúde física e mental da população local.

Os modelos de regressão linear e de contagem construídos a partir dos dados forneceram evidências empíricas contundentes sobre a intensificação das ocorrências ao longo do tempo. Verificou-se que, embora o número total de registros oscile entre os anos, há uma tendência clara de crescimento tanto na frequência quanto na severidade dos impactos. Isso foi especialmente notório nos anos mais recentes, onde os registros voltaram a se aproximar dos picos históricos observados no início da série temporal.

No tocante às políticas públicas, destaca-se uma contradição importante entre a existência de marcos legais avançados em nível nacional como a Política Nacional

do Meio Ambiente (PNMA), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e sua efetividade prática no território amazônico. A pesquisa evidenciou que nenhum dos 62 municípios do Estado possuía, até 2023, planos municipais de adaptação climática ou contingência frente a desastres, realidade que escancara a fragilidade institucional local, a baixa capacidade de governança ambiental e a insuficiência de recursos técnicos e financeiros para enfrentar os desafios impostos pela intensificação dos extremos climáticos.

Além disso, observou-se que os recursos federais ainda são majoritariamente utilizados de forma reativa, ou seja, após a ocorrência dos desastres, perpetuando uma lógica emergencialista em detrimento de investimentos estruturantes em prevenção e resiliência territorial. Tal padrão foi identificado como uma das principais barreiras à construção de uma política ambiental robusta, integrada e eficaz, especialmente em uma região com características geográficas e socioculturais tão específicas como a Amazônia.

O estudo também abordou o papel dos seguros privados como mecanismo de mitigação das perdas climáticas, apontando tanto suas potencialidades quanto suas limitações. Verificou-se que, embora haja avanços significativos na estruturação de produtos mais sofisticados e acessíveis, os seguros ainda enfrentam desafios importantes como a assimetria informacional, o risco de base, os altos custos de prêmio e a baixa adesão por parte dos pequenos produtores. Neste cenário, o envolvimento ativo do Estado torna-se essencial para fomentar políticas públicas que subsidiem e democratizem o acesso a esses instrumentos, promovendo segurança financeira e resiliente frente aos riscos climáticos crescentes.

Conclui-se, portanto, que os eventos hidroclimáticos extremos representam não apenas uma ameaça ambiental e econômica, mas também um desafio civilizacional para o Amazonas e para o Brasil. A convergência entre o crescimento da frequência dos desastres, o agravamento dos seus impactos sociais, materiais e financeiros, e a fragilidade das políticas públicas de resposta e prevenção, revela uma necessidade urgente de transformação estrutural. Essa transformação deve perpassar pelo fortalecimento da governança ambiental local, pela implementação de políticas públicas territoriais integradas e pela adoção de soluções baseadas na natureza, que respeitem a diversidade ecológica e sociocultural da região amazônica.

É imprescindível que os governos, a sociedade civil, as instituições acadêmicas, os setores produtivos e os organismos internacionais unam esforços para construir um modelo de desenvolvimento sustentável que incorpore, em sua essência, a lógica da resiliência, da equidade e da justiça climática. Sem essa mudança de paradigma, os custos econômicos dos desastres continuarão a crescer, e suas consequências serão sentidas de forma cada vez mais profunda e irreversível por aqueles que menos têm capacidade de enfrentamento: os vulneráveis, os excluídos, os invisíveis.

Assim, esta pesquisa não apenas apresenta um diagnóstico minucioso dos custos econômicos provocados pelos eventos extremos no Amazonas, mas também lança um chamado à ação, à responsabilidade compartilhada e ao compromisso intergeracional com a proteção da vida, do território e do futuro da Amazônia.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, José Célio Silveira; COSTA, Paulo. Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. Organizações & Sociedade, v. 15, n. 45, p. 29-45, jun. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1984-92302008000200002. Acesso em: 6 jul. 2023.

ALMUDI T, SINCLAIR AJ. Extreme hydroclimatic events in rural communities of the Brazilian Amazon: local perceptions of change, impacts, and adaptation. Reg Environ Change. 2022;22(1):27. Disponível em: doi: 10.1007/s10113-021-01857-0. Acesso em: 14 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Planalto, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 22 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. *Planalto*, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm. Acesso em: 22 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Programa Calha Norte: Estado do Amazonas. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/programa_calha_norte/pcn-estado-do-amazonas.pdf/view. 2022. Acesso em: 17 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MIDR, 2023

COSTA, A. M.; LIMA, L. D. Avaliação de políticas de saúde no Brasil: uma revisão da produção científica. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 7-19, jan./mar. 2007. https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100016.

DALLA VALLE, Ana Carolina. Governança climática local: uma análise da adaptação às mudanças climáticas nos municípios da Região Metropolitana de Curitiba. 2024. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Política) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

FREITAS, Carlos Machado de et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, set. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014. Acesso em: 5 jul. 2023.

G1 AMAZONAS. Rio Negro sobe e Manaus registra a maior cheia da história. G1, 1 jun. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/06/01/rio-negro-sobe-e-manaus-registra-a-maior-cheia-da-historia.ghtml. Acesso em: 27 mar. 2025.

HUILI Z, LI K, NGUYEN KV. Climate change: approach to intervention using expression vector for carbonic anhydrase via glycosylphosphatidylinositol. Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids. 2024; doi: 10.1080/15257770.2023.2238781.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Acesso em 05/07/2023. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_ FullReport.pdf

MANKIW, G. (2009). Introdução à Economia. São Paulo: Cengage Learning.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. Fundamentos de metodologia científica. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARENGO, et. al. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório N°5 - Ministério do Meio Ambiente - MMA /Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF/Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio, 2007.NPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2005a.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima- Impactos sociais e econômicos. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudança Climático- GPMC/ INPE. Ed.08. Maio, 2009.

MARTA, J. M. C. . EXTERNALIDADES; UMA RESENHA. Revista de Estudos Sociais , CUIABA-MT, v. 1, p. 17-26, 1999.

MORAES, Alexandra Kelly de; FURTINI, Andressa Aparecida Santana; CASTRO JUNIOR, Luiz Gonzaga de; TONELLI, Dany Flavio. O seguro mitiga o risco climática na agricultura: revisão integrativa de literatura. Revista Foco, v. 17, n. 11, p. 01-22, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n11-101.

PERKINS-KIRKPATRICK S, PITMAN A. Extreme events in the context of climate change. Public Health Res Pract. 2018 Dec 6;28(4):2841825. doi: 10.17061/phrp2841825. PMID: 30652185.

PYNDICK, R.S; RUBINFELD, D.l. Microeconomia. 8. ed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2013.

PORTO DE MANAUS. Nível do Rio Negro. Disponível em: https://portodemanaus.com.br/nivel-do-rio-negro/. Acesso em: 27 mar. 2025.

RIBEIRO, M. D. S.; GRATÃO, A. D. Custos Ambientais - O Caso das Empresas Distribuidoras de Combustíveis. Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC, [S. l.], Disponível em: https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3020. Acesso em: 21 mar. 2024.

RIVAS, A. A. F.. Economia e valoração de serviços ambientais utilizando técnicas de preferências declaradas. 1. ed. Manaus: EDUA, 2014. v. 1. 304p .

SALES, F. R. A. Justificativa para a política ambiental: falhas de mercado, bens públicos, externalidades, incertezas e meio ambiente. *Informe Econômico*, ano 11, n. 23, p. 47-51, nov. 2010.

SANTOS, Eliane Teixeira dos. Impactos econômicos de desastres naturais em megacidades: o caso dos alagamentos em São Paulo. 2013. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2013. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12138/tde-17022014-143009/. Acesso em: 6 jul. 2023.

SWISS RE INSTITUTE. Sigma n. 1/2025: Natural catastrophes: insured losses on trend to USD 145 billion in 2025. Zürich: Swiss Re Institute, 2025. 32 p.

SILVA, G. J. C. da; MENEZES, L. B.; NEDER, H. D. QUALIDADE DA MALHA RODOVIÁRIA, CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS E DETERMINANTES DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL: avaliação e proposição de política. Revista de Políticas Públicas, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 327–347, 2016. DOI: 10.18764/2178-2865.v19n1p327-347. Disponível em: https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/rppublica/article/view/4819. Acesso em: 21 mar. 2024.

