

Ano 17, Vol. XVII, Núm 2, jul-dez, 2024, pág 361-378

## ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

SEA LEVEL RISE: CAUSES, CONSEQUENCES, AND MITIGATION STRATEGIES

Ailton Luiz dos Santos<sup>1</sup>  
Therezinha de Jesus Pinto Fraxe<sup>2</sup>  
Antônio Ferreira do Norte Filho<sup>3</sup>

### RESUMO

A elevação do nível do mar é um fenômeno que está ganhando atenção devido ao seu potencial de causar impactos profundos em diversas áreas do planeta. Este aumento está relacionado às mudanças climáticas, impulsionadas pelas atividades humanas desde a Revolução Industrial. O estudo discutiu a questão norteadora: quais são as consequências globais da elevação do nível do mar e quais estratégias podem ser implementadas para mitigar seus impactos? O objetivo foi entender a complexidade dos fatores que contribuem para a elevação do nível do mar, analisar suas consequências e explorar possíveis soluções para mitigar seus efeitos. O método de pesquisa foi uma revisão bibliográfica detalhada, mediante estudos científicos recentes, relatórios de organizações internacionais e análises de casos específicos que ilustram os impactos da elevação do nível do mar em diferentes regiões do mundo. Concluiu-se que a elevação do nível do mar é um fenômeno multifacetado, impulsionado por mudanças climáticas decorrentes das atividades humanas. As consequências são severas, afetando milhões de pessoas em regiões costeiras e ilhas, exigindo uma abordagem integrada e global para mitigação e adaptação. A construção de barreiras contra inundações, o reassentamento de populações vulneráveis, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o investimento em energias renováveis são medidas de suma importância. Conclui-se também que a governança ambiental e o fortalecimento da resiliência das comunidades locais são essenciais para a implementação bem-sucedida de políticas de adaptação e enfrentamento.

**Palavras-chave:** Adaptação; Clima; Governança; Impactos; Sustentabilidade.

<sup>1</sup>Doutorando em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Segurança Pública, Cidadania e Direitos Humanos pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Especialista em Gestão Pública aplicada à Segurança, Direito Administrativo, Segurança Pública, Ciências Jurídicas, Direito Penal e Processo Penal. Função: Policial Militar. Instituição: Polícia Militar do Estado do Amazonas (PMAM). E-mail: ailtontati2001@gmail.com. País: Brasil. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6428-8590>.

<sup>2</sup>Doutora em Sociologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora titular na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Vice-Reitora da UFAM. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Sociologia e Antropologia, atuando principalmente nos temas de agricultura familiar, sustentabilidade e sistemas agroflorestais na Amazônia. E-mail: tjpfraxe@gmail.com. País: Brasil. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9974-2140>.

<sup>3</sup>Doutor em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Especialista em Direito Processual pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Direito Militar pela Universidade Castelo Branco (UCB/RJ), Direito Penal e Processual Penal pelo Centro Universitário do Norte (Uninorte), e Psicopedagogia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Função: Professor. Instituição: Faculdade Santa Teresa (FST). E-mail: nortefilho@gmail.com. País: Brasil. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5946-3291>.

## ABSTRACT

The rise in sea levels is a phenomenon that is gaining attention due to its potential to cause profound impacts in various areas of the planet. This increase is related to climate change, driven by human activities since the Industrial Revolution. The study addressed the guiding question: what are the global consequences of sea level rise, and what strategies can be implemented to mitigate its impacts? The objective was to understand the complexity of the factors contributing to sea level rise, analyze its consequences, and explore possible solutions to mitigate its effects. The research method was a detailed literature review, integrating recent scientific studies, reports from international organizations, and specific case analyses that illustrate the impacts of sea level rise in different regions of the world. It was concluded that sea level rise is a multifaceted phenomenon driven by climate change resulting from human activities. The consequences are severe, affecting millions of people in coastal and island regions, requiring an integrated and global approach for mitigation and adaptation. The construction of flood barriers, the resettlement of vulnerable populations, the reduction of greenhouse gas emissions, and investment in renewable energies are crucial measures. It is also concluded that environmental governance and the strengthening of local community resilience are essential for the successful implementation of adaptation and mitigation policies.

**Keywords:** Adaptation; Climate; Governance; Impacts; Sustainability.

## INTRODUÇÃO

A elevação do nível do mar é um fenômeno que ganha cada vez mais atenção no cenário global, dado seu potencial para causar impactos profundos e destrutivos em diversas áreas do planeta. Esse aumento do nível dos oceanos está diretamente relacionado às mudanças climáticas, impulsionadas principalmente pelas atividades humanas desde a Revolução Industrial. A emissão de gases de efeito estufa e a poluição por aerossóis desempenham papéis de suma importância nesse processo, contribuindo para o derretimento das calotas polares e a expansão térmica dos oceanos. Neste artigo, destacar-se-á a importância da compreensão multidimensional da elevação do nível do mar, considerando suas implicações científicas, socioeconômicas e políticas.

Dito tudo isso, o problema discutirá a seguinte questão norteadora: Quais são as consequências globais da elevação do nível do mar e quais estratégias podem ser implementadas para mitigar seus impactos?

Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa será o de entender a complexidade dos fatores que contribuem para a elevação do nível do mar, bem como analisar suas consequências e explorar possíveis soluções para mitigar seus efeitos.

A pesquisa se justifica uma vez que estudar a elevação do nível do mar e suas consequências é essencial para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e estratégias de adaptação que possam proteger as populações vulneráveis e preservar os ecossistemas costeiros.

A metodologia utilizada nesta pesquisa é baseada em uma revisão bibliográfica detalhada, integrando estudos científicos recentes, relatórios de organizações internacionais e análises de casos específicos que ilustram os impactos da elevação do nível do mar em diferentes regiões do mundo.

## **2. DESENVOLVIMENTO:**

O desenvolvimento deste estudo abrange uma análise detalhada dos fatores que contribuem para a elevação do nível do mar, suas causas e consequências, e as estratégias necessárias para mitigar seus impactos. Primeiramente, a pesquisa examina a evolução das revoluções industriais, destacando como cada fase tecnológica, desde a Primeira até a Quarta Revolução Industrial, influenciou significativamente as emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, as mudanças climáticas. Em seguida, explora-se o papel dos aerossóis nas mudanças climáticas, focando nos tipos de aerossóis, seus efeitos diretos e indiretos no clima, e como eles aceleram o derretimento das calotas polares. A pesquisa também aborda o conceito de ponto de não retorno ou tipping point, examinando exemplos críticos como o derretimento das calotas polares, a acidificação dos oceanos e a degradação da Amazônia, ressaltando a importância de prevenir alterações catastróficas e irreversíveis no sistema climático da Terra. Além disso, são discutidas as causas da elevação do nível do mar, incluindo o derretimento das calotas polares e a expansão térmica da água do mar, e suas consequências devastadoras para regiões costeiras e insulares.

### **2.1 Evolução das Revoluções Industriais e o Impacto no Clima**

A Primeira Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII e início do século XIX, marcou a transição de uma economia agrária e artesanal para uma economia industrial e mecanizada. Este período foi caracterizado pela introdução de máquinas a vapor e a mecanização da produção, o que resultou em um aumento significativo na produção industrial e no consumo de combustíveis fósseis, principalmente carvão (CASTI, 2012). Esse uso intensivo de carvão levou a um aumento substancial na emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribuindo para o início da alteração na composição atmosférica e, conseqüentemente, nas mudanças climáticas globais como um todo.

A Segunda Revolução Industrial, que ocorreu entre o final do século XIX e início do século XX, trouxe avanços tecnológicos significativos, como a eletrificação, a introdução do motor a combustão interna e a produção em massa (CASTI, 2012). A demanda crescente por eletricidade e combustíveis fósseis durante esse período levou a um aumento exponencial das emissões de gases de efeito estufa, intensificando ainda mais os impactos ambientais. Segundo Casti (2012), essa fase foi destaque para a expansão das infraestruturas industriais e urbanas, aumentando a pressão sobre os recursos naturais e exacerbando a poluição do ar e da água.

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Digital, iniciou-se na segunda metade do século XX, com a introdução dos computadores, tecnologias de informação e comunicação (TIC) e a automação dos processos industriais (PHILLIPS, 2019). Embora essa fase tenha promovido avanços bem significativos em eficiência e produtividade, a fabricação e o descarte de equipamentos eletrônicos contribuíram para a geração de novos tipos de poluição, incluindo resíduos eletrônicos e metais pesados. Além disso, a dependência de energia elétrica, majoritariamente gerada a partir de combustíveis fósseis, continuou a elevar as emissões de CO<sub>2</sub> (PHILLIPS, 2019).

A Quarta Revolução Industrial, que se desenrola no século XXI, é caracterizada pela fusão de tecnologias que borram as linhas entre as esferas física, digital e biológica. Inclui inovações como a inteligência artificial, internet, biotecnologia e veículos autônomos (NOBRE, 2020). Embora essas tecnologias tenham o potencial de promover um desenvolvimento sustentável e reduzir a pegada de carbono, sua implementação atual ainda depende fortemente de uma infraestrutura energética baseada em combustíveis fósseis, perpetuando as emissões de gases de efeito estufa (NOBRE, 2020).

O impacto acumulado das revoluções industriais resultou em uma mudança drástica na relação entre a humanidade e o meio ambiente. A contínua queima de combustíveis fósseis para energia e transporte, juntamente com o desmatamento e a degradação dos ecossistemas naturais, resultaram em um aumento sem precedentes das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. De acordo com Sérgio et al. (2006), a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou de aproximadamente 280 partes por milhão (ppm) no período pré-industrial para mais de 400 ppm atualmente, contribuindo significativamente para o aquecimento global e a elevação do nível do mar.

O aumento das temperaturas em todo o mundo acelera o derretimento das calotas polares e das geleiras, causando a expansão térmica dos oceanos e, conseqüentemente, a

elevação do nível do mar (FANTÁSTICO, 2024). Este fenômeno representa uma ameaça significativa para as regiões costeiras e insulares, que enfrentam o risco de inundações, erosão costeira e perda de habitat. A pesquisa de Nobre (2020) destaca a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e adotar práticas de governança ambiental para mitigar esses impactos e proteger as populações vulneráveis.

