

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JORGE DANIEL DOS SANTOS FAGUNDES**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS: CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE E  
RESILIÊNCIA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**São Gabriel  
2025**

**JORGE DANIEL DOS SANTOS FAGUNDES**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS: CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE E  
RESILIÊNCIA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz

**São Gabriel  
2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F151s Fagundes, Jorge Daniel Dos Santos  
Sistemas agroflorestais: caminho para a sustentabilidade e  
resiliência frente às mudanças climáticas / Jorge Daniel Dos  
Santos Fagundes.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GESTÃO AMBIENTAL, 2025.

"Orientação: Rafael Cabral Cruz".

1. Agroecologia. 2. Ruptura Metabólica. 3. Agricultura  
Familiar. 4. Resiliência Climática. I. Título.

**JORGE DANIEL DOS SANTOS FAGUNDES**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS: CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Gestão Ambiental.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 08 de julho de 2025.

**Banca examinadora:**  
Documento assinado digitalmente  
 **RAFAEL CABRAL CRUZ**  
Data: 10/07/2025 14:04:03-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


---

**Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz**  
Orientador

  
Documento assinado digitalmente  
 **JEFFERSON MARCAL DA ROCHA**  
Data: 10/07/2025 15:03:08-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Prof. Dr. Jefferson Marcal da Rocha**  
UFRGS

Documento assinado digitalmente  
 **ALINE BIASOLI TRENTIN**  
Data: 10/07/2025 17:12:52-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Biasoli Trentin**  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho, com todo o meu carinho e gratidão, à minha mãe, que ao longo de toda a minha trajetória nunca mediu esforços, sacrifícios e renúncias para me proporcionar as condições necessárias para chegar até aqui. Cada conquista minha carrega o reflexo do amor, da paciência e do apoio incondicional dela.

Dedico também à minha namorada, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e incertos, oferecendo suporte, palavras de incentivo e, acima de tudo, amor e compreensão. Seu apoio fez toda a diferença nessa caminhada.

## **AGRADECIMENTO**

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o fechamento de um ciclo acadêmico, mas também a soma de muitos esforços e contribuições importantes ao longo dessa jornada.

Aos meus professores, que compartilharam não apenas conhecimento, mas também valores, perspectivas e desafios que foram fundamentais para a minha formação pessoal e profissional. Cada aula foi uma peça essencial na construção do meu aprendizado.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz que com paciência, atenção e comprometimento, me guiou em todas as etapas deste trabalho. Sua orientação técnica e seus conselhos foram fundamentais para que este projeto ganhasse forma e conteúdo.

À minha família, minha base e maior inspiração, agradeço profundamente por todo o amor, suporte emocional e, principalmente, pelos inúmeros sacrifícios feitos em prol da minha educação. Este diploma é tanto meu quanto de vocês.

E por fim, à minha namorada, por estar sempre presente, por acreditar em mim mesmo nos momentos em que eu duvidei, e por ser um porto seguro em meio às turbulências da vida acadêmica.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse possível: meu sincero obrigado.

Não se pode aprender nada de uma lição que não seja acompanhada por dor, já que não se pode conseguir nada sem um sacrifício. Mas quando você aguenta essa dor e a supera, você consegue um coração forte que não perde para nada. Sim, um coração de aço.

Edward Elric

## RESUMO

Este trabalho analisa os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como uma alternativa sustentável para enfrentar as mudanças climáticas, explorando seus benefícios ecológicos, sociais e econômicos. Por meio de uma revisão bibliográfica integrativa, o estudo destaca que os SAFs, ao integrar árvores, culturas agrícolas e, em alguns casos, pecuária, promovem a regeneração do solo, a conservação de recursos hídricos e a biodiversidade, além de fortalecerem a resiliência de comunidades rurais frente a eventos climáticos extremos. No Brasil, onde a agricultura familiar é essencial para a segurança alimentar, os SAFs oferecem um modelo de produção que aumenta a produtividade e reduz impactos ambientais, como a erosão. Contudo, sua adoção em larga escala enfrenta barreiras estruturais, como a marginalização em políticas públicas e a predominância do agronegócio, que favorece monoculturas. Inspirado por conceitos marxistas, como a ruptura metabólica, o trabalho critica o modelo agroindustrial por desequilibrar a relação entre sociedade e natureza, propondo os SAFs como uma prática regenerativa que restaura esse equilíbrio e promove um modelo civilizatório baseado no cuidado, na diversidade e na justiça socioambiental.

Palavras-Chave: SAFs, Agroecologia, Sustentabilidade, Ruptura Metabólica, Agricultura Familiar, Resiliência Climática.

## RESUMEN

Este trabajo analiza los Sistemas Agroforestales (SAFs) como una alternativa sostenible para enfrentar los cambios climáticos, explorando sus beneficios ecológicos, sociales y económicos. A través de una revisión bibliográfica integrativa, el estudio destaca que los SAFs, al integrar árboles, cultivos agrícolas y, en algunos casos, ganadería, promueven la regeneración del suelo, la conservación de recursos hídricos y la biodiversidad, además de fortalecer la resiliencia de comunidades rurales frente a eventos climáticos extremos. En Brasil, donde la agricultura familiar es esencial para la seguridad alimentaria, los SAFs ofrecen un modelo de producción que aumenta la productividad y reduce impactos ambientales, como la erosión. Sin embargo, su adopción a gran escala enfrenta barreras estructurales, como la marginalización en las políticas públicas y la predominancia del agronegocio, que favorece los monocultivos. Inspirado en conceptos marxistas, como la ruptura metabólica, el trabajo critica el modelo agroindustrial por desequilibrar la relación entre sociedad y naturaleza, proponiendo los SAFs como una práctica regenerativa que restaura este equilibrio y promueve un modelo civilizatorio basado en el cuidado, la diversidad y la justicia socioambiental.