SOARES, Wagner Lopes; PORTO, Marcelo Firpo. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. *Ciência & Saúde Coletiva* , Rio de Janeiro, v. 1, pág. 131-143, 2007

SCHADECK, R. (Org.) Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2019. 2. ed. – Florianópolis: FAPEU, 2020. 156p

THEODORO, Suzi Huff; BARROS, J. C. . Política Nacional de meio Ambiente: conquistas e perspectivas. In: Suzi Huff Theodoro. (Org.). Os 30 anos da Política Nacional de Meio Ambiente. 1ed.Rio de Janeiro: Editora Garamond, 2011, v. 1, p. 17-48.

TRAPP, G. S. ; RODRIGUES, L. H**.** . Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoelétrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. Gestão & Produção, v. 23, p. 556-569, 2016.

WOLFARTH-COUTO, B.; FILIZOLA, N.; DURIEUX, L.. Padrão sazonal dos casos de malária e a relação com a variabilidade hidrológica no Estado do Amazonas, Brasil. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 23, p. e200018, 2020.

YOUNG, C. E. F.; AGUIAR, C. F.; NETO, E. S. Valorando Tempestades: Custo econômico dos eventos climáticos extremos no Brasil nos anos de 2002 – 2012. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. 21f.

7. ANEXOS

Lista dos Municípios do Estado do Amazonas

Municípios do Estado do Amazonas		
Alvarães	Envira	Nova Olinda do Norte
Amaturá	Eirunepé	Novo Airão
Anamã	Fonte Boa	Novo Aripuanã
Anori	Guajará	Parintins
Apuí	Humaitá	Pauini
Atalaia do Norte	Ipixuna	Presidente Figueiredo
Autazes	Iranduba	Rio Preto da Eva
Barcelos	Itacoatiara	Santa Isabel do Rio Negro
Barreirinha	Itamarati	Santo Antônio do Içá
Benjamin Constant	Itapiranga	São Gabriel da Cachoeira
Beruri	Japurá	São Paulo de Olivença
Boa Vista do Ramos	Jutaí	São Sebastião do Uatumã
Boca do Acre	Juruá	Silves
Borba	Lábrea	Tabatinga
Caapiranga	Manacapuru	Tapauá
Canutama	Manaquiri	Tefé
Carauari	Manaus	Tonantins
Careiro	Manicoré	Uarini
Careiro da Várzea	Maués	Urucurituba
Coari	Maraã	Urucará
Codajás	Nhamundá	

Fonte: Adaptado de Brasil (2022)

Tabela de Eventos por Município

Município	N. de Eventos entre 2009 e 2023
Alvarães	12
Amaturá	12
Anamã	13
Anori	14
Apuí	5
Atalaia do Norte	17
Autazes	14
Barcelos	6
Barreirinha	14
Benjamin Constant	14
Beruri	12
Boa Vista do Ramos	11
Boca do Acre	18

Borba	15
Caapiranga	16
Canutama	13
Carauari	11
Careiro	16
Careiro da Várzea	24
Coari	11
Codajás	13
Eirunepé	13
Envira	16
Fonte Boa	14
Guajará	17
Humaitá	8
Ipixuna	12
Iranduba	13
Itacoatiara	13
Itamarati	16
Itapiranga	12
Japurá	15
Juruá	11
Jutaí	14
Lábrea	14
Manacapuru	23
Manaquiri	18
Manaus	26
Manicoré	8
Maraã	16
Maués	11
Nhamundá	10
Nova Olinda do Norte	13
Novo Airão	8
Novo Aripuanã	12
Parintins	12
Pauini	9
Presidente Figueiredo	9
Rio Preto da Eva	13
Santa Isabel do Rio Negro	9
Santo Antônio do Içá	11
São Gabriel da Cachoeira	5

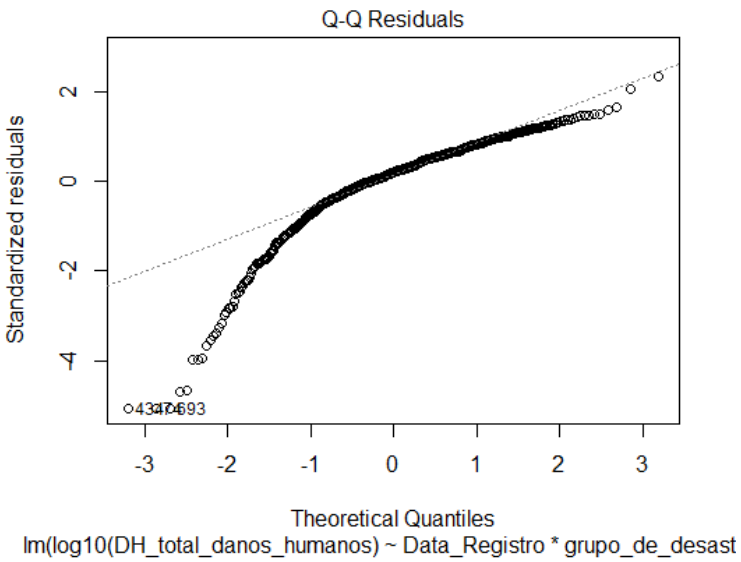
São Paulo de Olivença	14
São Sebastião do Uatumã	10
Silves	10
Tabatinga	13
Tapauá	10
Tefé	21
Tonantins	12
Uarini	17
Urucará	11
Urucurituba	13

Fonte: Elaboração pelo autor (2025)

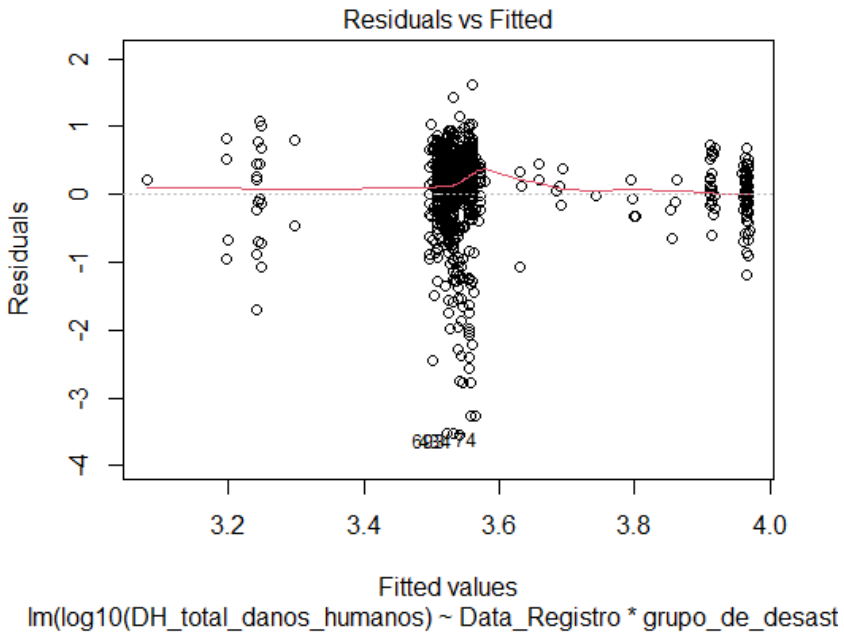
Coeficiente Modelo de Linear Simples – Danos Humanos por Tempo

```
Call:
lm(formula = log10(DH_total_danos_humanos) ~ Data_Registro *
    grupo_de_desastre, data = df.zero)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-3.5412 -0.2381  0.1394  0.4360  1.6169

Coefficients:
                                          Estimate Std. Error
(Intercept)                              9.874e-01  5.835e-01
Data_Registro                            1.756e-09  3.698e-10
grupo_de_desastreHidrológico             2.366e+00  6.539e-01
Data_Registro:grupo_de_desastreHidrológico -1.631e-09  4.214e-10
                                        t value Pr(>|t|)
(Intercept)                               1.692 0.091063 .
Data_Registro                             4.747  2.5e-06 ***
grupo_de_desastreHidrológico              3.618 0.000318 ***
Data_Registro:grupo_de_desastreHidrológico  -3.870 0.000119 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6996 on 702 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.04569,	Adjusted R-squared:  0.04162
F-statistic:  11.2 on 3 and 702 DF,  p-value: 3.453e-07
```