## 2.2 O Papel dos Aerossóis nas Mudanças Climáticas

Os aerossóis são partículas sólidas ou líquidas suspensas na atmosfera, originadas tanto de fontes naturais quanto antropogênicas. Eles podem ser classificados em várias categorias, incluindo aerossóis de sulfato, carbono negro (fuligem), poeira mineral, e aerossóis orgânicos secundários. Os aerossóis de sulfato geralmente provêm da queima de combustíveis fósseis e de erupções vulcânicas, enquanto o carbono negro é principalmente gerado pela combustão incompleta de biomassa e combustíveis fósseis (PÖSCHL, 2005). Já a poeira mineral é levantada por processos naturais como tempestades de areia, e os aerossóis orgânicos secundários resultam de reações químicas na atmosfera envolvendo compostos orgânicos voláteis (JACOB, 1999).

Os aerossóis influenciam o clima de duas maneiras principais: por meio de efeitos diretos e indiretos. O efeito direto ocorre quando os aerossóis interagem com a radiação solar, absorvendo ou dispersando a luz, o que pode resultar em aquecimento ou resfriamento da atmosfera. Por exemplo, o carbono negro tem um efeito de aquecimento ao absorver a radiação solar, enquanto os aerossóis de sulfato têm um efeito de resfriamento ao refletir a luz solar de volta ao espaço (RAMANATHAN; CARMICHAEL, 2008). Os efeitos indiretos dos aerossóis estão relacionados às suas interações com as nuvens. Eles podem atuar como núcleos de condensação de nuvens (CCN), afetando as propriedades microfísicas das nuvens, como o tamanho das gotas e a refletividade. Isso pode alterar a quantidade e a distribuição da precipitação, bem como a duração das nuvens, influenciando assim o balanço energético da Terra (TWOMEY, 1974).

Os aerossóis desempenham um papel significativo no derretimento das calotas polares, especialmente através do depósito de carbono negro na superfície de neve e gelo. Esse depósito reduz a albedo (capacidade de refletir a luz solar) das superfícies cobertas de neve, fazendo com que absorvam mais calor e acelerem o derretimento (HANSEN; NAZARENKO, 2004). Estudos indicam que o aumento das concentrações de carbono negro no Ártico é responsável

por uma parcela significativa do aquecimento observado na região e do subsequente derretimento do gelo marinho (FLANNER et al., 2007). Diversos estudos têm documentado os impactos dos aerossóis nas mudanças climáticas e no derretimento das calotas polares. Por exemplo, Flanner et al. (2007) demonstraram que o carbono negro depositado no Ártico pode contribuir para até 25% do aquecimento regional. Outro estudo de Hansen e Nazarenko (2004) destacou que o carbono negro é um dos principais agentes no aquecimento do Ártico, influenciando diretamente a taxa de derretimento do gelo.

Além disso, pesquisas realizadas por Ramanathan e Carmichael (2008) enfatizaram que os aerossóis de sulfato, ao contrário, têm um efeito de resfriamento global que pode mascarar parcialmente o aquecimento causado pelos gases de efeito estufa. No entanto, este efeito de resfriamento não é suficiente para compensar os impactos negativos dos aerossóis de carbono negro e outros poluentes que contribuem para o aquecimento e a degradação dos ecossistemas polares.

A implementação de políticas eficazes de controle da poluição do ar e a promoção de tecnologias limpas são essenciais para reduzir a emissão de aerossóis prejudiciais e proteger os ecossistemas vulneráveis.

### **2.3 Conceito de Ponto de Não Retorno (Tipping Point)**

O conceito de ponto de não retorno, ou tipping point, refere-se a um limiar crítico em um sistema, além do qual uma pequena mudança pode levar a uma transformação drástica e muitas vezes irreversível. Em termos climáticos, um tipping point é um limite além do qual as mudanças ambientais se aceleram, resultando em impactos significativos e, em muitos casos, irreversíveis no clima global e nos ecossistemas (NOBRE, 2020). A importância de compreender e identificar esses pontos reside na necessidade de prevenir alterações catastróficas e irreversíveis no sistema climático da Terra, que podem ameaçar a sobrevivência de diversas espécies, incluindo a da humanidade.

O derretimento das calotas polares é um dos exemplos mais críticos de tipping points climáticos. À medida que as temperaturas globais aumentam, o gelo polar derrete a taxas aceleradas, contribuindo para a elevação do nível do mar e a alteração dos padrões climáticos globais. O gelo marinho do Ártico, por exemplo, tem mostrado uma tendência de derretimento significativo nas últimas décadas, com possíveis consequências devastadoras para a fauna local e comunidades humanas (HANSEN; NAZARENKO, 2004). Este derretimento não só contribui



para o aumento do nível do mar, mas também altera a albedo da Terra, exacerbando o aquecimento global (FLANNER et al., 2007).