Palabras clave: SAFs, Agroecología, Sostenibilidad, Ruptura Metabólica, Agricultura Familiar, Resiliencia Climática.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da anomalia da temperatura média global entre 1880 e 2023. ....	20
Figura 2. Concentração de dióxido de carbono atmosférico medida em Mauna Loa, Havaí, de 1958 a 2023. ....	21
Figura 3. Projeções de elevação do nível médio do mar até 2100, segundo diferentes cenários de emissão. ....	22
Figura 4. Comparação do sequestro de carbono em diferentes sistemas produtivos. ....	37
Figura 5. Temperatura média do solo em áreas desmatadas e em sistemas agroflorestais (SAFs). ....	39
Figura 6. Comparação da diversidade de espécies vegetais entre monocultura e sistemas agroflorestais. ....	40
Figura 7. Comparação da produtividade agrícola em cenários de seca entre agricultura convencional e sistemas agroflorestais. ....	42
Figura 8. Comparativo do índice de retenção de água no solo entre agricultura convencional e sistemas agroflorestais. ....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AMOC - Atlantic Meridional Overturning Circulation (Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico)

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

ENSO - El Niño–Oscilação Sul

FAO - Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)

FESPSP - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo

GEE - Gases de Efeito Estufa

ICRAF - World Agroforestry Centre

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

PMAC - Plano Municipal de Adaptação à Mudança do Clima

SAFs - Sistemas Agroflorestais

SERS - Secretaria para Apoio à Reconstrução do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
5.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	20
5.2. SAFS.....	37
5.3. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	50
5.4. MODELO CIVILIZATÓRIO.....	57
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam uma das maiores ameaças globais do século XXI, com impactos devastadores sobre ecossistemas, sistemas agrícolas e a segurança alimentar em escala mundial. O aumento das temperaturas globais, que já alcançaram 1,2°C acima dos níveis pré-industriais, aliado à intensificação de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e inundações, têm desafiado a capacidade de adaptação de comunidades rurais, especialmente em regiões tropicais dependentes da agricultura (IPCC, 2023). No Brasil, o cenário é particularmente preocupante: secas severas no semiárido nordestino têm comprometido a produção agrícola e evidenciado a vulnerabilidade do setor frente às transformações climáticas globais (Marengo, 2024). Diante desse contexto, a busca por práticas agrícolas que conciliem a produção de alimentos com a preservação ambiental e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas torna-se uma prioridade global (FAO, 2023).

Nesse cenário, os sistemas agroflorestais (SAFs) emergem como uma alternativa promissora para enfrentar os desafios impostos pela crise climática. Esses sistemas, que integram árvores, culturas agrícolas e, em alguns casos, a criação de animais em um mesmo espaço produtivo, promovem benefícios ecológicos, sociais e econômicos. Os SAFs contribuem para a conservação do solo, a proteção dos recursos hídricos e o aumento da biodiversidade, ao mesmo tempo em que desempenham um papel crucial na captura e armazenamento de carbono, ajudando a reduzir a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (Nair, 2018). Estudos indicam que SAFs bem manejados podem sequestrar entre 2 e 50 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare ao longo de sua vida útil, dependendo das espécies utilizadas e das condições edafoclimáticas (Montes-Londoño, 2017). Além disso, a diversificação proporcionada por esses sistemas aumenta a resiliência das comunidades agrícolas, tornando-as menos vulneráveis a extremos climáticos, como as secas que afetam o Nordeste brasileiro (Altieri, 2012).

No Brasil, onde a agricultura familiar é responsável por cerca de 70% dos alimentos produzidos no país, os SAFs também oferecem uma oportunidade de fortalecer a economia rural e promover a segurança alimentar (IBGE, 2018). Projetos como o Cacau Cabruca, na Bahia, demonstram o potencial dos SAFs: a integração

de cacauzeiros com árvores nativas tem contribuído para o aumento da produtividade, a conservação do solo e a geração de benefícios climáticos e econômicos para os agricultores (Marques; Mandarin; Monteiro, 2014). Assim, os SAFs não apenas mitigam os impactos das mudanças climáticas, mas também representam um modelo de produção sustentável que pode ser escalado para atender às demandas de um planeta em transformação.

Diante da necessidade de transitar para modelos agrícolas mais resilientes e ambientalmente responsáveis, este trabalho busca contribuir para o debate sobre práticas agroecológicas, com foco na importância dos sistemas agroflorestais como estratégia para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. A pesquisa visa explorar como os SAFs podem ser implementados em maior escala, promovendo benefícios ecológicos, sociais e econômicos, e oferecendo uma resposta viável aos desafios impostos pela crise climática global.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os sistemas agroflorestais (SAFs) como uma estratégia sustentável para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, com foco em seus benefícios ecológicos, sociais e econômicos, destacando sua capacidade de fortalecer a resiliência das comunidades rurais frente a eventos climáticos extremos e os principais desafios para sua implementação em larga escala na agricultura familiar.