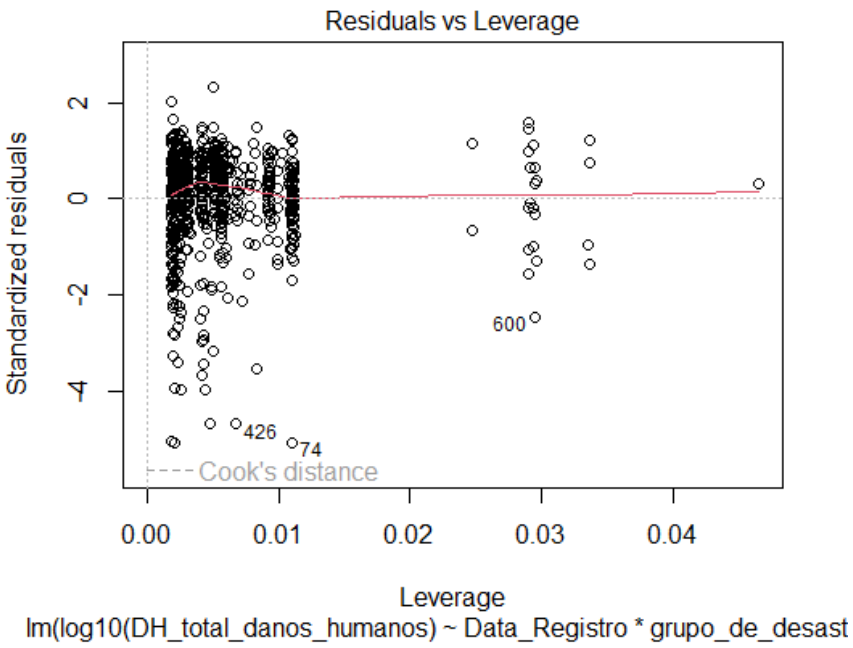
Q-Q Residual Modelo de Linear Simples – Danos Humanos por Tempo



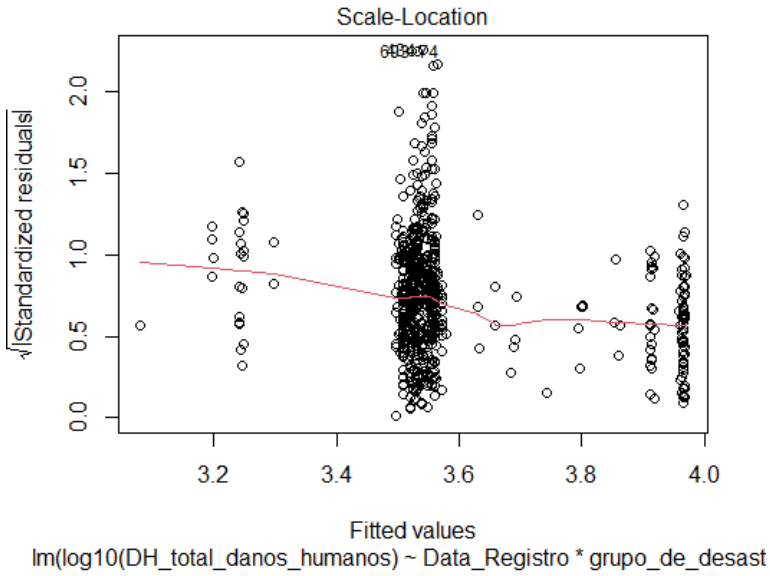
Residual vs Fitted - Modelo de Linear Simples – Danos Humanos por Tempo



Residuals vs Leverange Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Privado



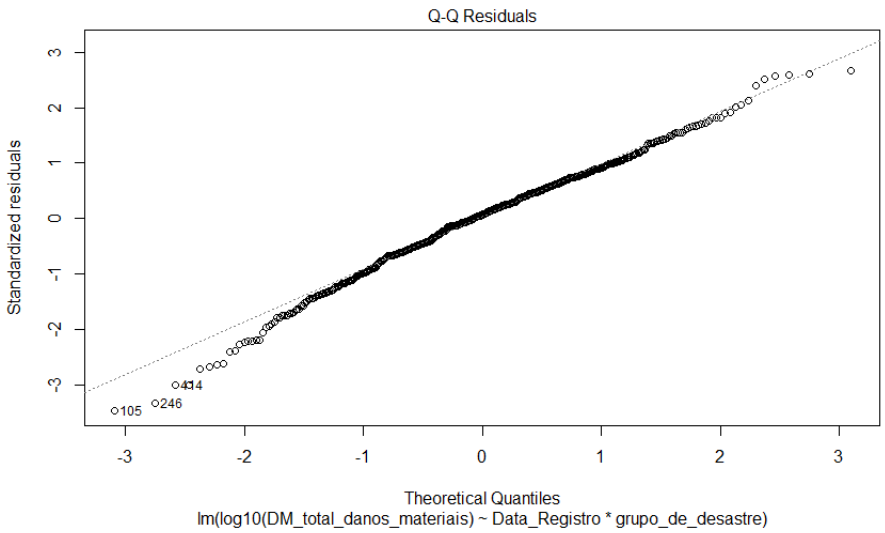
Scale – Location Modelo de Linear Simples – Danos Humanos por Tempo



