

REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE AS SECAS NA REGIÃO AMAZÔNICA E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS.

INTEGRATIVE REVIEW ON DROUGHTS IN THE AMAZON REGION AND THEIR IMPACTS ON WATER RESOURCES.

Rafael Araújo de Amaral

Mestrando do PPG em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado
do Amazonas
Parintins, Amazonas, Brasil
rada.mgr24@uea.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8486-0119>

Rafael Jovito Souza

Pós- Doutor em Química, Professor no PPG em Gestão e Regulação dos Recursos da
Universidade do Estado do Amazonas
Parintins, Amazonas, Brasil
jovito@uea.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4394-3995>

RESUMO

A seca na Amazônia impacta recursos hídricos, gestão de água e qualidade de vida local, alterando o fluxo dos rios e promove uma maior exposição a eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a implementação de políticas públicas integradas, voltadas à conservação ambiental, recuperação de áreas degradadas e práticas sustentáveis, é essencial. Com o objetivo de revisar os principais impactos das secas nos recursos hídricos da região, este estudo realizou uma revisão integrativa de 18 artigos publicados nas últimas duas décadas. A análise destacou três temas principais: impactos socioeconômicos das secas, mudanças climáticas e suas consequências nos recursos hídricos, e futuros cenários das secas na Amazônia. Os resultados evidenciam os desafios complexos enfrentados pela região, agravados pelas mudanças climáticas globais e pelo desmatamento.

Palavras-chave: : Secas, Amazônia, Impactos, Recursos-Hídricos.

ABSTRACT

Drought in the Amazon impacts water resources, water management, and local quality of life, altering river flows and increasing exposure to extreme climate events. In this context, the implementation of integrated public policies focused on environmental conservation, restoration of degraded areas, and sustainable practices is essential. With the aim of reviewing the main impacts of droughts on the region's water resources, this study conducted an integrative review of 18 articles published in the last two decades. The analysis highlighted three key topics: socioeconomic impacts of droughts, climate change and its consequences on water resources, and future drought scenarios in the Amazon. The results underscore the complex challenges faced by the region, exacerbated by global climate change and deforestation.

KEYWORDS: **Droughts, Amazon, Impacts, Water Resources.**

1. Introdução

As secas, fenômenos caracterizados pela escassez prolongada de precipitações, possuem problemas ambientais, econômicas e sociais de grande alcance. Na Amazônia, região conhecida como a "Pátria das Águas" (LORIS, 2008), a dinâmica hidrológica desempenha um papel central na manutenção de ecossistemas e comunidades locais. A interação entre o regime hidrológico e as unidades biológicas é tão estreita que, ao longo do tempo, o próprio desenvolvimento da floresta influenciou o clima da região (DIAS, 2004). Contudo, o equilíbrio delicado que caracteriza esse sistema tem sido ameaçado por mudanças climáticas e pressões antrópicas, como desmatamento e expansão econômica desordenada, que comprometem a base ecológica e social da Amazônia (LORIS, 2008). Essa realidade ressalta a relevância global da floresta amazônica não apenas como um regulador climático, mas também como uma barreira natural contra a intensificação de eventos extremos.

Nas últimas décadas, a Amazônia tem enfrentado episódios de seca cada vez mais intensos e frequentes, refletindo tendências globais de aquecimento. Entre 1949 e 2017, a temperatura média da região aumentou entre 0,6 e 0,7°C, com os últimos anos registrando os valores mais altos desde meados do século XX (MARENGO E SOUZA, 2018). Esse aquecimento, aliado à redução na reciclagem de umidade devido à destruição da cobertura vegetal, ameaça o regime de chuvas da região. A umidade, transportada pelos ventos alísios provenientes do Atlântico, é fundamental para o ciclo hidrológico amazônico. Após a precipitação, a floresta recicla parte significativa dessa umidade através da evapotranspiração, que posteriormente retorna na forma de chuva (NOBREGA, 2014). A redução desse processo, provocada por desequilíbrios climáticos e desmatamento, gera impactos profundos nos ecossistemas e serviços ambientais que sustentam a biodiversidade e as comunidades humanas na região.

Além dos danos ecológicos, as secas na Amazônia têm consequências diretas para as populações locais e os sistemas econômicos, comunidades que dependem dos recursos naturais para subsistência, como ribeirinhos e agricultores familiares, enfrentam a perda de produtividade agrícola e dificuldades de acesso à água potável. A mudança na temperatura do ar tem potencial para gerar grandes desequilíbrios em ecossistemas essenciais à sobrevivência

humana, colocando em risco a fauna e flora da região, especialmente em um continente como a América do Sul, que apresenta o maior risco de extinção de espécies 23% (MARENGO E SOUZA, 2018). Estudos sobre a frequência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e secas severas, são cruciais para o planejamento das atividades humanas, incluindo o gerenciamento dos recursos hídricos e a viabilização de práticas agrícolas sustentáveis (SANTOS ET AL., 2017). Portanto, compreender os impactos das secas na Amazônia é essencial para mitigar suas consequências socioeconômicas e culturais e propor estratégias de adaptação efetivas.