## 3. JUSTIFICATIVA

As mudanças climáticas constituem um dos maiores desafios globais da atualidade, com impactos diretos na segurança alimentar, na biodiversidade e nos meios de subsistência de milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como as secas prolongadas que afetam o semiárido nordestino, evidencia a urgência de adotar práticas agrícolas mais resilientes e sustentáveis (Marengo, 2024). Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como uma alternativa promissora para mitigar os impactos negativos das mudanças

climáticas, oferecendo benefícios ecológicos, sociais e econômicos que os tornam uma solução estratégica para o enfrentamento da crise climática (Nair, 2018).

A escolha de estudar os SAFs justifica-se por sua capacidade de integrar conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico, em contraste com as práticas agrícolas convencionais, que frequentemente exacerbam os impactos ambientais por meio do desmatamento e do uso intensivo de insumos químicos (Altieri, 2012). Os SAFs promovem a captura de carbono – com potencial de sequestrar até 50 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare –, a conservação do solo e da água, e a proteção da biodiversidade, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização e o controle biológico de pragas (Montes-Londoño, 2017). Além disso, esses sistemas aumentam a resiliência dos agricultores a condições climáticas adversas, como as secas prolongadas que afetam o Nordeste brasileiro, ao criar ecossistemas mais diversificados e menos vulneráveis (IPCC, 2023).

Nos últimos anos, o estado do Rio Grande do Sul tem enfrentado uma frequência cada vez maior de eventos extremos de estiagem, especialmente nas regiões da Campanha, Fronteira Oeste e Noroeste. Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, como as enchentes que devastaram o Rio Grande do Sul em 2024, foi criado o projeto RS: Resiliência e Sustentabilidade, voltado para identificar fragilidades climáticas, desenvolver estratégias de adaptação e propor políticas públicas para enfrentar os impactos em escala regional e municipal (Ferrer; Danéris; Marques, 2025). Resultante de uma parceria entre a Secretaria para Apoio à Reconstrução do Rio Grande do Sul (SERS), do Governo Federal, e a Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP), com suporte da Open Society Foundations, o projeto financiou pesquisas em universidades federais gaúchas, abordando resiliência a desastres climáticos e sustentabilidade socioeconômica.

Segundo o próprio projeto, os municípios gaúchos vêm apresentando alta exposição e baixa capacidade adaptativa frente às estiagens, especialmente em áreas onde predominam atividades agropecuárias extensivas e uso intensivo de recursos hídricos. Um dos focos centrais do programa tem sido o fortalecimento da gestão de bacias hidrográficas, com destaque para a região do Lago Guaíba, onde a redução da disponibilidade hídrica afeta tanto o abastecimento humano quanto os usos agrícolas e industriais.

O relatório técnico do programa aponta que as estiagens dos anos de 2020 a 2023 evidenciaram a fragilidade da infraestrutura hídrica existente, levando à necessidade de reavaliar a governança sobre os recursos naturais. Com base nesses diagnósticos, o RS Resiliência tem articulado Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como recomposição de matas ciliares, proteção de nascentes e ampliação de áreas permeáveis nos centros urbanos, buscando aumentar a retenção de água no solo e mitigar os impactos das secas.

O programa também prevê a integração entre planejamento climático e desenvolvimento territorial, destacando a importância de instrumentos como os Planos Municipais de Adaptação à Mudança do Clima (PMACs). Em seu eixo de atuação sobre segurança hídrica, o RS Resiliência e Sustentabilidade reconhece que as secas no estado não são eventos isolados, mas manifestações cada vez mais recorrentes da crise climática, exigindo abordagens sistêmicas e descentralizadas para fortalecer a resiliência das comunidades mais vulneráveis.

Dessa forma, a inclusão dos relatos do programa RS Resiliência e Sustentabilidade nesta pesquisa reforça a relevância do tema das secas no Rio Grande do Sul como um dos principais desafios socioambientais da atualidade. Além disso, contribui com um referencial técnico e institucional que dialoga diretamente com os objetivos deste trabalho, ao evidenciar que enfrentar as estiagens exige mais do que respostas emergenciais — exige um novo paradigma de gestão territorial, baseado na adaptação climática e na sustentabilidade ecológica.

Do ponto de vista socioeconômico, os SAFs são particularmente relevantes para a agricultura familiar, que desempenha um papel central na segurança alimentar do Brasil, produzindo cerca de 70% dos alimentos consumidos no país (IBGE, 2018). Assim, a pesquisa sobre SAFs é fundamental para ampliar o entendimento de como essas práticas podem ser escaladas, fornecendo subsídios para agricultores familiares, extensionistas rurais, organizações não governamentais e formuladores de políticas públicas que buscam promover uma agricultura mais sustentável e adaptada às mudanças climáticas (FAO, 2023). Este estudo, portanto, almeja contribuir para a construção de um modelo agrícola que não apenas enfrente os desafios climáticos, mas também promova a justiça social e o desenvolvimento rural sustentável; contribuindo para a construção de políticas públicas mais eficazes e adaptadas às realidades locais (FAO, 2023).