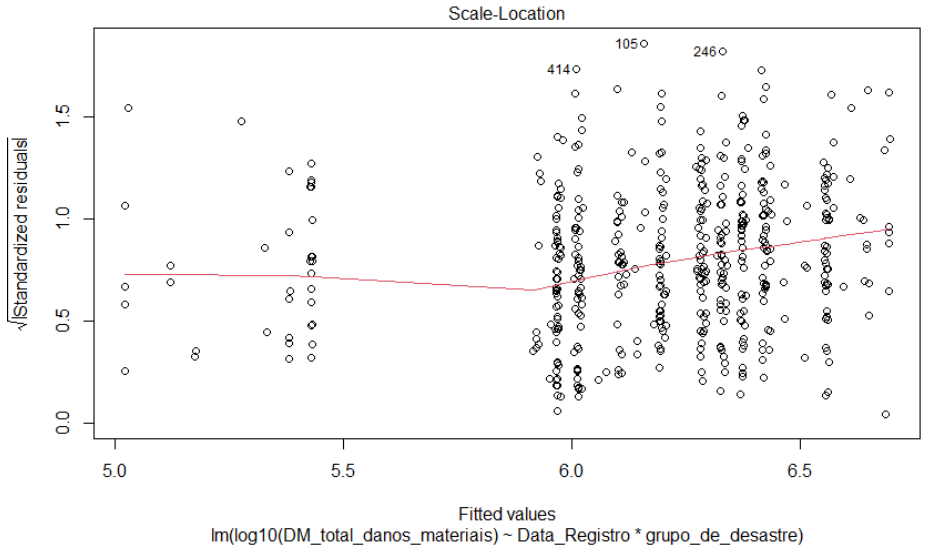
Coeficiente Modelo de Linear Simples – Danos Materiais por Tempo

```
Call:
lm(formula = log10(DM_total_danos_materiais) ~ Data_Registro *
    grupo_de_desastre, data = df.zero)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.65690 -0.46677  0.05502  0.51397  2.04216

Coefficients:
                                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                              2.675e+00  2.280e+00   1.173   0.2413
Data_Registro                            1.624e-09  1.397e-09   1.163   0.2455
grupo_de_desastreHidrológico             5.652e+00  2.309e+00   2.448   0.0147 *
Data_Registro:grupo_de_desastreHidrológico -3.051e-09  1.418e-09  -2.151   0.0319 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.7677 on 505 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1436,    Adjusted R-squared:  0.1386
F-statistic: 28.24 on 3 and 505 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

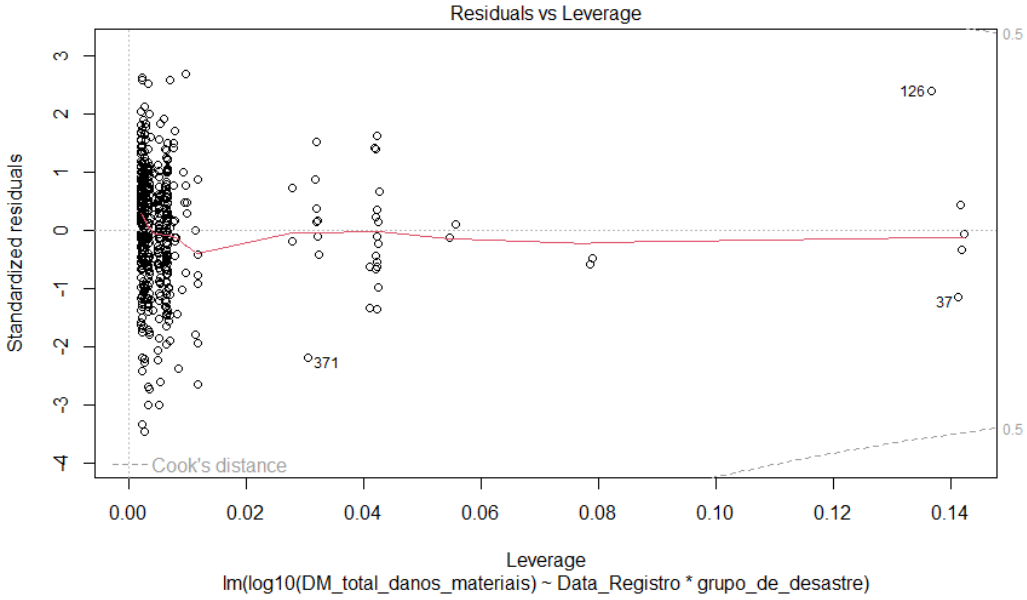
Q-Q Residuals Modelo de Linear Simples – Danos Materiais por Tempo



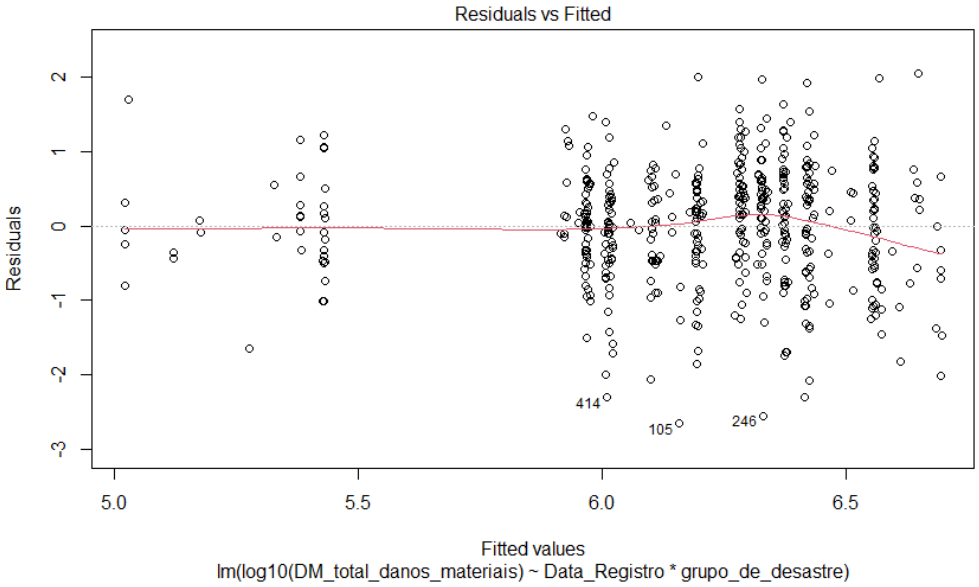
Scal-location Modelo de Linear Simples – Danos Materiais por Tempo



Residuals vs leverage Modelo de Linear Simples – Danos Materiais por Tempo



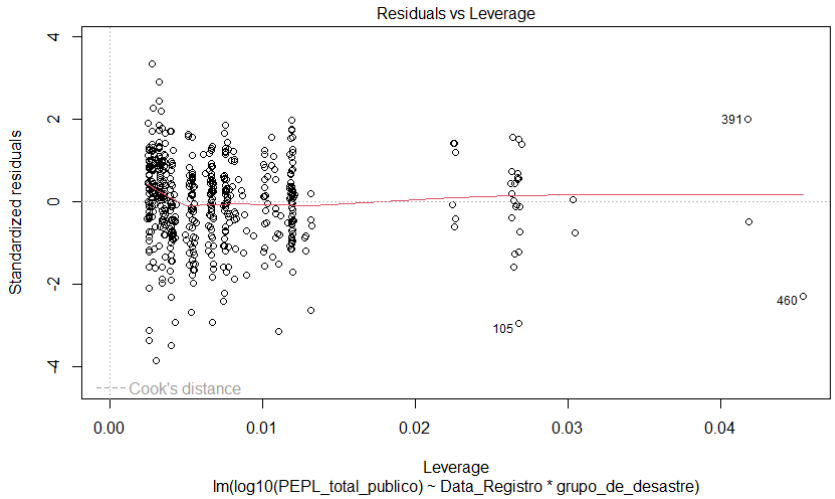
Residuals vs Fitted Modelo de Linear Simples – Danos Materiais por tempo



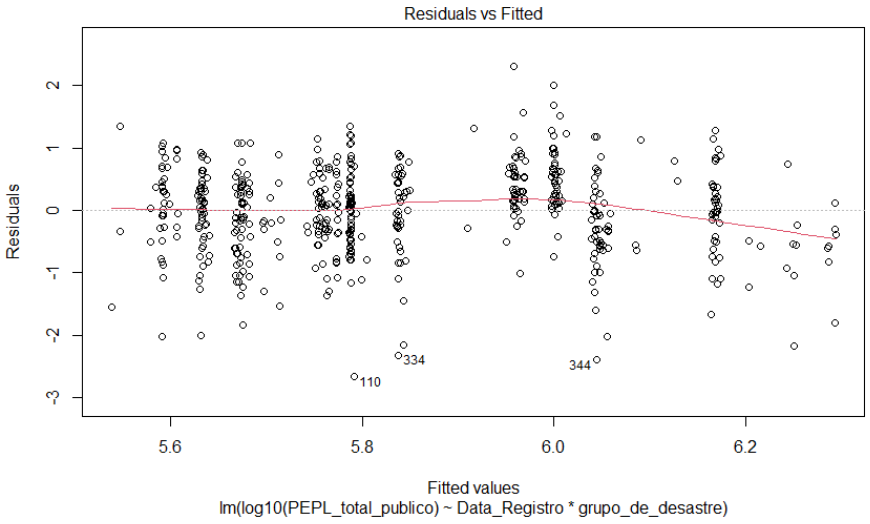
Coeficientes Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Público

```
Call:
lm(formula = log10(PEPL_total_publico) ~ Data_Registro * grupo_de_desastre,
    data = df.zero)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.66946 -0.41390  0.07588  0.45197  2.30304