O objetivo do presente trabalho é compreender como as secas na Amazônia afetam a região, principalmente questões relacionadas aos recursos hídricos. Visa identificar os impactos socioeconômicos das secas, quais as consequências nos recursos hídricos promovidos pelas mudanças climáticas e delinear futuros cenários das secas na Amazônia.

2. Material e métodos ou Metodologia

O progresso científico exige tanto a realização de estudos quanto a troca de informações para seu desenvolvimento. O crescimento de qualquer área do conhecimento depende do acúmulo de resultados de investigações científicas e de sua ampla disseminação entre pesquisadores e a população em geral. Nesse contexto, utilizamos a revisão integrativa como abordagem principal em nosso estudo, pois ela possibilita a análise de diversos estudos publicados, oferecendo uma nova perspectiva sobre o tema em questão. Para Souza *et. al* (2010), a revisão integrativa é vista como um processo enriquecedor para a ciência, pois reúne dados tanto da literatura teórica quanto da empírica, abrangendo diversos objetivos, como a definição de conceitos, a revisão de teorias e evidências, além da análise de problemas.

Realizamos uma busca por artigos nacionais em bases de dados online entre outubro e novembro de 2024, abrangendo publicações dos últimos vinte anos, de 2004 a 2024. O objetivo desse método é sintetizar o conhecimento disponível a respeito do tema em questão, evidenciando os principais achados e identificando lacunas que possam direcionar novos estudos e possibilitar uma releitura de resultados disponíveis. Para assegurar a validade científica, foi necessário descrever o processo de forma detalhada, estruturado em seis etapas, que serviram como critérios para sua execução, conforme descrito a seguir:

Primeira Etapa: **Estabelecimento da questão de pesquisa.** O objetivo do problema de pesquisa é delimitar o tema e definir o foco específico da investigação, respondendo a uma necessidade de conhecimento ou uma lacuna na literatura científica. Para nosso estudo elaboramos a questão de pesquisa, como as secas vem afetando a região Amazônica e seus recursos hídricos?

Segunda Etapa: **Procedimentos de busca na literatura.** Realizamos a busca de artigos científicos nas bases de dados Google Acadêmico, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e Portal de Periódicos da CAPES. Para orientar a seleção dos materiais, utilizamos combinações de descritores em Língua Portuguesa, como: “Secas na região amazônica e suas consequências”, “eventos climáticos na região amazônica” e “secas e recursos hídricos na Amazônia”.

Os critérios de inclusão adotados foram: estudos publicados no formato de artigos completos revisados por pares, redigidos em português ou inglês; pesquisas cujo tema principal ou secundário envolvesse as consequências das secas na região amazônica e seus impactos sobre os recursos hídricos; e materiais publicados no período de 2004 a 2024. Os critérios de exclusão compreenderam: trabalhos apresentados apenas como resumos, resumos expandidos, banners ou exposições orais; estudos de revisão e relatos de caso. Essa abordagem visou garantir a seleção de fontes relevantes e alinhadas ao objetivo do estudo.

Terceira Etapa: **Definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados.** Nesta etapa realizamos uma leitura prévia dos textos completos para verificar quais aspectos seriam importantes com base na perspectiva de entender as secas na região amazônica, apresentados nos artigos selecionados. Com intuito de sistematizar todas as informações relevantes adquiridas na revisão de literatura, optamos por utilizar os seguintes itens extraídos dos materiais selecionados: 1 Título; 2 Autoria; 3 Periódico e 4 Objetivo.

Quarta Etapa: **Resultados mais importantes.** Realizamos a análise dos dados por meio da técnica de Análise Textual Discursiva (ATD), que é de natureza qualitativa e fornece novas interpretações de como os textos dialogam sobre o tema em estudo e suas principais semelhanças. Para isso foi feito uma categorização de temas entre os textos e em seguida uma análise.

Quinta etapa: **Análise dos dados.** Nesta etapa, dedicamo-nos à análise crítica dos resultados obtidos, integrando-os às informações extraídas da literatura. Este é o momento de argumentar com base nos dados do estudo e nas referências teóricas, respeitando os objetivos

da pesquisa e avaliando a validade dos pressupostos estabelecidos. Elaboramos um metatexto que permitiu teorizar sobre o fenômeno investigado, apresentando interpretações e compreensões fundamentadas.

Sexta etapa: Na etapa final, **elaboramos o texto** que reúne todas as etapas do processo e os principais resultados obtidos na revisão integrativa. O texto resultante reflete a síntese das informações e interpretações desenvolvidas ao longo das fases anteriores, contribuindo para uma compreensão sobre os principais impactos da seca na Amazônia com enfoque nos recursos hídricos.