## 4. METODOLOGIA

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa baseada em uma revisão bibliográfica integrativa, com o objetivo de compilar, analisar e sintetizar estudos científicos relevantes sobre os sistemas agroflorestais (SAFs) e sua contribuição para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. A revisão integrativa é uma metodologia amplamente utilizada em pesquisas acadêmicas, pois permite a integração de evidências de diferentes fontes, oferecendo uma visão crítica e abrangente sobre o tema, além de identificar lacunas de conhecimento que demandem futuras investigações (Soares *et al.*, 2014). Essa abordagem é particularmente adequada para o presente estudo, uma vez que os SAFs são um tema interdisciplinar, envolvendo aspectos ecológicos, sociais e econômicos que requerem uma análise ampla e contextualizada (Torraco, 2005).

O processo metodológico foi estruturado em quatro etapas principais, descritas a seguir:

- I. Seleção de bases de dados e definição do período de busca: A pesquisa foi conduzida em bases de dados científicas reconhecidas, como Scopus, Web of Science, Google Scholar e SciELO, que oferecem acesso a artigos revisados por pares, teses, dissertações e relatórios técnicos de organizações ambientais. Foram priorizados estudos publicados entre 2010 e 2024, a fim de garantir a atualidade das informações e capturar os avanços mais recentes na área de sistemas agroflorestais e mudanças climáticas. No entanto, obras anteriores a esse período também foram incluídas quando consideradas fundamentais para o embasamento teórico ou histórico do tema. Essa escolha de período é justificada pela intensificação das discussões sobre práticas agrícolas sustentáveis após a assinatura do Acordo de Paris em 2015, que impulsionou pesquisas sobre mitigação climática (IPCC, 2023).
- II. Definição de critérios de inclusão e exclusão: Para a seleção dos estudos, foram estabelecidos critérios rigorosos. Foram incluídos artigos que abordam diretamente a relação entre sistemas agroflorestais e mudanças climáticas, com foco em pelo menos um dos seguintes aspectos: (i) capacidade de

mitigação de gases de efeito estufa, como o sequestro de carbono; (ii) conservação de recursos naturais, como solo e água; (iii) resiliência a eventos climáticos extremos; e (iv) impactos socioeconômicos na agricultura familiar. Além disso, priorizaram-se estudos com base empírica ou revisões sistemáticas robustas, realizados em contextos de seca e desertificação, visando garantir representatividade ecológica e consistência estatística nas análises (Azhar *et al.*, 2024). Foram excluídos trabalhos que não tratassem diretamente da relação entre SAFs e mudanças climáticas, que apresentassem metodologias pouco robustas (como estudos sem dados primários ou com amostragens insuficientes), ou que fossem publicados em fontes não revisadas por pares.

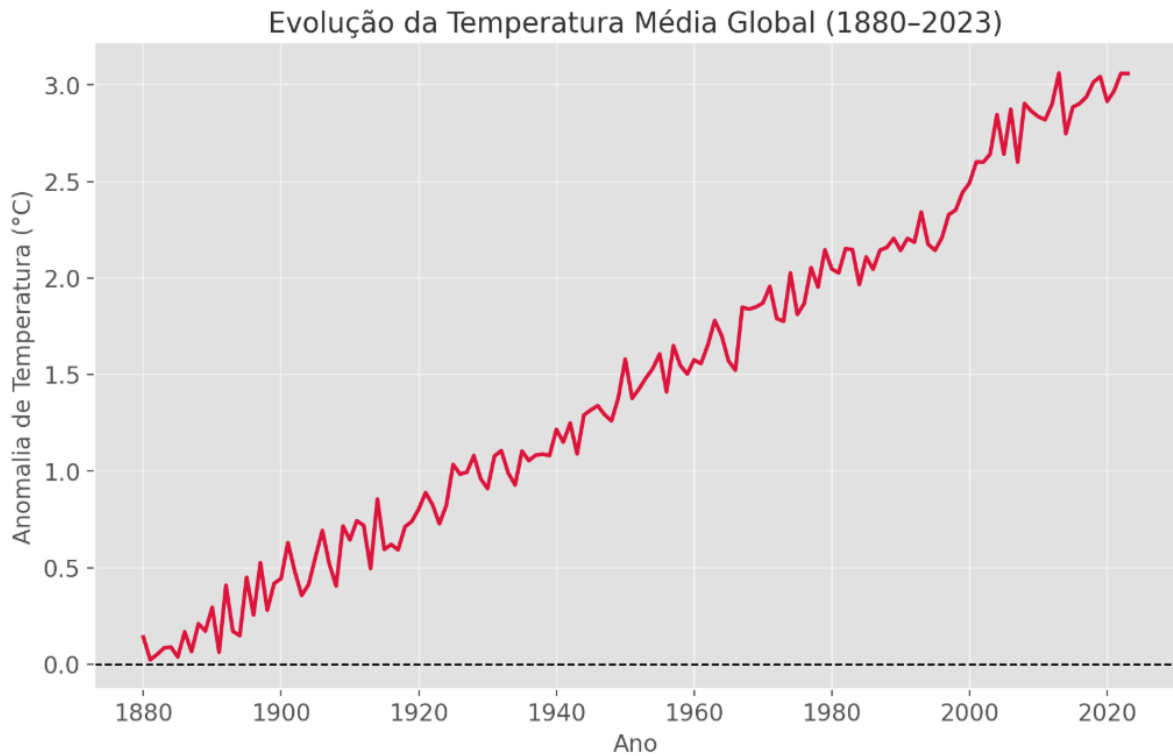
- III. Análise e categorização das informações: Os estudos selecionados foram organizados e categorizados em quatro eixos temáticos principais: (i) sequestro de carbono e mitigação climática; (ii) conservação ambiental e serviços ecossistêmicos; (iii) produtividade sustentável e diversificação agrícola; e (iv) resiliência climática e impactos socioeconômicos. A análise crítica foi realizada com base em parâmetros como resultados quantitativos (ex.: toneladas de CO<sub>2</sub> sequestradas por hectare), contexto geográfico e ecológico dos estudos (ex.: biomas brasileiros como a Amazônia e o semiárido nordestino), e limitações metodológicas apontadas pelos próprios autores. Essa categorização permite uma síntese estruturada e facilita a identificação de padrões e discrepâncias na literatura (Torraco, 2005).
- IV. Síntese dos resultados e identificação de lacunas: A partir da análise, foi elaborada uma síntese dos principais achados, destacando as evidências científicas mais robustas sobre a eficiência dos SAFs na mitigação das mudanças climáticas e seus benefícios associados. Também foram identificadas lacunas de conhecimento, como a escassez de estudos sobre a implementação de SAFs em larga escala no semiárido brasileiro, e áreas que demandam mais pesquisas, como os impactos de longo prazo dos SAFs na economia rural (FAO, 2023). Essa etapa visa não apenas consolidar o conhecimento existente, mas também propor direções para futuras investigações que possam fortalecer a adoção de SAFs como prática agrícola