Coefficients:
                                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                              4.981e+00  5.438e-01   9.159  < 2e-16 ***
Data_Registro                            4.757e-10  3.460e-10   1.375     0.17
grupo_de_desastreHidrológico             2.793e+00  6.390e-01   4.371 1.48e-05 ***
Data_Registro:grupo_de_desastreHidrológico -1.771e-09  4.151e-10  -4.267 2.34e-05 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.6914 on 542 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06795,	Adjusted R-squared:  0.0628
F-statistic: 13.17 on 3 and 542 DF,  p-value: 2.592e-08
```

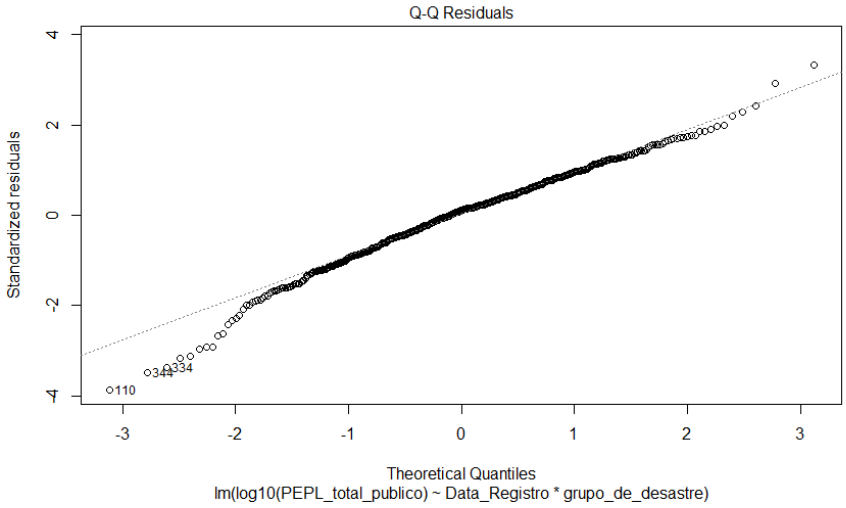
Residuals vs Leverange Modelo de Linear Simples – Danos ao setor público



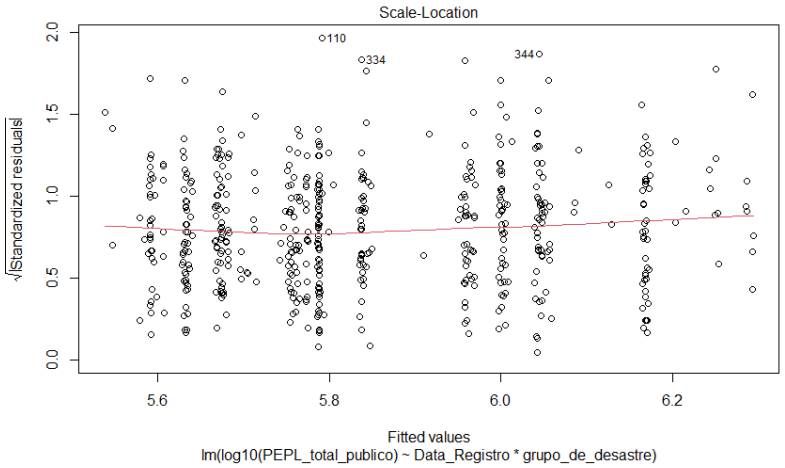
Residuals vs Fitted Modelo de Linear Simples – Danos ao setor público



Q-Q Residuals Modelo de Linear Simples – Danos ao setor público



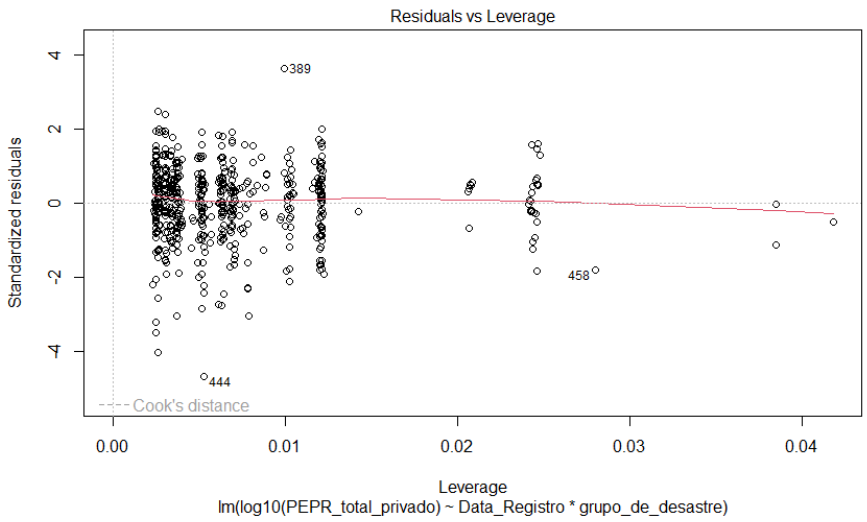
Scale-Location Modelo de Linear Simples – Danos ao setor público



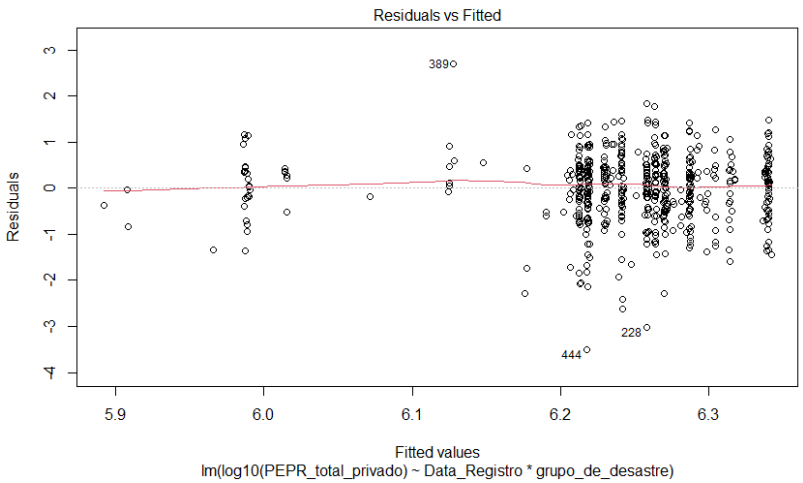
Coeficientes Modelo de Linear Simples – Danos ao setor privado

```
Call:
lm(formula = log10(PEPR_total_privado) ~ Data_Registro * grupo_de_desastre,
    data = df.zero)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-3.5119 -0.4254  0.0944  0.4550  2.6933

Coefficients:
                                          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                              4.889e+00  5.713e-01   8.557   <2e-16 ***
Data_Registro                            8.551e-10  3.653e-10   2.341   0.0196 *
grupo_de_desastreHidrológico             1.621e+00  6.687e-01   2.424   0.0156 *
Data_Registro:grupo_de_desastreHidrológico -1.035e-09  4.358e-10  -2.375   0.0179 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.7501 on 560 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.01099,	Adjusted R-squared:  0.005694
F-statistic: 2.075 on 3 and 560 DF,  p-value: 0.1025
```

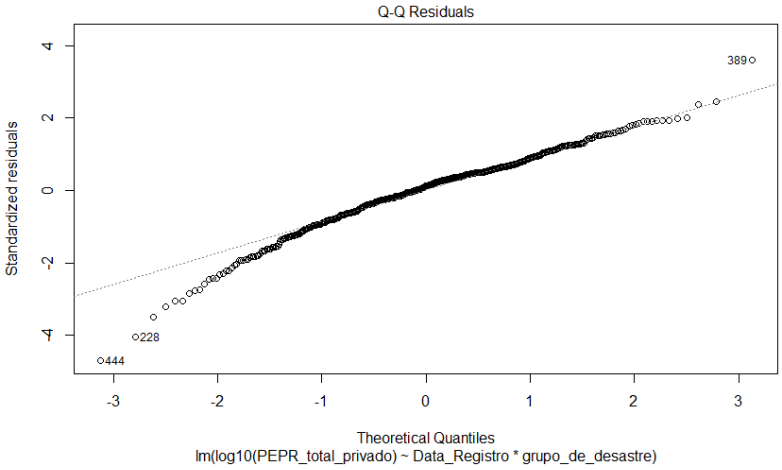
Residuals vs Leverange Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Privado



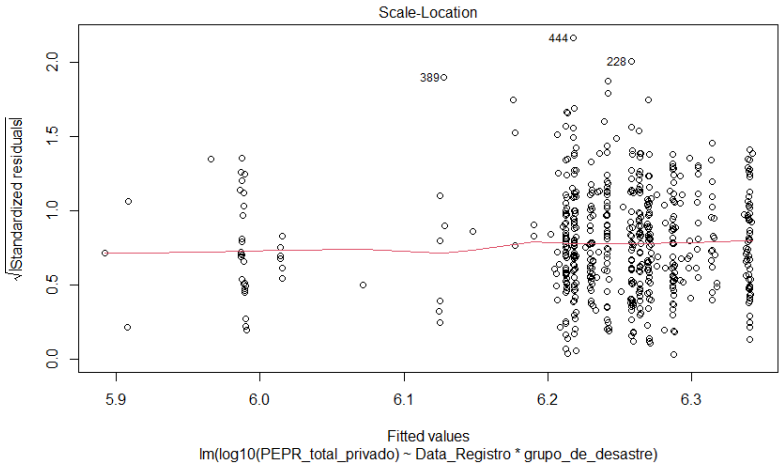
Residuals vs Fitted Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Privado



Q-Q Residuals Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Privado



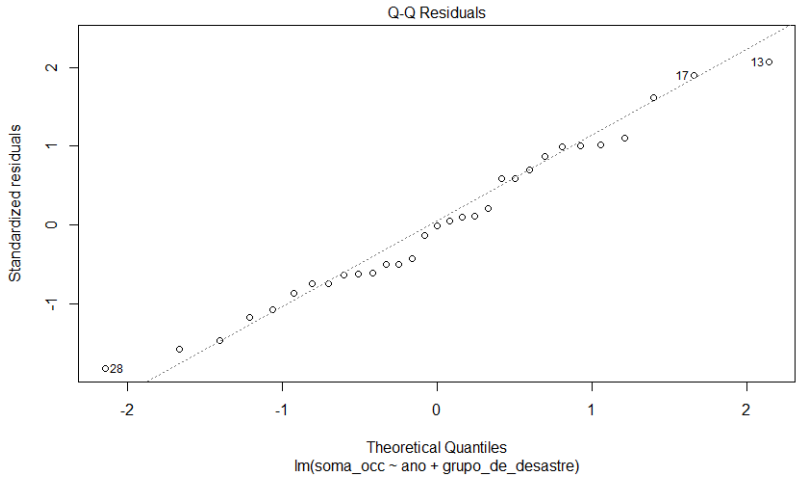
Scale-location Modelo de Linear Simples – Danos ao setor Privado



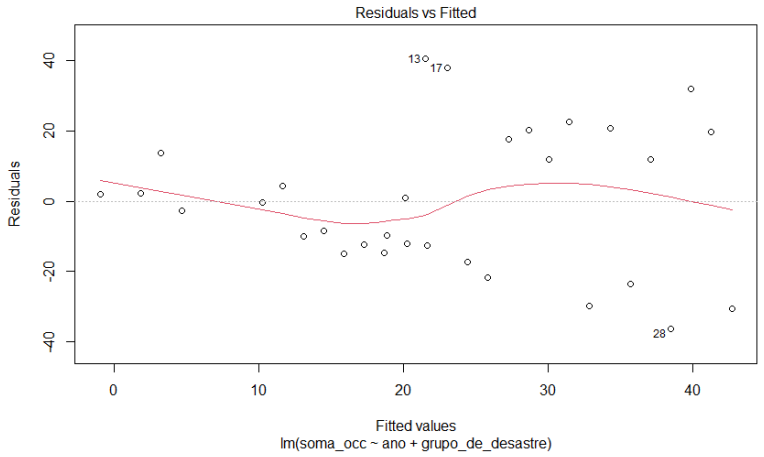
Coeficientes – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos humanos