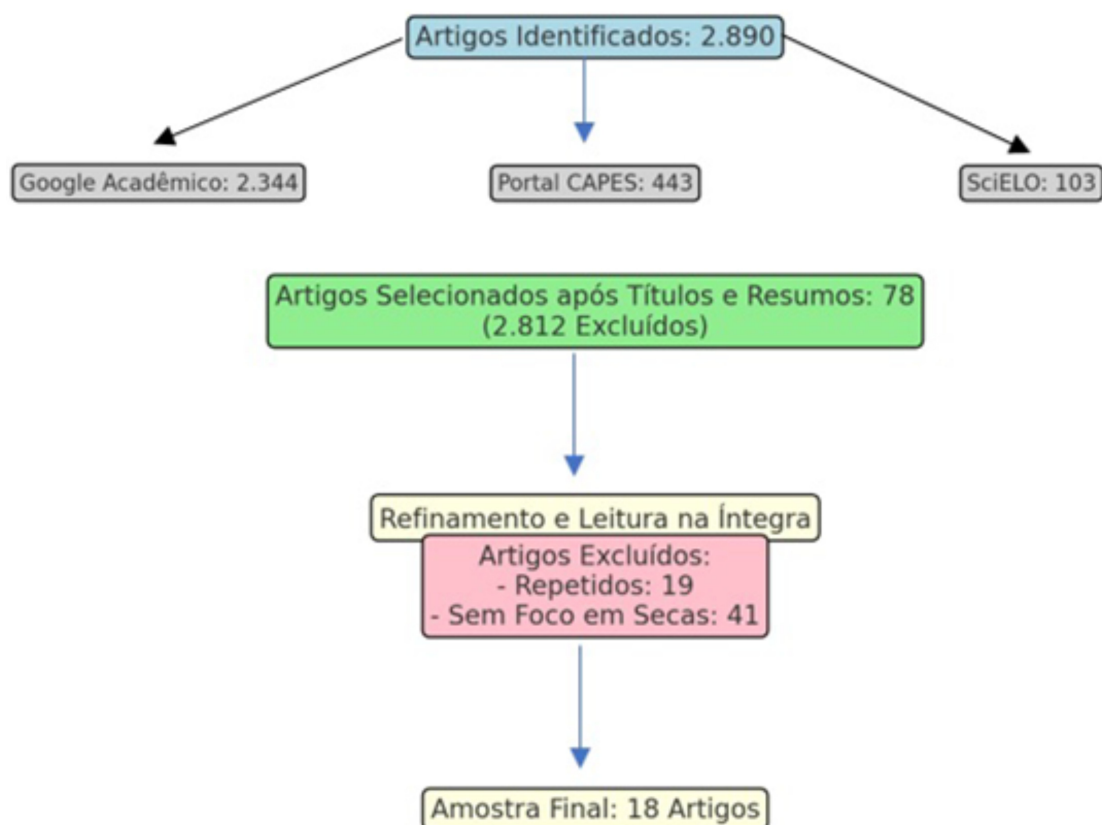
3. Resultados e Discussão

3.1 RESULTADOS

Encontramos 2.890 artigos disponíveis nas Bases de Dados utilizadas, sendo que após a leitura dos títulos e resumos, 2.812 foram retirados por não se enquadrarem nos critérios de elegibilidade, reduzindo nossa amostra em 78 artigos.

Após o refinamento realizado de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, realizamos as leituras na íntegra, excluímos 19 textos repetidos e ainda 41 textos com a perspectiva da Amazônia que não tinham o foco nas secas. Nossa amostra final constituiu-se de 18 artigo. Como segue na figura 1.

Figura 1: Fluxograma processo de seleção dos artigos



Fonte: Elaboração própria.

A amostra final de 18 artigos, nacionais, apresentavam nos em seus resultados sobre as secas na Amazônia principalmente sobre os seguintes aspectos: O quadro 1 Apresenta os artigos selecionados.

Quadro 1: Resumo dos artigos Seleccionados

Nº - TÍTULO	AUTORIA	PERIÓDICO	OBJETIVO
1- Waters that no longer flow to the sea	Antônio A. R. Ioris	<i>Interações</i> , Campo Grande, v. 9, n. 1, p. 9-17, j an. /j un. 2008.	Relacionar como o histórico de uso e ocupação da Amazônia está impactando sobre o ciclo de precipitações na área.
2- O futuro clima do Brasil	José A. Marengo	<i>Revista USP</i> , São Paulo. Nº 103. P 25-32, 2014.	Analisar projeções de dados dos extremos climáticos e fatores antropogênicos que alteram o clima do Brasil e suas consequências na Amazônia.
3- Manifestações do bioclima do acre sobre a saúde humana no contexto Socioeconômico da	Alejandro Fonseca Duarte, Márcio Dênis Medeiros Marcarenhas.	<i>Amazônia: Ci. & Desenv.</i> , Belém, v. 3, n. 5, jul./dez. 2007	Analisar como os períodos de secas e enchentes afetam a saúde humana no contexto socioeconômico.