sustentável. Embora a revisão bibliográfica integrativa permita uma síntese ampla e fundamentada, ela apresenta limitações, como a dependência da qualidade e da disponibilidade dos estudos publicados. Além disso, a escassez de pesquisas em contextos específicos, como o semiárido nordestino, pode limitar a generalização dos resultados para todas as regiões do Brasil (Soares *et al.*, 2014). Tais limitações foram consideradas durante a análise, a fim de garantir a validade e a relevância das conclusões do trabalho.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas representam um dos fenômenos ambientais mais críticos e amplamente documentados pela ciência contemporânea. A principal manifestação desse processo é o aumento da temperatura média global, que tem ocorrido de maneira acelerada e contínua desde o início da era industrial. Embora o sistema climático da Terra tenha passado por flutuações naturais ao longo de milhões de anos, o atual padrão de aquecimento se destaca por sua rapidez e pela clara associação com as atividades humanas. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em seu Sexto Relatório de Avaliação (IPCC, 2021), afirma, com elevado grau de confiança, que o aquecimento observado nas últimas décadas é causado, predominantemente, pelo aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE), emitidos em larga escala a partir da queima de combustíveis fósseis, desmatamento, uso intensivo do solo e outras atividades antrópicas.

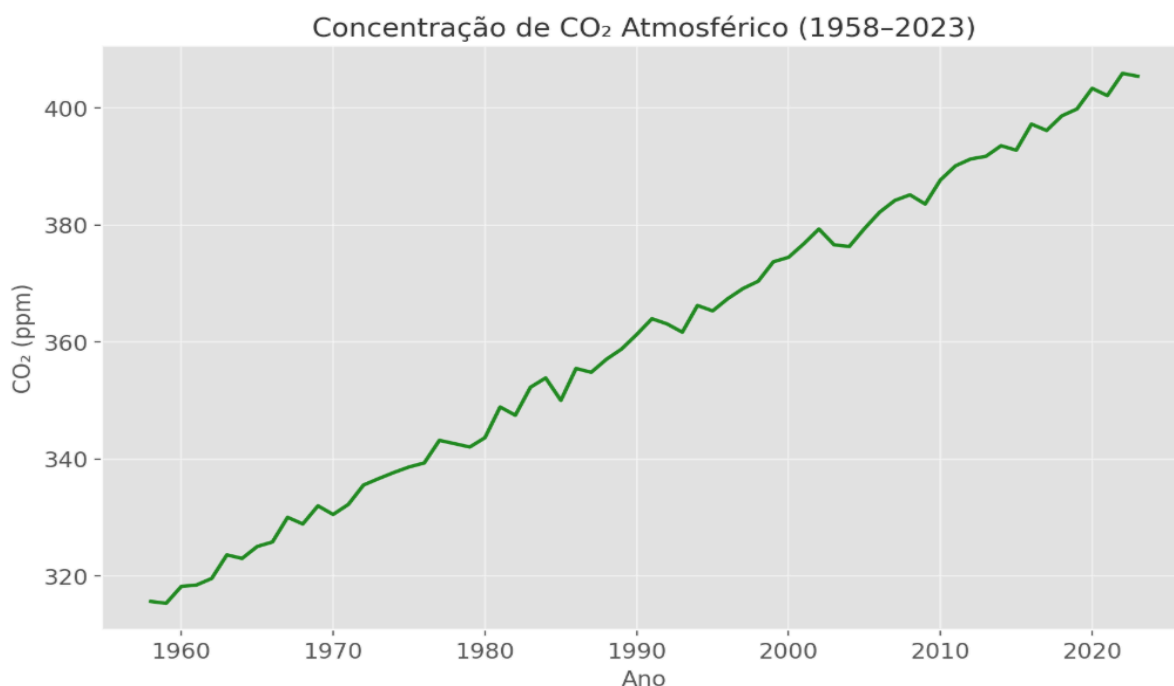
**Figura 1.** Evolução da anomalia da temperatura média global entre 1880 e 2023.