```
Call:
lm(formula = soma_occ ~ ano + grupo_de_desastre, data = df.var)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max 
-36.497 -13.682  -0.288  15.731  40.482 

Coefficients:
                              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)                 -5.288e+01  3.431e+01  -1.541   0.1345  
ano                          4.448e-08  2.329e-08   1.910   0.0664 .
grupo_de_desastreHidrológico 2.119e+01  7.724e+00   2.744   0.0105 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 21 on 28 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2608,	Adjusted R-squared:  0.208 
F-statistic:  4.94 on 2 and 28 DF,  p-value: 0.01453
```

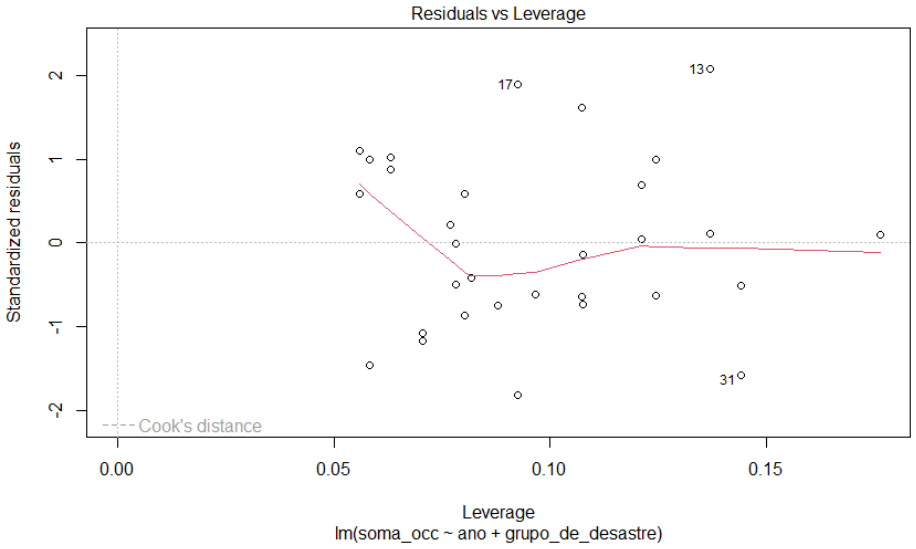
Q-Q Residuals – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos humanos



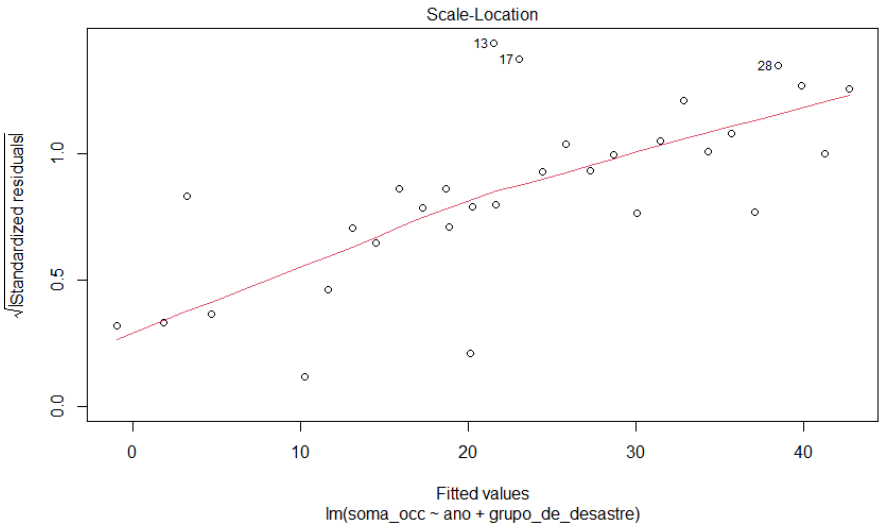
Residuals vs Fitted – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos humanos



Residuals vs Leverange – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos humanos



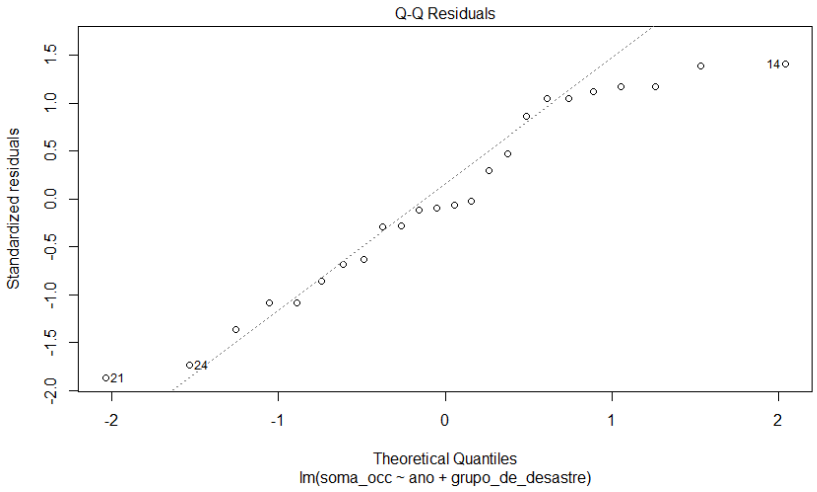
Scale-Location – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos humanos



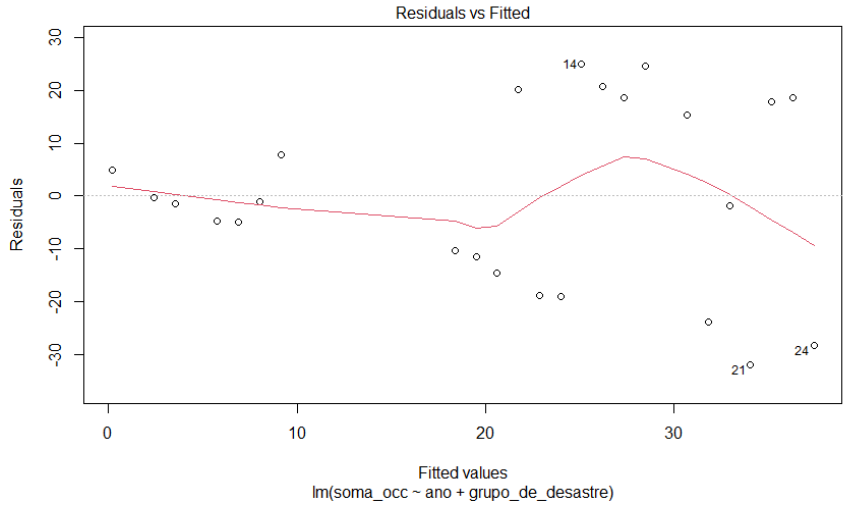
Coeficientes – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos materiais

```
Call:
lm(formula = soma_occ ~ ano + grupo_de_desastre, data = df.var)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max 
-32.084 -12.298  -1.283  18.004  24.880 