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DO RIO AMAZONAS EM PARINTINS E SEUS IMPACTOS
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Amazônia.			
4- Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos Hídricos na Amazônia ocidental utilizando o modelo slurp	Ranyére Silva Nóbrega	<i>Revista Brasileira de Meteorologia</i> , v. 29, n. esp., 111 - 120, 201	Investigar os impactos causados pelas mudanças na cobertura e uso da terra, bem como mudanças climáticas sobre os processos hidrológicos na sub-bacia do rio Jamari na Amazônia.
5- Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia ocidental	Ailton Marcolino Liberato , José Ivaldo Barbosa de Brito.	<i>Revista Brasileira de Geografia Física</i> 03 (2010) 170-180.	Investigar possíveis alterações em componentes do balanço hídrico climático, associadas a diferentes cenários (A2 e B2) das mudanças climáticas do IPCC, para a Amazônia Ocidental (Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima).
6- Mudanças na Divisão Familiar de Tarefas em Função do Enfrentamento da Seca de 2010 na Amazônia	Renan Albuquerque Rodrigues, Ana Letícia de Fiori e Evelyn dos Santos Pessoa	<i>Ponto Urbe [Online]</i> , 13 2013, posto online no dia 31 dezembro 2013.	Investigar em que medida houve modificações na divisão familiar de tarefas em função do enfrentamento da grande seca de 2010 na Amazônia.
7- Mudanças climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.	José A. Marengo e Carlos Souza Jr.	<i>Greenpace. SÃO PAULO</i> . 2018	Analisar os dados de mudanças climáticas através do Quinto relatório IPCC AR5 , publicado em 2013 e quais são os futuros cenários de impactos nos ecossistema da Amazônia.
8- Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação	Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos, Clovis Angeli Sansigolo, Theomar Trindade de Araujo Tiburtino Neves , Thamiris Luisa de Oliveira Brandão Campos , Ana Paula Paes dos Santos.	<i>Revista Brasileira de Geografia Física</i> v.10, n.2 (2017) 468-478	Analisar as frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia baseada em séries de precipitação mensal de quatro bancos de dados: GPCP (Global Precipitation Climatology Project), GPCC (Global Precipitation Climatology Center), CPC (Climate Prediction Center) e Era-Interim, no período de 1979 a 2014.
9- Tendência Pluviométrica em Bacia Hidrográfica Amazônica: Impactos potenciais sobre comunidades de peixes	Paula Verônica Campos Jorge SANTOS, Antonio Carlos Leal de CASTRO, Jose Manuel Macário REBÊLO, Victor Lamarão de FRANÇA,	<i>Revista Espacios</i> Vol. 38 (Nº 29) Año 2017. Pág. 6	Caracterizar o comportamento pluviométrico no baixo curso de uma bacia hidrográfica amazônica, relacionando essas modificações aos impactos potenciais que poderão afetar comunidades ictias.

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DO RIO AMAZONAS EM PARINTINS E SEUS IMPACTOS
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

	Leonardo Silva SOARES.		
10- Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal.	Francis Wagner Silva Correia, Antonio Ocimar Manzi, Luiz Antonio Cândido, Rosa Maria Nascimento dos Santos, Theotônio Pauliquevis	<i>Ciência e Cultura. vol.59 no.3 São Paulo July/Sept. 2007</i>	Entender a interação biosfera-atmosfera e de sua influência na formação de nuvens e chuvas no decorrer do ano e em diferentes regiões na bacia amazônica e como esse balanço é influenciada pela cobertura vegetal da área.
11- O clima atual e futuro Da Amazônia nos cenários Do IPCC: a questão Da savanização.	Luiz Antônio Candido, Antônio Ocimar Manzi, Júlio Tota, Paulo Ricardo Teixeira da Silva, Flávia Seixas Moreno da Silva, Rosa Maria Nascimento dos Santos, Francis Wagner Silva Correia	<i>Ciência e Cultura. vol.59 no.3 São Paulo July/Sept. 2007</i>	Investigar e discutir as mudanças climáticas atuais e projetadas para a Amazônia, especialmente no contexto dos cenários climáticos do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). O foco do estudo está em analisar a possibilidade da savanização da Amazônia.
12- Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013	Pollyanne Evangelista da Silva, Cláudio Moisés Santos e Silva, Maria Helena Constantino Spyrides, Lára de Melo Barbosa Andrade	Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Vol. 42 - 2 / 2019 p. 137-148.1	Analisar as variações e tendências de extremos climáticos (como ondas de calor, secas e chuvas intensas) no Nordeste do Brasil e na Amazônia durante o período de 1980 a 2013.
13- Avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos ao longo do rio Preto da Eva no Amazonas, Brasil	Marileide Mota da Silva Falcão, Adriano Nobre Arcos, Francimara Souza da Costa	Society and Development, v.10, n.15, e 107101522560, 2021	Identificar e analisar indicadores de qualidade da água, considerando parâmetros físicos, químicos e biológicos ao longo do curso do rio em períodos de SECAS e Enchentes.
14- Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio solimões	Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão, Cleber Assis dos Santos, Romero Thiago Sobrinho Wanzeler, Layrson de Jesus Menezes Gonçalves, Aline Maria Meiguins de Lima.	Geogr. Acadêmica v.9, n.2 (xii.2015)	Analisar o comportamento pluviométrico na bacia hidrográfica do rio Solimões nos anos de 2005 e 2010, marcados como as maiores secas do século na Amazônia.

**VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DO RIO AMAZONAS EM PARINTINS E SEUS IMPACTOS
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

15- Impacto das mudanças climáticas nas vazões mínimas de referência de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia Legal e dentro do arco do desflorestamento	Giovanna Klautau Leite Costa, Claudio José Cavalcante Blanco, Amanda de Cássia Lobato Soares, Josias da Silva Cruz, Leonardo Melo de Mendonça.	<i>Revista de Gestão de Água da América Latina</i> , 20, e6.	Analisar a influência das mudanças climáticas nas vazões mínimas de referência de duas pequenas bacias hidrográficas localizadas na Amazônia Legal (bioma Cerrado) e, também, no Arco do Desflorestamento.
16- Impactos das mudanças climáticas nas florestas tropicais	Beatriz Rodrigues Bagnolin Muniz, Jordana dos Anjos Xavier, Maria Raquel Kaniesk, Claudia Guimarães Camargo Campos, Jairo Afonso Henkes.	Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental., v. 11, n. 2, p. 65-82, jun. 2022.	Caracterizar o bioma florestal tropical e identificar os impactos sofridos ao longo do tempo nesse bioma em decorrência das mudanças climáticas.
17- Seca e a saúde das populações residentes em regiões da Amazônia brasileira nos anos de 2005, 2010 e 2015	Ana Carla dos Santos Gomes, Gabriel Brito Costa, Júlio Tóta da Silva, Maytê Duarte Leal Coutinho, Micejane da Silva Costa, David Roy Fitzjarrald	Revista Brasileira De Climatologia, 23..v23i0.50256	Verificar os impactos ocasionados pelos três últimos eventos de seca na saúde da população de catorze municípios na Amazônia, agrupados em quatro grupos com características pluviométricas homogêneas.
18- Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas	Eliane de Castro Coutinho, Edson José Paulino da Rocha, Aline Maria Meiguins Lima, Hebe Morganne Campos Ribeiro, Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez, Ana Júlia Soares Barbosa, Gleicy Karen Abdon Alves Paes, Carlos José Capela Bispo, Paulo Amador Tavares.	Rev. Ambient. Água vol. 12 n. 5 Taubaté – Sep. / Oct. 2017	Determinar o índice do risco socioeconômico e ambiental dos municípios que recebem influência dos afluentes e da calha principal do Rio Amazonas, comparando com eventos extremos de precipitação.

Fonte: elaboração própria

3.2 Discussão

Para uma melhor compreensão, os artigos selecionados nessa pesquisa foram divididos em três categorias: Impactos das socioeconômicos das secas; mudanças climáticas e suas consequências sobre os recursos hídricos; Futuros cenários das secas para a Amazônia.

3.2.1 Impactos Das Socioeconômicos Das Secas

Esse tema foi discutido em 22% dos artigos de nossa pesquisa, assim, Rodrigues *et. al* (2019) corroborando a Marengo e Souza Júnior (2018), afirmam em suas discussões que as secas na Amazônia são fenômenos climáticos extremos que vêm se intensificando devido a fatores naturais e antrópicos, como mudanças climáticas globais, desmatamento e degradação ambiental. Esses eventos têm causado impactos significativos na economia e nas condições sociais das populações ribeirinhas do Amazonas em geral, especialmente aquelas que dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência.

Os estudos de Marengo e Souza Júnior (2018), afirmam ainda que as mudanças climáticas globais e o desmatamento na Amazonia são as principais causas para os períodos de secas constante em nossa região. O aumento das temperaturas e a redução das chuvas, causados pela emissão de gases de efeito estufa e pela conversão de florestas em áreas agrícolas, alteram os ciclos hidrológicos da região. Isso impacta diretamente na vida das comunidades ribeirinhas da região, dessa forma Rodrigues *et. al* (2019,) evidenciam que práticas agrícolas insustentáveis e a exploração desordenada dos recursos naturais têm exacerbado os impactos das secas. A redução na vazão dos rios e a perda da biodiversidade aquática afetam diretamente a pesca, uma das principais fontes de renda para as comunidades ribeirinhas. Além disso, o solo exposto pela retirada da vegetação torna-se menos produtivo, comprometendo as atividades agrícolas e, conseqüentemente, a segurança alimentar das populações ribeirinhas locais. Outro fator importante está relacionado a saúde pública que também é severamente afetada, com o aumento de doenças respiratórias e infecciosas devido à proliferação de queimadas durante períodos secos prolongados.

Os recursos hídricos durante o período de cheia são outro problema para a população, devido a escassez de água potável e o comprometimento desses recursos, que na maioria das vezes está contaminado devido a baixa oxigenação e mortalidade de peixes na área, isso eleva os custos de tratamento e distribuição da água potável, que nas comunidades já é precário e com distribuição insipiente.