A acidificação dos oceanos ocorre quando o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico é absorvido pela água do mar, formando ácido carbônico. Este processo reduz o pH da água do mar, afetando negativamente a vida marinha, especialmente organismos calcários como corais e moluscos (CALDEIRA; WICKETT, 2003). A acidificação dos oceanos representa um tipping point porque, uma vez que o processo se intensifica, os ecossistemas marinhos podem sofrer colapsos irreversíveis, afetando a biodiversidade e as cadeias alimentares marinhas. A Amazônia é outro exemplo de um sistema próximo a um tipping point. A floresta amazônica desempenha um papel crucial na regulação do clima global, armazenando grandes quantidades de carbono e influenciando os padrões de precipitação. No entanto, o desmatamento e as mudanças climáticas estão empurrando a Amazônia para um ponto de não retorno, onde a floresta pode se transformar em uma savana degradada. Carlos Nobre (2020) enfatiza que, se o desmatamento continuar, a Amazônia pode atingir um tipping point em que não será capaz de se regenerar, levando à perda massiva de biodiversidade e à liberação de enormes quantidades de carbono armazenado.

Os tipping points climáticos são alarmantes porque suas consequências podem ser irreversíveis. Uma vez que esses limiares são ultrapassados, os sistemas climáticos e ecológicos podem mudar de maneira tão significativa que não há retorno ao estado anterior. Por exemplo, o derretimento das calotas polares pode levar a níveis do mar tão altos que muitas áreas costeiras e ilhas se tornarão inabitáveis, forçando milhões de pessoas a se deslocarem. A acidificação dos oceanos pode resultar na extinção de espécies marinhas essenciais, disruptando ecossistemas inteiros e as economias que dependem deles. A degradação da Amazônia pode alterar drasticamente os padrões climáticos regionais e globais, afetando a agricultura, os recursos hídricos e a estabilidade climática global (NOBRE, 2020).

## **2.4 A Elevação do Nível do Mar: Causas e Consequências**

O derretimento das calotas polares e geleiras é uma das principais causas da elevação do nível do mar. À medida que as temperaturas globais aumentam, o gelo das calotas polares e das geleiras terrestres derrete a um ritmo acelerado, liberando grandes volumes de água doce nos oceanos. Este processo contribui diretamente para a elevação do nível do mar, afetando especialmente o Ártico e a Antártida. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre

Mudanças Climáticas (IPCC, 2019), a perda de gelo polar contribuiu para aproximadamente 1,2 milímetros por ano da elevação do nível do mar entre 2006 e 2015.

Além do derretimento do gelo, a expansão térmica da água do mar é outro fator crucial para a elevação do nível do mar. Quando a água do mar aquece, ela se expande, ocupando mais espaço. Este fenômeno, conhecido como expansão térmica, é responsável por cerca de metade da elevação observada no nível do mar nos últimos cem anos (IPCC, 2019). À medida que as temperaturas globais continuam a subir, espera-se que a expansão térmica continue a contribuir significativamente para a elevação do nível do mar.

A elevação do nível do mar tem consequências devastadoras para as regiões costeiras. As áreas baixas e densamente povoadas são particularmente vulneráveis às inundações, erosão costeira e intrusão de água salgada. Estas mudanças não apenas ameaçam infraestruturas e propriedades, mas também a segurança alimentar e a disponibilidade de água doce. Segundo Nicholls e Cazenave (2010), mais de 600 milhões de pessoas vivem em áreas costeiras situadas a menos de 10 metros acima do nível do mar, colocando essas populações em risco direto de deslocamento e perda de habitat.

As Maldivas são um exemplo clássico das graves consequências da elevação do nível do mar. Com uma elevação média de apenas 1,5 metros acima do nível do mar, esta nação insular enfrenta um risco existencial. A elevação contínua do nível do mar ameaça submergir muitas de suas ilhas, impactando negativamente a população local e a economia baseada no turismo. A intrusão de água salgada já contamina fontes de água doce e prejudica a agricultura, tornando a vida cada vez mais insustentável (PHILLIPS, 2019).

Outras regiões do mundo também enfrentam riscos significativos devido à elevação do nível do mar. O delta do Rio Ganges-Brahmaputra na Índia e Bangladesh, o delta do Rio Nilo no Egito e regiões costeiras em países como Vietnã e Indonésia são exemplos de áreas altamente vulneráveis. Estas regiões não só abrigam grandes populações, mas também desempenham papéis cruciais na agricultura e na economia local. A elevação do nível do mar nessas áreas pode resultar em deslocamentos em massa, perda de terras agrícolas e impactos severos na biodiversidade (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

## **2.5. Impactos Socioeconômicos da Elevação do Nível do Mar**

A elevação do nível do mar resulta em uma perda significativa de território, especialmente em regiões costeiras baixas. Cidades litorâneas, ilhas e áreas deltáicas são



particularmente vulneráveis a esse fenômeno. A erosão costeira e a submersão de terras contribuem para a redução de áreas habitáveis e agrícolas. Em muitos casos, comunidades inteiras precisam ser realocadas, resultando em deslocamento populacional e a perda de patrimônio cultural e histórico (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

"A elevação contínua do nível do mar ameaça submergir muitas de suas ilhas, impactando negativamente a população local e a economia baseada no turismo. A intrusão de água salgada já contamina fontes de água doce e prejudica a agricultura, tornando a vida cada vez mais insustentável" (PHILLIPS, 2019)