Coefficients:
                                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)    
(Intercept)                   -5.024e+01  3.981e+01  -1.262  0.22076    
ano                            3.551e-08  2.513e-08   1.413  0.17239    
grupo_de_desastreHidrológico   2.830e+01  9.127e+00   3.101  0.00541 ** 
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 18.29 on 21 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3142,	Adjusted R-squared:  0.2489 
F-statistic:  4.81 on 2 and 21 DF,  p-value: 0.01907
```

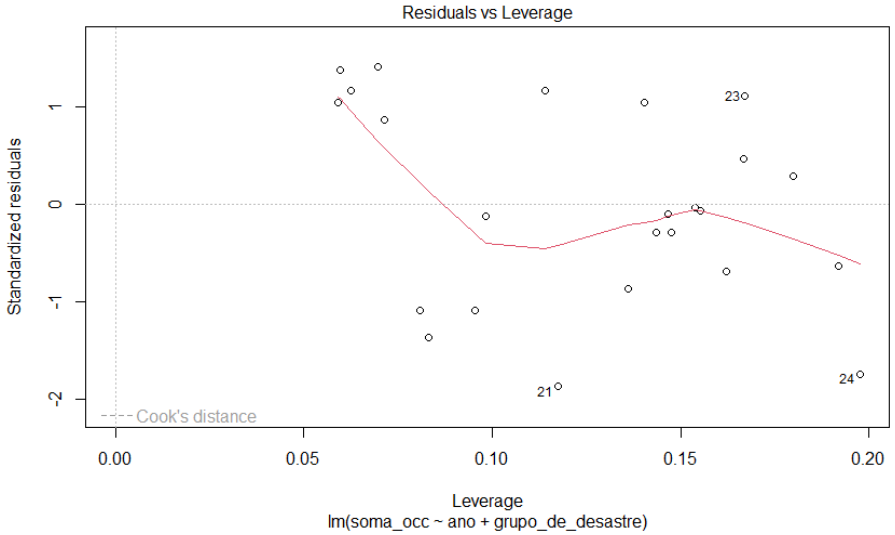
Q-Q Residuals – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos materiais



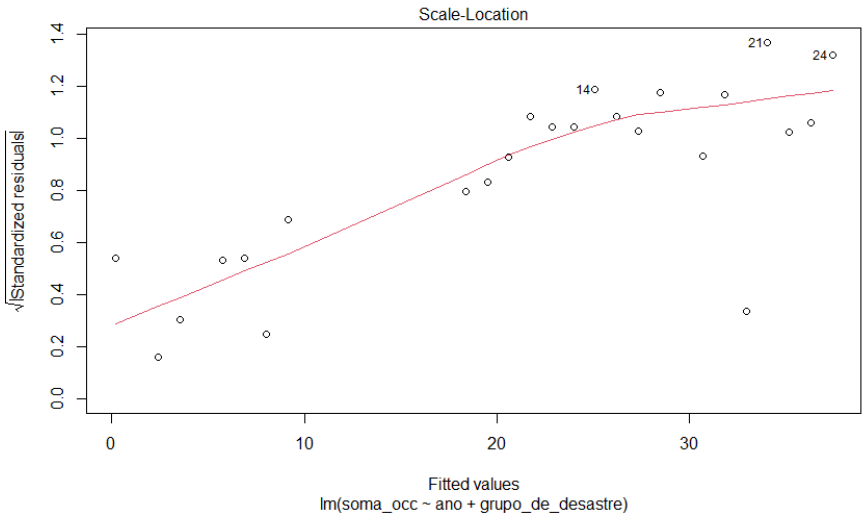
Residuals vs Fitted – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos materiais



Residuals vs Leverange – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos materiais



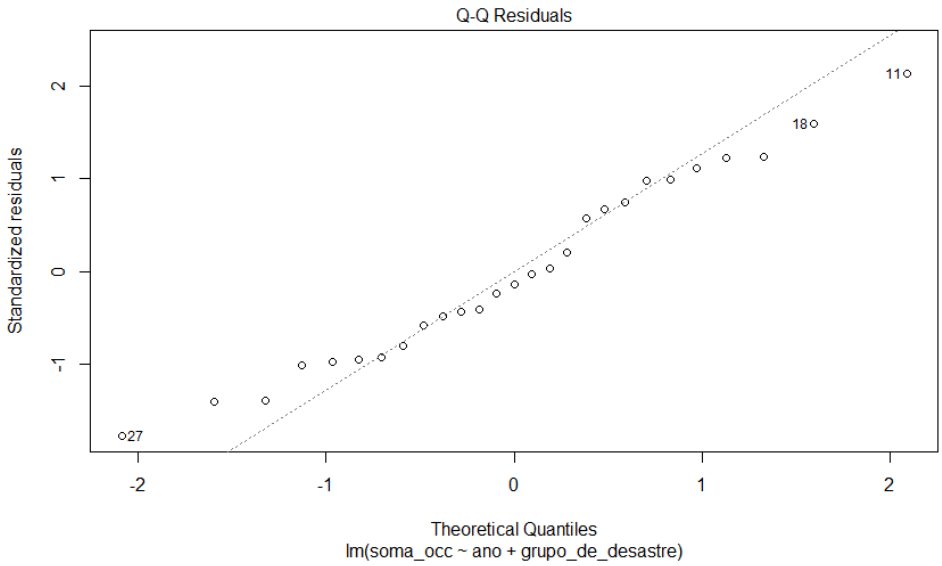
Scale-Location – Modelo de contagem – Frequência de desastres com danos materiais



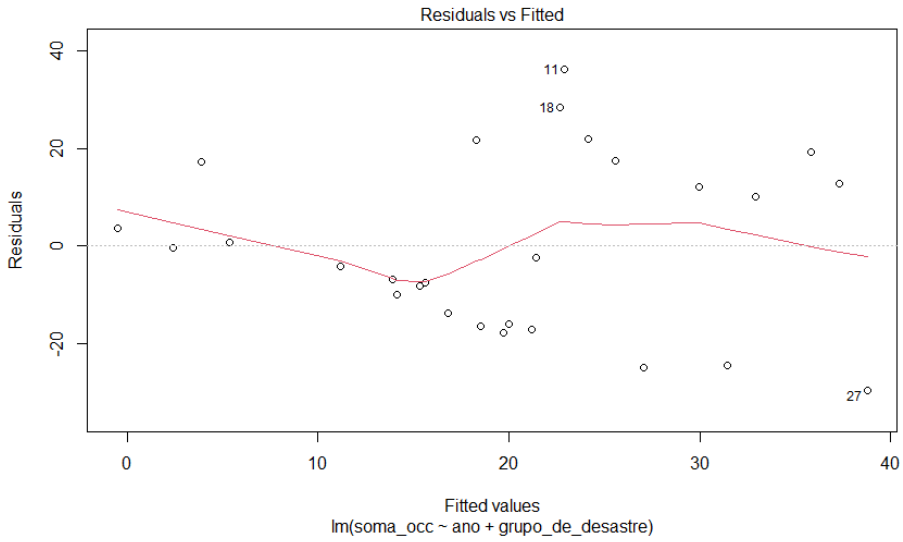
Coeficientes – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Pública

```
Call:
lm(formula = soma_occ ~ ano + grupo_de_desastre, data = df.var)

Residuals:
   Min     1Q Median     3Q    Max 
-29.76 -14.90  -2.45  14.90  36.09 