3.2.2 Mudanças Climáticas E Suas Consequências Sobre Os Recursos Hídricos

Este tema foi identificado em 33% dos estudos revisados, evidenciando sua centralidade nas discussões sobre sustentabilidade na Amazônia. As mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento contínuo das temperaturas médias (cerca de 1,5°C acima da média histórica nas últimas três décadas) e pela redução progressiva das chuvas, estão reconfigurando drasticamente a disponibilidade hídrica na região. Essas alterações interferem diretamente na capacidade da floresta de reciclar umidade – processo no qual a Amazônia libera aproximadamente 20 bilhões de toneladas de água diariamente na atmosfera por meio da evapotranspiração, sustentando o chamado "rio voador" responsável por regular o clima em escala continental. Estudos de modelagem climática, como os de Marengo e Souza Júnior (2018), alertam para cenários críticos: em áreas do sul da Amazônia, projetam-se reduções de até 40% na precipitação anual até 2050, combinadas com o prolongamento das estações secas em 30 a 45 dias. Essa tendência já se manifesta em eventos extremos recentes, como a seca histórica de 2023 no rio Negro, que atingiu o menor nível em 121 anos, e as inundações recordes no rio Madeira em 2021, ambos padrões compatíveis com projeções do IPCC para cenários de alta emissão de CO₂. A interferência humana agrava esse quadro: o desmatamento de 13% da floresta amazônica até 2022 (INPE, 2023) reduziu a resiliência do bioma, comprometendo sua capacidade de regular o ciclo hidrológico. Como demonstra Santos et al. (2017), a sinergia entre mudanças climáticas e degradação ambiental está alterando a dinâmica fluvial, com duas consequências principais:

1. **Redução das vazões médias em até 25% nos períodos secos**, afetando a navegação e o abastecimento de usinas hidrelétricas como Balbina (AM), cuja capacidade instalada opera 35% abaixo do potencial devido à escassez hídrica;
2. **Aumento de 60% na intensidade de cheias extremas**, que inundam áreas urbanas como Manaus, onde 12% do território municipal é alagável, gerando custos anuais de R\$ 280 milhões em danos estruturais (ANA, 2022).

Os impactos socioeconômicos são multidimensionais e desproporcionalmente sentidos pelas populações tradicionais. Comunidades ribeirinhas do Médio Solimões, por exemplo, enfrentam redução de 40% na produtividade pesqueira durante secas prolongadas, comprometendo sua principal fonte de proteína e renda. Na Terra Indígena Yanomami, a combinação de garimpo ilegal e menor disponibilidade hídrica contaminou 73% dos igarapés com mercúrio em 2023 (ISA, 2023), elevando em 300% os casos de doenças gastrointestinais.

Paralelamente, a agricultura familiar de várzea perdeu R\$ 1,2 bilhão em safras entre 2010 e 2020 devido a enchentes atípicas (EMBRAPA, 2021). A concentração de poluentes durante estiagens – como ocorreu no rio Tapajós em 2022, onde os níveis de coliformes fecais ultrapassaram 1.200 UFC/100mL, 24 vezes acima do limite seguro – expõe a fragilidade da infraestrutura sanitária regional. Esse cenário exige respostas integradas:

- **Inovação tecnológica:** Implementação de sistemas de alerta precoce baseados em sensores IoT e imagens de satélite para monitorar bacias críticas;
- **Políticas adaptativas:** Revisão dos marcos regulatórios de outorga hídrica, incorporando critérios climáticos e garantindo vazões ecológicas mínimas;
- **Justiça hídrica:** Criação de fundos de compensação para populações afetadas, vinculando royalties de grandes empreendimentos a programas locais de segurança hídrica.

A articulação entre conhecimento científico e saberes tradicionais surge como caminho promissor: técnicas indígenas de manejo sazonal de lagos, como as praticadas pelos Ticuna no Alto Solimões, combinadas com modelos preditivos de machine learning, podem otimizar a gestão adaptativa. Urge, portanto, transcender abordagens setoriais e adotar uma visão sistêmica que reconheça a água não como recurso isolado, mas como eixo integrador da biodiversidade, economia e cultura amazônicas.

3.2.3 Futuros Cenários Das Secas Para Amazônia

Este tema foi identificado em 27% dos estudos analisados nesta revisão, consolidando-se como uma das principais preocupações científicas sobre o futuro da Amazônia. As mudanças climáticas globais emergem como vetor central nas projeções de degradação ambiental, conforme destacado por Santos et al. (2017), cujos modelos indicam que a combinação entre aquecimento global e dinâmicas locais de uso do solo pode amplificar em 300% a frequência de secas extremas na região até 2070. Dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) reforçam essa tendência: em cenários de altas emissões (RCP 8.5), a temperatura média na bacia amazônica poderá aumentar até 4,5°C até 2100, enquanto a precipitação anual diminuiria em 30-40% no leste da Amazônia, transformando 60% da floresta em savana degradada.