A intrusão de água salgada ocorre quando a água do mar invade aquíferos de água doce, poços e sistemas de irrigação, tornando a água imprópria para consumo humano, uso agrícola e industrial. Esse fenômeno é particularmente prejudicial para a agricultura em áreas costeiras, onde a salinidade elevada do solo pode reduzir a produtividade das culturas e levar à degradação do solo. "As estratégias de adaptação que reduzem a perda e o desperdício de alimentos ou apoiam regimes alimentares saudáveis, equilibrados e sustentáveis contribuem para a nutrição, saúde, biodiversidade e outros benefícios ambientais" (IPCC, 2023). A intrusão de água salgada também afeta negativamente a biodiversidade de ecossistemas de água doce, prejudicando espécies que não são adaptadas a altos níveis de salinidade.

A elevação do nível do mar e a intrusão de água salgada têm impactos diretos e severos na agricultura e na biodiversidade. As áreas agrícolas costeiras enfrentam desafios crescentes devido à salinização do solo e à perda de terras cultiváveis. Isso leva à diminuição da produção agrícola, afetando a segurança alimentar e a subsistência dos agricultores (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010). Além disso, os ecossistemas costeiros, como manguezais e recifes de coral, sofrem danos significativos, resultando em perdas de biodiversidade e a redução de serviços ecossistêmicos essenciais, como a proteção costeira e a pesca.

"As manchetes recentes relacionadas ao clima extremo parecem ter saído de um livro de ficção científica: mesmo os países mais ricos do mundo não conseguem controlar incêndios generalizados – que estão queimando até o Ártico. Inundações mortais na Alemanha e na Bélgica em julho de 2021 destruíram completamente edifícios e carros, e mais de 1.000 pessoas continuam desaparecidas. Centenas morreram em enchentes na China. O noroeste dos Estados Unidos, conhecido por seu clima frio, atingiu mais de 38°C por vários dias. E o Ártico perdeu uma área de gelo marinho equivalente ao tamanho da Flórida entre junho e meados de julho de 2021" (WASKOW; GERHOLDT, 2021).

Essa elevação do nível do mar nas Maldivas exemplifica a vulnerabilidade das nações insulares e das regiões costeiras às mudanças ambientais globais. Este problema ambiental não

se restringe apenas à perda de território, mas também engloba profundos impactos econômicos, sociais e culturais. As Maldivas, com uma elevação média de apenas 1,5 metros acima do nível do mar, enfrentam a possibilidade de submersão total se o nível do mar continuar a subir no ritmo atual (FANTÁSTICO, 2024). Além disso, a elevação do nível do mar causa intrusão de água salgada, contaminando fontes de água doce e impactando negativamente a agricultura e a biodiversidade local (CASTI, 2012) e além disso: "A degradação dos ecossistemas dos recifes de corais devido ao embranquecimento de corais e o risco à segurança alimentar devido a secas frequentes/extremas são apenas alguns dos efeitos devastadores" (IPCC, 2023).

Os textos de Casti e Phillips destacam a interconexão entre nossas infraestruturas e a natureza. Nas Maldivas, essa interconexão se manifesta na dependência do turismo, que é profundamente impactado pelas mudanças ambientais. O turismo, sendo a principal fonte de renda do país, sofre uma redução significativa devido à degradação ambiental, o que afeta gravemente a economia local. "O turismo representa a principal fonte de receita do país, mas a elevação do nível do mar ameaça as praias e os recifes de coral, que são os principais atrativos turísticos" (PHILLIPS, 2019).

A resposta a esse desafio deve ser multidimensional. Medidas de adaptação, como a construção de barreiras contra inundações, são essenciais, mas não suficientes. A mitigação das mudanças climáticas por meio da redução de emissões de gases de efeito estufa é de suma importância para evitar que o problema se agrave. "A restauração do solo contribui para a mitigação e adaptação à mudança do clima com sinergias por meio de serviços ecossistêmicos aprimorados e com retornos economicamente positivos" (IPCC, 2023). Além disso, a resiliência das comunidades locais deve ser fortalecida através de políticas que promovam o desenvolvimento sustentável, a proteção dos ecossistemas e a diversificação econômica para reduzir a dependência do turismo (NOBRE, 2020). Os efeitos econômicos da elevação do nível do mar são vastos e incluem custos elevados de adaptação e mitigação, como a construção de barreiras contra inundações e a realocação de comunidades. A perda de infraestrutura costeira, como portos, estradas e edifícios, resulta em enormes prejuízos financeiros. Além disso, o deslocamento populacional devido à perda de território e à intrusão de água salgada gera desafios sociais significativos, incluindo o aumento da pobreza, o desemprego e tensões sociais em áreas de reassentamento (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

O turismo é uma fonte vital de renda para muitas nações insulares e regiões costeiras. No caso das Maldivas, o turismo representa a principal fonte de receita do país. No entanto, a

elevação do nível do mar ameaça as praias e os recifes de coral, que são os principais atrativos turísticos. A degradação ambiental resultante da elevação do nível do mar pode levar a uma diminuição no número de visitantes, afetando negativamente a economia local e a subsistência das comunidades que dependem do turismo (PHILLIPS, 2019). Além disso, os custos associados à adaptação às mudanças climáticas, como a construção de infraestruturas de proteção costeira, aumentam a pressão financeira sobre o governo e o setor privado.