Fonte: adaptado de NASA (2023).

A Figura 1 evidencia a tendência de aquecimento constante da temperatura média global desde o final do século XIX. Nota-se um aumento mais acentuado a partir da segunda metade do século XX, em paralelo à intensificação das atividades industriais e à emissão de gases de efeito estufa. Esse padrão reforça o consenso científico de que as mudanças climáticas atuais possuem origem predominantemente antrópica, conforme indicado pelo IPCC (2021).

A concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o principal GEE, atingiu, em 2023, o valor recorde de 421 partes por milhão (ppm), conforme dados do Mauna Loa Observatory, superando significativamente os níveis pré-industriais, que eram de aproximadamente 280 ppm (NOAA, 2023). Comparações com registros paleoclimáticos, obtidos de núcleos de gelo da Antártida, indicam que a atmosfera terrestre não experimentava níveis tão altos de  $\text{CO}_2$  há pelo menos 800 mil anos (Lüthi *et al.*, 2008). Esse acúmulo de gases intensifica o efeito estufa, mecanismo natural que regula a temperatura do planeta, mas que, em excesso, provoca o desequilíbrio térmico global.

**Figura 2.** Concentração de dióxido de carbono atmosférico medida em Mauna Loa, Havaí, de 1958 a 2023.



Fonte: adaptado de NOAA (2023).

A elevação constante da concentração de dióxido de carbono atmosférico, desde 1958, é um dos principais indicadores da intensificação do efeito estufa. A ultrapassagem da marca de 420 ppm em 2023 representa um novo recorde na era observacional moderna, superando em muito os níveis históricos naturais. Essa escalada está diretamente associada à queima de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às mudanças no uso do solo.

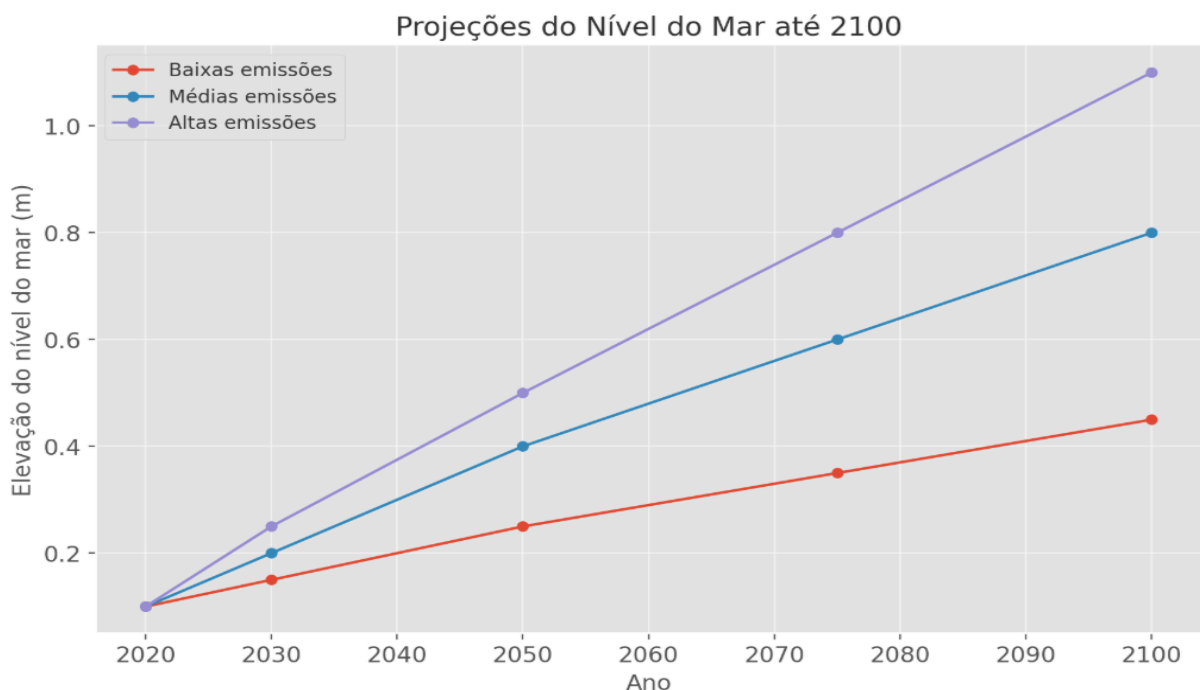
Conseqüentemente, a temperatura média da superfície terrestre aumentou cerca de 1,2 °C desde o final do século XIX, de acordo com dados da NASA (2023). Esse valor pode parecer modesto em termos absolutos, mas representa uma alteração profunda na estabilidade climática global. Tal aquecimento tem sido suficiente para amplificar eventos climáticos extremos, alterar padrões atmosféricos e provocar impactos de grande magnitude nos sistemas físicos e biológicos da Terra. O Serviço de Mudanças Climáticas Copernicus, da União Europeia, confirmou que o ano de 2023 foi o mais quente já registrado, com uma média de 1,48 °C acima dos níveis pré-industriais (Copernicus Climate Change Service, 2024).