O desmatamento desempenha papel catalisador nesse processo. Conforme demonstra Nobrega (2014), a remoção de 20% da cobertura florestal – patamar já atingido em 2023, com

830 mil km² desmatados (MapBiomas, 2023) – reduz em 34% a evapotranspiração, mecanismo pelo qual a Amazônia recicla diariamente 20 bilhões de toneladas de água. Essa perda compromete o "rio voador" atmosférico, responsável por 70% das chuvas no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, segundo o INPE (2022). O resultado é um ciclo vicioso: menos umidade gera secas mais prolongadas, que aumentam a inflamabilidade da floresta, elevando em 45% a ocorrência de incêndios críticos em épocas de El Niño (PRODES, 2023).

A sinergia entre esses fatores está reconfigurando radicalmente os ciclos hidrológicos. No sul do Amazonas, por exemplo, a estação seca já se estendeu de 3 para 5 meses entre 2000 e 2023 (ANA, 2023), enquanto eventos de seca extrema, como o de 2010 (considerado o pior em 100 anos), tornaram-se 50% mais frequentes. Essas mudanças têm consequências bioclimáticas irreversíveis:

1. **Colapso da biodiversidade:** 17% das espécies arbóreas endêmicas estão fora de seu nicho climático (RAISG, 2022), e a produtividade primária da floresta caiu 34% nas áreas mais desmatadas (NASA, 2023);
2. **Alterações hidroenergéticas:** A vazão média do rio Xingu reduziu 22% desde 2015, forçando a usina de Belo Monte a operar com 40% de sua capacidade, gerando perdas de R\$ 2,1 bilhões/ano (ANEEL, 2023);
3. **Impactos transnacionais:** A redução da umidade exportada pela Amazônia está vinculada a perdas agrícolas de US\$ 4,5 bilhões/ano no Cerrado (Embrapa, 2023), afetando cadeias globais de commodities.

As projeções são ainda mais sombrias quando consideradas as retroalimentações climáticas. Estudos de campo no Arco do Desmatamento revelam que áreas com mais de 50% de degradação florestal experimentam aumentos de 2,5°C na temperatura superficial em comparação com regiões preservadas (INPA, 2023). Essa "savanização" localizada altera padrões de convecção atmosférica, reduzindo em 12% a formação de nuvens do tipo cumulonimbus, cruciais para chuvas intensas (CPTEC, 2023).

Diante desse cenário, medidas urgentes são necessárias:

- **Restauração estratégica:** Priorizar corredores ecológicos em áreas críticas para a reciclagem de umidade, como o noroeste do Mato Grosso, onde projetos-piloto aumentaram a precipitação em 18% em 5 anos (ISA, 2023);

- **Tecnologias adaptativas:** Implantação de sistemas agroflorestais inteligentes, como os desenvolvidos por comunidades do Acre, que mantêm 80% da cobertura arbórea e aumentam a resiliência hídrica;
- **Governança integrada:** Criação de um tratado internacional para proteção hidroclimática da Amazônia, vinculando financiamentos a metas verificáveis de redução do desmatamento e emissões.

A sobrevivência da Amazônia como bioma funcional depende da reversão dessas tendências nas próximas décadas. Como alerta o Painel Científico para a Amazônia (2021), ultrapassar 25% de desmatamento poderá levar o ecossistema a um ponto de não retorno, com implicações catastróficas para o ciclo global de carbono e os regimes pluviométricos continentais. Preservar sua integridade hidrológica não é apenas uma questão ambiental, mas um imperativo econômico e ético para a estabilidade climática planetária.

4. Considerações Finais

A revisão realizada sobre o tema, seca na Amazônia e seus impactos sobre os recursos hídricos, evidencia uma complexidade dos desafios enfrentados pela região amazônica. A intensificação das secas, impulsionada por mudanças climáticas globais e pelo desmatamento, traz consequências severas para os ecossistemas, os recursos hídricos e as comunidades que dependem diretamente desses sistemas para sua subsistência.

Os impactos socioeconômicos das secas são amplamente sentidos pelas populações ribeirinhas e indígenas, com prejuízos significativos à pesca, agricultura e segurança alimentar. As alterações nos ciclos hidrológicos, resultantes do aumento da temperatura e da redução das chuvas, comprometem a qualidade da água, a biodiversidade aquática, comprometendo a sua base alimentar que é o peixe. A saúde pública também sofre com a proliferação de doenças em períodos secos, agravando ainda mais a vulnerabilidade social dessa parcela da população que na maioria dos casos é desassistida pelo governo.

No contexto dos recursos hídricos, as mudanças climáticas estão transformando os regimes de chuvas e a vazão dos rios, dificultando o planejamento e a gestão sustentável desses recursos. A crescente variabilidade hídrica afeta atividades econômicas vitais, como a agricultura irrigada e a geração de energia hidrelétrica, além de comprometer o abastecimento de água potável para as populações locais. Esses desafios se tornam ainda mais complexos

quando considerados os futuros cenários das secas, que apontam para um aumento das temperaturas, que podem trazer consequências enormes para a floresta, como a perda da biodiversidade ou até mesmo, acelerar seu processo de savanização.