## **2.6. Governança Ambiental e Soluções**

A construção de barreiras contra inundações é uma medida de adaptação essencial para proteger áreas costeiras vulneráveis à elevação do nível do mar. Estas estruturas, como diques, muros marítimos e quebra-mares, são projetadas para impedir a entrada de água do mar em áreas habitadas e agrícolas. Países como os Países Baixos têm investido significativamente em tecnologias de defesa costeira, desenvolvendo sistemas avançados que combinam engenharia com soluções baseadas na natureza, como a restauração de dunas e manguezais (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

O reassentamento de populações é outra medida necessária em casos onde a proteção física não é viável ou é insuficiente. Este processo envolve a realocação de comunidades que vivem em áreas de alto risco para locais mais seguros. O reassentamento deve ser planejado cuidadosamente para minimizar os impactos sociais e econômicos, garantindo que as comunidades reassentadas tenham acesso a infraestrutura, serviços básicos e oportunidades de emprego. Exemplos de reassentamento bem-sucedido podem ser vistos em alguns projetos em Bangladesh, onde comunidades costeiras foram movidas para áreas internas mais seguras (IPCC, 2019). A mitigação das mudanças climáticas exige a redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Políticas de mitigação incluem a implementação de regulamentações rigorosas para as indústrias, a promoção de tecnologias limpas e a melhoria da eficiência energética. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a redução do desmatamento também são cruciais para diminuir as emissões. Países signatários do Acordo de Paris estão comprometidos em limitar o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2°C, em relação aos níveis pré-industriais, para evitar os piores impactos das mudanças climáticas (UNFCCC, 2015).

O investimento em energias renováveis, como solar, eólica, hidroelétrica e biomassa, é fundamental para a transição para uma economia de baixo carbono. As energias renováveis

oferecem uma alternativa limpa aos combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e promovendo a independência energética. Tecnologias avançadas e políticas de incentivo têm aumentado a viabilidade econômica das energias renováveis, facilitando sua adoção em larga escala (IEA, 2020).

O fortalecimento da resiliência das comunidades locais envolve a capacitação das populações para enfrentar e se adaptar às mudanças climáticas. Isso inclui a educação ambiental, o desenvolvimento de habilidades para a gestão sustentável dos recursos naturais e o incentivo ao planejamento comunitário participativo. Programas de resiliência comunitária devem focar na inclusão social, garantindo que as populações mais vulneráveis tenham voz no processo de tomada de decisão (ADGER, 2003).

Políticas de desenvolvimento sustentável são essenciais para alinhar o crescimento econômico com a conservação ambiental. Estas políticas devem promover práticas industriais, agrícolas e urbanas que diminuam os impactos ambientais, que conservem os recursos naturais e possam melhorar a qualidade de vida. Iniciativas como a Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável fornecem uma estrutura conceitual global para a ação, com objetivos específicos que visam combater a pobreza, proteger o planeta e garantir prosperidade para todos (UN, 2015).

Além disso, a proteção dos ecossistemas naturais é de suma importância para a resiliência ambiental e a mitigação das mudanças climáticas. A conservação de florestas, manguezais, recifes de coral e outros habitats críticos ajudam a manter a biodiversidade, proteger contra desastres naturais e armazenar carbono. A diversificação econômica reduz a dependência de setores vulneráveis às mudanças climáticas, como o turismo, e promove a sustentabilidade a longo prazo. Iniciativas como ecoturismo e agricultura sustentável são exemplos de como a diversificação econômica pode ser integrada com a conservação ambiental (WWF, 2018).

### **3. ANÁLISES E RESULTADOS**

A análise dos dados e resultados deste estudo foi realizada com base em um referencial teórico-metodológico robusto, considerando as exigências científicas para garantir a originalidade, cientificidade, rigor e precisão. A pesquisa utilizou uma revisão bibliográfica bem detalhada, integrando estudos científicos recentes, relatórios de organizações

internacionais e análises de casos específicos que ilustram os impactos da elevação do nível do mar em diferentes regiões do mundo.

A análise dos impactos climáticos das revoluções industriais mostrou que cada fase trouxe consigo um aumento significativo nas emissões de gases de efeito estufa. A Primeira Revolução Industrial marcou o início do uso intensivo de carvão, resultando em um aumento substancial na emissão de CO<sub>2</sub> (CASTI, 2012). A Segunda Revolução Industrial intensificou ainda mais essas emissões com a eletrificação e a produção em massa, enquanto a Terceira Revolução Industrial, apesar dos avanços tecnológicos, manteve uma dependência significativa de combustíveis fósseis (PHILLIPS, 2019). A Quarta Revolução Industrial apresenta um potencial para reduzir a pegada de carbono, mas a infraestrutura atual ainda é predominantemente baseada em combustíveis fósseis (NOBRE, 2020). Essas descobertas destacam a necessidade urgente de uma transição para fontes de energia mais sustentáveis.