Coefficients:
                              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)                  -5.463e+01  3.091e+01  -1.767   0.0899 .
ano                           4.636e-08  2.107e-08   2.201   0.0376 *
grupo_de_desastreHidrológico  1.585e+01  7.316e+00   2.167   0.0404 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 18.46 on 24 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2566,	Adjusted R-squared:  0.1946 
F-statistic: 4.142 on 2 and 24 DF,  p-value: 0.02849
```

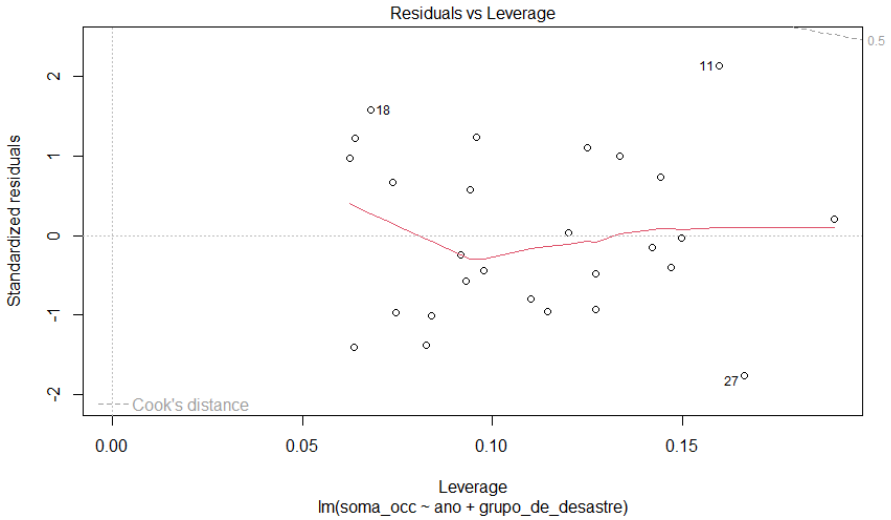
Q-Q Residuals – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Pública



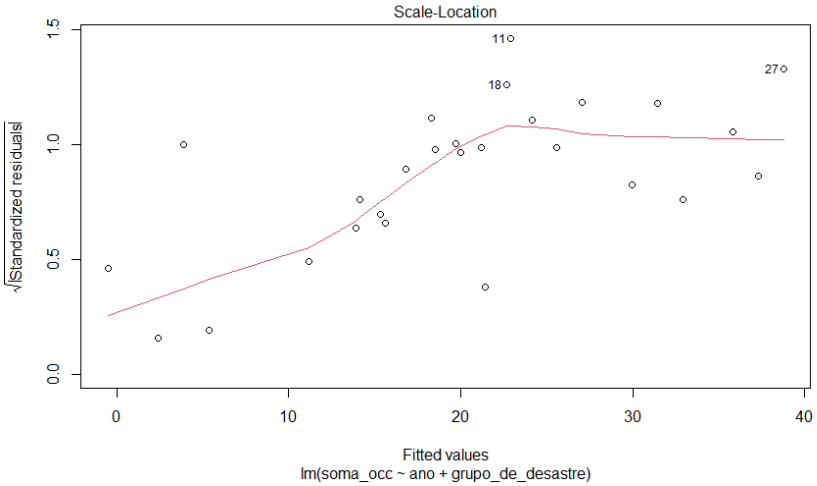
Residuals vs Fitted – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Pública



Residuals vs Leverange – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Pública



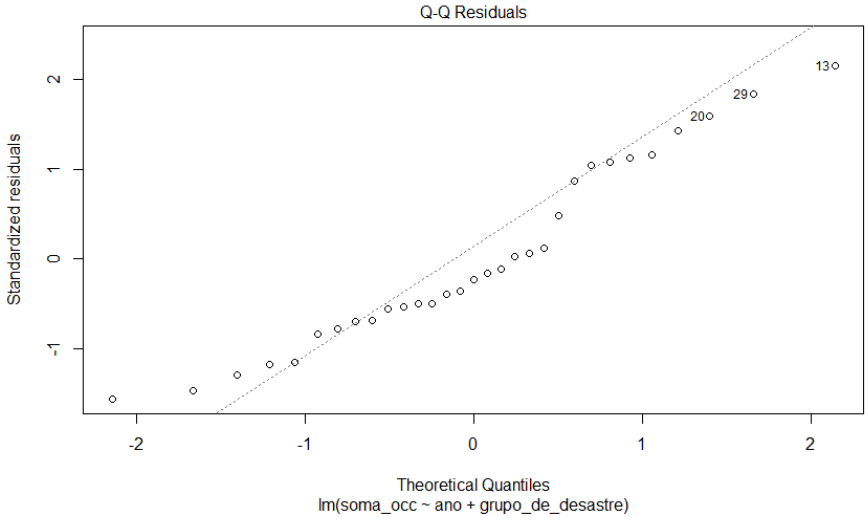
Scale-Location – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Pública



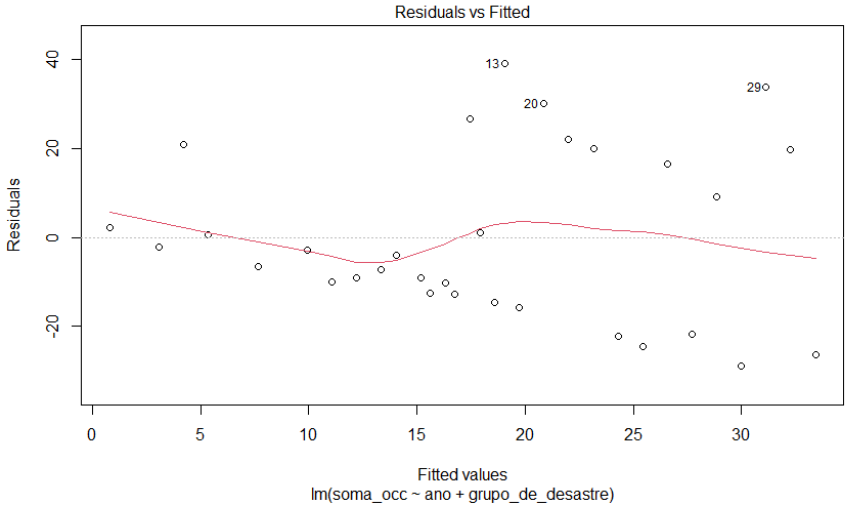
Coeficientes – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Privada

```
Call:
lm(formula = soma_occ ~ ano + grupo_de_desastre, data = df.var)

Residuals:
   Min     1Q Median     3Q    Max 
-28.99 -12.70  -4.03  18.08  38.95 

Coefficients:
                            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)                -4.139e+01  3.171e+01  -1.305   0.2025  
ano                         3.613e-08  2.174e-08   1.662   0.1077  
grupo_de_desastreHidrológico 1.437e+01  7.159e+00   2.007   0.0545 .
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 19.57 on 28 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.181,	Adjusted R-squared:  0.1225 
F-statistic: 3.094 on 2 and 28 DF,  p-value: 0.0611
```

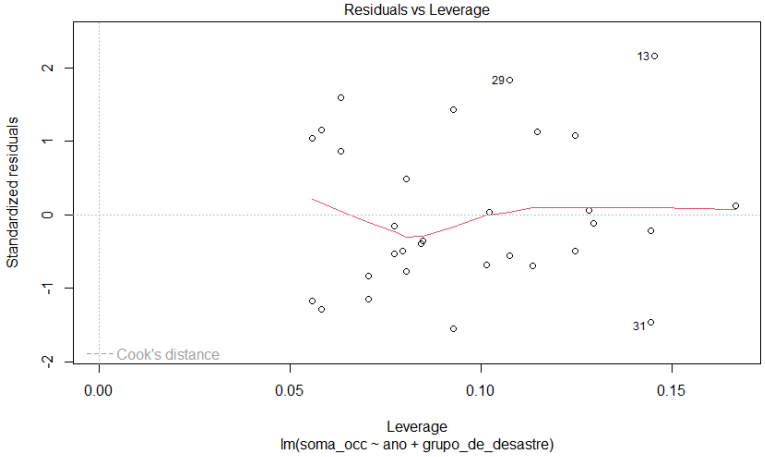
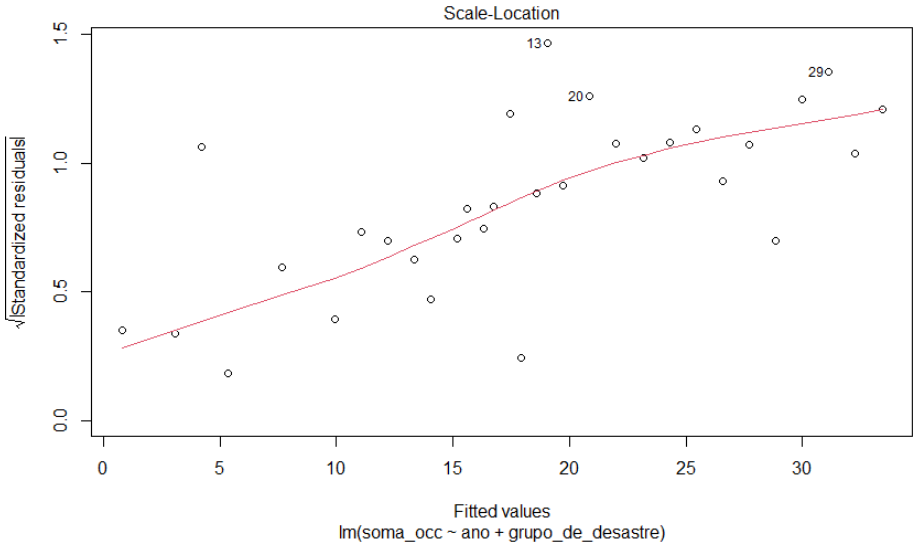
Q-Q Residuals – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Privada



Residuals vs Fitted – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Privada



Residuals vs Leverange – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Privada



Scale-Location – Modelo de contagem – Frequência de desastres afetando infraestrutura Privada