O aquecimento global não se distribui de maneira uniforme no espaço. Regiões polares, em especial o Ártico, estão aquecendo a taxas até quatro vezes

superiores à média global — fenômeno conhecido como “amplificação ártica” (Serreze e Barry, 2011). Essa aceleração do aquecimento polar contribui significativamente para o derretimento das geleiras, da cobertura de neve sazonal e do permafrost, promovendo retroalimentações positivas que agravam ainda mais o processo de aquecimento. A perda de albedo, ou seja, da capacidade de reflexão da radiação solar, devido ao derretimento de superfícies brancas, faz com que mais calor seja absorvido pelos oceanos e terras expostas, intensificando o aquecimento regional e global.

O recuo acelerado das massas de gelo continentais também tem implicações diretas para o nível dos oceanos. Segundo Shepherd *et al.* (2020), a Groenlândia perdeu, entre 1992 e 2018, aproximadamente 3,8 trilhões de toneladas de gelo, contribuindo com cerca de 10,6 milímetros para a elevação global do nível do mar. A Antártida, por sua vez, perdeu cerca de 2,7 trilhões de toneladas no mesmo período. O IPCC (2019) estima que, caso as emissões de GEE se mantenham em trajetória ascendente, o nível médio do mar poderá subir entre 0,6 m e 1,1 m até 2100, afetando diretamente zonas costeiras e provocando a salinização de aquíferos e solos.

**Figura 3.** Projeções de elevação do nível médio do mar até 2100, segundo diferentes cenários de emissão.



Fonte: adaptado de IPCC (2019).

As projeções mostram diferentes trajetórias de elevação do nível do mar, dependendo do grau de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Mesmo em cenários de emissões moderadas, a elevação pode ultrapassar 0,8 metro até 2100, colocando em risco zonas costeiras e ecossistemas frágeis. Essa tendência reforça a urgência de ações climáticas globais para conter o avanço das mudanças climáticas e evitar impactos irreversíveis.

Além das geleiras, os oceanos absorvem mais de 90% do excesso de calor gerado pelo efeito estufa intensificado. Esse aquecimento dos oceanos não apenas contribui para a expansão térmica da água — um fator adicional na elevação do nível do mar — como também interfere na dinâmica das correntes marinhas e nos padrões climáticos globais (Cheng *et al.*, 2019). A elevação da temperatura oceânica está diretamente relacionada à intensificação de ciclones tropicais, alterações nos regimes de monções e impactos negativos sobre recifes de coral e ecossistemas marinhos sensíveis.

O ciclo hidrológico também sofre transformações substanciais em um planeta mais quente. A evaporação aumenta com a temperatura, intensificando a umidade do ar e, conseqüentemente, a intensidade de chuvas extremas. Ao mesmo tempo, a variabilidade climática pode agravar períodos de estiagem, especialmente em regiões semiáridas. Coumou e Rahmstorf (2012) demonstram, por meio de análises estatísticas, que o número de eventos climáticos extremos relacionados ao calor aumentou consideravelmente nas últimas décadas, sendo cada vez mais atribuídos às mudanças climáticas induzidas pelo ser humano.

Nos trópicos, onde a variabilidade climática natural já é elevada, os efeitos do aquecimento global tornam-se ainda mais evidentes. O Brasil, por exemplo, tem registrado uma frequência crescente de eventos extremos relacionados ao calor, como as sucessivas ondas de calor de 2023 e 2024, que quebraram recordes históricos de temperatura em diversas capitais. Conforme alertam Marengo (2024) e o IPCC (2023), sob o atual ritmo de aquecimento global, eventos como o de 2024 tendem a ocorrer com maior frequência e intensidade, ampliando os desafios para os sistemas de drenagem urbana, infraestrutura e gestão de riscos climáticos no Brasil. Em especial, a análise destaca que a influência humana já é mensurável na probabilidade e na gravidade de chuvas extremas no sul do país, indicando uma mudança de paradigma no entendimento dos desastres naturais recentes.

As projeções climáticas baseadas em modelos computacionais, como as do projeto CMIP6, indicam que, mesmo com ações mitigadoras imediatas, é provável que a temperatura média global ultrapasse a marca de 1,5 °C já na próxima década (IPCC, 2021). Se as emissões continuarem crescendo, o planeta poderá registrar aumentos de temperatura entre 2,4 °C e 4,4 °C até 2100, com consequências potencialmente irreversíveis para o sistema climático terrestre (IPCC, 2021).

Portanto, o aumento da temperatura global não é apenas uma tendência estatística observada nas últimas décadas, mas um processo sistêmico, cumulativo e intensificado por retroalimentações climáticas que afetam de forma integrada os oceanos, as geleiras, a atmosfera e a biosfera. Trata-se de um fenômeno multidimensional que desafia os limites da resiliência planetária e que, sem ações de mitigação efetivas e ambiciosas, pode levar a transições abruptas e não lineares no sistema climático da Terra (IPCC, 2021).