Os aerossóis, particularmente o carbono negro, têm um papel significativo no aquecimento regional, especialmente no Ártico. Estudos mostraram que o depósito de carbono negro em superfícies de neve e gelo reduz a albedo, acelerando o derretimento das calotas polares (HANSEN; NAZARENKO, 2004; FLANNER et al., 2007). Os aerossóis de sulfato, por outro lado, possuem um efeito de resfriamento, mas este é insuficiente para compensar o aquecimento global causado por outros poluentes (RAMANATHAN; CARMICHAEL, 2008). A implementação de políticas de controle da poluição do ar e a promoção de tecnologias limpas são essenciais para mitigar esses efeitos negativos.

A análise dos pontos de não retorno revelou que o derretimento acelerado das calotas polares, a acidificação dos oceanos e a degradação da Amazônia são exemplos críticos de tipping points climáticos. O derretimento das calotas polares contribui para a elevação do nível do mar e altera os padrões climáticos globais, com consequências devastadoras (HANSEN; NAZARENKO, 2004). A acidificação dos oceanos ameaça a vida marinha e os ecossistemas marinhos, enquanto a degradação da Amazônia pode levar a mudanças climáticas irreversíveis, afetando a biodiversidade e os padrões de precipitação (CALDEIRA; WICKETT, 2003; NOBRE, 2020).

A elevação do nível do mar foi atribuída principalmente ao derretimento das calotas polares e geleiras e à expansão térmica da água do mar. A análise dos dados do IPCC (2019) confirmou que a perda de gelo polar contribuiu significativamente para a elevação do nível do mar, enquanto a expansão térmica da água do mar foi responsável por aproximadamente metade

da elevação observada. As consequências são especialmente severas para regiões costeiras e insulares, onde a intrusão de água salgada e a perda de território são desafios críticos (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010; PHILLIPS, 2019).

Os impactos socioeconômicos da elevação do nível do mar incluem a perda de território, a intrusão de água salgada, e os efeitos negativos na agricultura e biodiversidade. A análise dos dados indicou que mais de 600 milhões de pessoas vivem em áreas costeiras vulneráveis, e a intrusão de água salgada já está afetando a agricultura e a disponibilidade de água doce (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010). O turismo, particularmente em regiões como as Maldivas, está gravemente ameaçado, impactando a economia local e a subsistência das comunidades (PHILLIPS, 2019).

A análise das medidas de adaptação e mitigação destacou a importância da construção de barreiras contra inundações, reassentamento de populações vulneráveis, redução das emissões de gases de efeito estufa e investimento em energias renováveis. A governança ambiental e o fortalecimento da resiliência das comunidades locais são cruciais para a implementação bem-sucedida dessas políticas (UNFCCC, 2015; IEA, 2020). A promoção de práticas de desenvolvimento sustentável e a proteção dos ecossistemas naturais são essenciais para garantir a resiliência ambiental e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas (WWF, 2018).

Os resultados da análise evidenciaram a complexidade e a gravidade da elevação do nível do mar, impulsionada por mudanças climáticas decorrentes das atividades humanas. A implementação de estratégias integradas e globais para mitigação e adaptação é imprescindível. Medidas como a construção de barreiras, o reassentamento de populações vulneráveis, a redução de emissões de gases de efeito estufa e o investimento em energias renováveis são cruciais. A governança ambiental e o fortalecimento das comunidades locais são fundamentais para garantir a eficácia dessas políticas e a proteção das populações e ecossistemas afetados.

#### **4. CONCLUSÕES**

A problemática que estimulou esta pesquisa foi entender as consequências globais da elevação do nível do mar e identificar estratégias eficazes para mitigar seus impactos. Este estudo foi guiado pela questão norteadora: quais são as consequências globais da elevação do nível do mar e quais estratégias podem ser implementadas para mitigar seus impactos? A



pesquisa cumpriu seus objetivos ao analisar a importância de uma compreensão multidimensional da elevação do nível do mar, incluindo suas causas, impactos socioeconômicos e possíveis soluções.

Os resultados deste estudo mostraram que a elevação do nível do mar é um fenômeno complexo e multifacetado, diretamente relacionado às mudanças climáticas impulsionadas pelas atividades humanas desde a Revolução Industrial. Cada fase das revoluções industriais trouxe um aumento significativo nas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global e, conseqüentemente, para a elevação do nível do mar. A análise dos aerossóis, particularmente o carbono negro, revelou seu papel significativo no aquecimento regional e no derretimento das calotas polares.

Os pontos de não retorno ou *tipping points* climáticos, como o derretimento acelerado das calotas polares, a acidificação dos oceanos e a degradação da Amazônia, foram identificados como ameaças críticas. A perda de gelo polar e a expansão térmica da água do mar foram confirmadas como as principais causas da elevação do nível do mar, com conseqüências devastadoras para regiões costeiras e insulares.

Os impactos socioeconômicos são vastos, incluindo perda de território, intrusão de água salgada, efeitos negativos na agricultura e biodiversidade, e prejuízos econômicos significativos devido à degradação ambiental. A análise destacou a vulnerabilidade de nações insulares, como as Maldivas, que enfrentam a possibilidade de submersão total e severos impactos econômicos, sociais e culturais.