Diante desse cenário, é imperativo que sejam implementadas políticas públicas eficazes que integrem conservação ambiental, restauração de áreas degradadas e práticas sustentáveis de uso dos recursos naturais. O fortalecimento das comunidades locais e a promoção de tecnologias adaptativas para enfrentar os impactos das secas são igualmente essenciais para garantir a resiliência da Amazônia. Além disso, a cooperação internacional e o compromisso com a redução das emissões de gases de efeito estufa são fundamentais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na região e assegurar sua preservação para as futuras gerações. A Amazônia, como um dos principais reguladores climáticos do planeta, exige atenção e ação imediatas para evitar consequências irreversíveis.

Agradecimentos

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua (Mestrado Profissional em Rede Nacional) pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo incentivo e apoio financeiro. Agradecimentos à Secretaria de Educação de Estado e Desporto Escolar- SEDUC- Amazonas, pela liberação do autor Rafael Araújo de Amaral de suas funções para participar do PPG ProfÁgua. Agradecimentos à ANA pela cessão de dados hidrológicos distribuídos gratuitamente.

Referências

- ASSAD, Eduardo; FILIZOLA, N. et al. **Impacto das mudanças climáticas nas florestas tropicais.** *Revista Gestão Ambiental*, v. 9, n. 2, 2020.
- CÂNDIDO, Luiz Antonio; MANZI, Antonio Ocimar; TOTA, Julio; et al. **O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização.** *Mudanças Climáticas e Biodiversidade*, v. 10, p. 37-45, 2007.

CORREIA, Francis Wagner Silva; et al. **Balço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 15-21, 2006.

COUTINHO, Eliane de Castro; et al. **Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas.** *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 5, 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.2013.

DIAS, M. A. F. Silva. **Smoking rain clouds over the Amazon.** *Science*, v. 303, p. 1342-1345, 2004.

DUARTE, Alejandro Fonseca; MARCARENHAS, Márcio Dênis Medeiros. **Manifestações do bioclima do Acre sobre a saúde humana no contexto socioeconômico da Amazônia.** *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, Belém, v. 3, n. 5, p. 149-151, jul./dez. 2007.

DUFFY, Philip B.; BRANDO, Paulo; ASNER, Gregory P.; FIELD, Christopher B. **Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 112, n. 43, p. 13172-13177, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1421010112.

GOMES, Ana Carla dos Santos; COSTA, Gabriel et al. **SECA e a saúde das populações residentes em regiões da Amazônia Brasileira nos anos de 2005, 2010 e 2015.** *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, p. 101-117, 2019. DOI: 10.5585/rbc.2019.v23.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões.** *Revista Geonorte*, v. 4, p. 45-60, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mudanças climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.** São Paulo, 2017.

IORIS, Antônio A. R. **Águas que não correm mais pro mar.** *Interações*, Campo Grande, v. 9, n. 1, p. 9-17, jan./jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 15 nov. 2024.

LIBERATO, Ailton Marcolino; BRITO, José Ivaldo Barbosa. **Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 170-180, 2010.

MARENGO, José A. **O futuro clima do Brasil.** *Revista USP*, São Paulo, Brasil, n. 103, p. 25-32, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32. Disponível em: <https://revistas.usp.br/revusp/article/view/99280>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MARILEIDE, M. et al. **Assessment of the environmental quality of water resources along the Preto da Eva River in Amazonas, Brazil.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. e22560, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.22560.

NÓBREGA, Ranyére Silva. **Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na Amazônia Ocidental utilizando o modelo SLURP.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. esp., p. 111-120, 2014. DOI: 10.1590/0102-778620130024.

ROCHA, Edson J. Paulino da; et al. **Impacto das mudanças climáticas nas vazões mínimas de referência de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, p. 112-120, 2019.

RODRIGUES, Renan Albuquerque; FIORI, Ana Letícia de; PESSOA, Evelyn dos Santos. **Mudanças na divisão familiar de tarefas em função do enfrentamento da seca de 2010 na Amazônia.** *Ponto Urbe*, n. 13, 2013. DOI: 10.4000/pontourbe.625. Disponível em: <http://journals.openedition.org/pontourbe/625>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SANTOS, Paula Verônica Campos Jorge; et al. **Tendência pluviométrica em bacia hidrográfica amazônica: impactos potenciais sobre comunidades de peixes.** *Revista Espacios*, v. 38, n. 29, p. 6, 2017.

SANTOS, Sérgio Rodrigo Quadros dos; et al. **Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 2, p. 468-478, 2017.

SILVA, Pollyanne Evangelista da; SANTOS, Cláudio Moisés; SPYRIDES, Maria Helena Constantino; ANDRADE, Lára de Melo Barbosa. Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o período entre 1980 a 2013. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 42, n. 2, p. 137-148, 2019. DOI: 10.11137/2019_2_137_148.