Conclui-se que para enfrentar esses desafios, enfatiza a importância de uma abordagem integrada e global para mitigação e adaptação. Medidas como a construção de barreiras contra inundações, reassentamento de populações vulneráveis, redução das emissões de gases de efeito estufa e investimento em energias renováveis são cruciais. A governança ambiental e o fortalecimento da resiliência das comunidades locais são essenciais para a implementação bem-sucedida dessas políticas.

Ainda se pode concluir que a elevação do nível do mar, impulsionada pelas mudanças climáticas decorrentes das atividades humanas, apresenta conseqüências severas que exigem uma resposta global e integrada. A pesquisa sugere que futuras investigações devem focar no impacto específico da elevação do nível do mar em diferentes ecossistemas costeiros e insulares, além de desenvolver tecnologias inovadoras para a proteção e adaptação dessas

regiões. A eficácia das políticas públicas em diferentes contextos socioeconômicos e culturais também deve ser explorada para promover soluções sustentáveis a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ADGER, W. Neil. Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. **Economic Geography**, v. 79, n. 4, p. 387-404, 2003. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1944-8287.2003.tb00220.x>. Acesso em: 24 maio 2024.

CALDEIRA, K.; WICKETT, M. E. Anthropogenic carbon and ocean pH. **Nature**, v. 425, n. 6956, p. 365-365, 2003.

CASTI, John L. **O Colapso de Tudo**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2012.

FANTÁSTICO. Aquecimento global. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eUTCyAlrQX0>. Acesso em: 21 maio 2024.

FLANNER, M. G.; ZENDER, C. S.; RANDERSON, J. T.; RASMUSSEN, D. J. Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 112, n. D11, 2007.

HANSEN, J.; NAZARENKO, L. Soot climate forcing via snow and ice albedos. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 2, p. 423-428, 2004.

IEA. **World Energy Outlook 2020**. International Energy Agency, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Acesso em: 24 maio 2024.

IPCC. **Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese**. Um Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2023. [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy\\_of\\_IPCC\\_Longer\\_Report\\_2023\\_Portugues.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf). Acesso em: 25 maio 2024.

IPCC. **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/>. Acesso em: 24 maio 2024.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 2010. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/328/5985/1517>. Acesso em: 24 maio 2024.

NOBRE, Carlos. **Amazônia: potencial biocivilizatório para a humanidade e os desafios do Antropoceno**. Estudos Avançados, v. 34, n. 99, p. 29-49, 2020.

PHILLIPS, Tom. **Humanos: uma breve história de como f\*demos com tudo**. 2º Capítulo. Rio de Janeiro: Planeta, 2019.

SÉRGIO, Abranches; BRITO, Manoel Francisco; ELIA, Carolina; FANZERES, Andreia. Alerta vermelho – com Carlos Nobre. **O Eco**, 5 de outubro de 2006. Disponível em: [https://oeco.org.br/reportagens/10956-oeco\\_19040/](https://oeco.org.br/reportagens/10956-oeco_19040/). Acesso em: 20 maio 2024.

UN. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. United Nations, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 24 maio 2024.

UNFCCC. **The Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change**, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 24 maio 2024.

WASKOW, David; GERHOLDT, Rhys. Mudanças Climáticas: veja 5 grandes resultados do relatório do IPCC. 2021. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/climate-action>. Acesso em: 24 maio 2024.

WWF. **Living Planet Report 2018: Aiming Higher**. World Wide Fund for Nature, 2018. Disponível em: [https://wwf.panda.org/discover/our\\_focus/wildlife\\_practice/living\\_planet\\_report\\_2018/](https://wwf.panda.org/discover/our_focus/wildlife_practice/living_planet_report_2018/). Acesso em: 24 maio 2024.

## **Autoria:**

### **Ailton Luiz dos Santos**

Doutorando em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Segurança Pública, Cidadania e Direitos Humanos pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Especialista em Gestão Pública aplicada à Segurança, Ciências Jurídicas, Direito Penal e Processo Penal. Atualmente é Tenente Coronel da Polícia Militar do Amazonas.

**Instituição:** Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

**E-mail:** [ailtontati2001@gmail.com](mailto:ailtontati2001@gmail.com)

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-6428-8590>

**País:** Brasil

### **Therezinha de Jesus Pinto Fraxe**

Doutora em Sociologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora titular na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Vice-Reitora da UFAM. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Sociologia e Antropologia, atuando principalmente nos temas de agricultura familiar, sustentabilidade e sistemas agroflorestais na Amazônia.

**Instituição:** Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

**E-mail:** [tjpfaxe@gmail.com](mailto:tjpfaxe@gmail.com)

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-9974-2140>

**País:** Brasil

### **Antônio Ferreira do Norte Filho**

Doutor em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Especialista em Direito Processual pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Direito Militar pela Universidade Castelo Branco (UCB/RJ), Direito Penal e Processual Penal pelo Centro Universitário do Norte (Uninorte), e Psicopedagogia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

**Instituição:** Faculdade Santa Teresa

**E-mail:** [nortefilho@gmail.com](mailto:nortefilho@gmail.com)

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-5946-3291>

**País:** Brasil