O avanço do aquecimento global também influencia significativamente os mecanismos de circulação atmosférica, afetando fenômenos como os jatos polares, a célula de Hadley e o El Niño–Oscilação Sul (ENSO). O deslocamento e o enfraquecimento das correntes de jato — ventos intensos em grandes altitudes que influenciam sistemas meteorológicos — têm sido associados ao aumento da temperatura nas regiões polares, especialmente no Ártico (Francis; Vavrus, 2015). Quando essas correntes se tornam mais sinuosas e lentas, criam padrões climáticos estacionários que favorecem a ocorrência de ondas de calor prolongadas, secas extremas ou chuvas intensas em determinadas regiões, como observado em eventos recentes na América do Norte e Europa (Jeong *et al.*, 2025; Tuel *et al.*, 2022; Rousi *et al.*, 2023).

O ENSO, por sua vez, é um sistema de variabilidade climática natural que regula parte do clima global, principalmente nos trópicos. No entanto, evidências recentes sugerem que o aquecimento dos oceanos pode alterar a frequência, intensidade e duração dos episódios de El Niño e La Niña, com consequências ainda não totalmente previsíveis, mas potencialmente devastadoras (Cai *et al.*, 2014). A intensificação desses eventos tende a amplificar padrões extremos de seca e chuva em diversos continentes, influenciando diretamente a segurança hídrica, a estabilidade de ecossistemas e a ocorrência de incêndios florestais de larga escala. Esse processo já é evidente no contexto brasileiro. A intensificação do aquecimento global desestabiliza os sistemas atmosféricos regionais, tornando os

eventos de precipitação mais imprevisíveis e extremos (Marengo, 2024). A atuação combinada do fenômeno El Niño com a elevação da temperatura superficial do Atlântico Sul ocidental criou um corredor de umidade direcionado ao estado, intensificando os volumes pluviométricos a níveis críticos (UFRGS, 2023). Tal fenômeno já havia sido previsto em parte por estudos climáticos anteriores, como os trabalhos de Marengo *et al.* (2016), que alertavam para a crescente exposição da região Sul do Brasil a eventos extremos de precipitação como parte da nova realidade climática global.

Outro elemento-chave na dinâmica do aquecimento global é o feedback climático positivo. Esses mecanismos são processos que, uma vez iniciados, reforçam o aquecimento em curso, tornando-o mais difícil de reverter. Um exemplo notório é o degelo do permafrost — solos permanentemente congelados nas regiões árticas — que, ao descongelarem, liberam grandes quantidades de metano, um gás com potencial de aquecimento global 84 vezes maior que o CO<sub>2</sub> em um horizonte de 20 anos (Schuur *et al.*, 2015). Esse fenômeno representa uma das principais ameaças latentes no contexto das mudanças climáticas, pois sua liberação massiva poderia acelerar abruptamente o ritmo do aquecimento global.

Do ponto de vista da física do sistema climático, a relação entre a concentração de gases de efeito estufa e a resposta térmica do planeta é descrita pelo conceito de sensibilidade climática. Trata-se da estimativa de quanto a temperatura global aumentará em equilíbrio após uma duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. O valor médio aceito atualmente gira em torno de 3 °C, com intervalo provável entre 2,5 e 4 °C, de acordo com meta-análises de modelos climáticos e registros paleoclimáticos (Sherwood *et al.*, 2023). Esse intervalo, embora pareça modesto, implica diferenças marcantes nos impactos globais. Um mundo 2 °C mais quente, por exemplo, teria frequência de ondas de calor intensas dobrada, enquanto um aquecimento de 4 °C levaria a mudanças potencialmente catastróficas na habitabilidade de vastas regiões tropicais e subtropicais.

As zonas de transição climática, como a Amazônia, o Cerrado e a Caatinga, mostram sinais precoces de alteração estrutural em função do aumento da temperatura. Estudos apontam que a floresta amazônica pode estar se aproximando de um ponto de inflexão ecológico, a partir do qual a perda de cobertura vegetal e a elevação térmica comprometeriam sua capacidade de autorregulação climática, levando à transição para um ecossistema de savana degradada (Lovejoy; Nobre,

2018). Essa mudança, caso confirmada, teria repercussões planetárias, uma vez que a Amazônia atua como um dos principais sumidouros de carbono da Terra, além de influenciar a circulação atmosférica e o ciclo hidrológico de toda a América do Sul (Lovejoy; Nobre, 2018)

A influência das mudanças climáticas no comportamento das chuvas também merece destaque. A intensificação da precipitação extrema, já observada em diversas partes do mundo, está relacionada à maior capacidade da atmosfera de reter vapor d'água em ambientes mais quentes — cerca de 7% a mais por cada grau Celsius adicional, conforme a equação de Clausius-Clapeyron (Trenberth, 2011). Isso significa que tempestades tornam-se mais intensas, com volumes de chuva maiores em períodos mais curtos, o que favorece alagamentos, deslizamentos de terra e a erosão dos solos. Por outro lado, períodos secos também se tornam mais pronunciados em algumas regiões, agravando desertificações e colapsos hídricos sazonais.

O aumento da temperatura global representa uma mudança sistêmica na estrutura e no funcionamento do planeta Terra. Suas consequências ultrapassam o domínio da climatologia pura, impactando diretamente a estabilidade de componentes essenciais do sistema terrestre, como a criosfera, a atmosfera, os oceanos e a biosfera. As evidências científicas acumuladas ao longo das últimas décadas são robustas, convergentes e indicam que, sem uma redução rápida e substancial das emissões de gases de efeito estufa, o aquecimento continuará a progredir, superando os limites de resiliência de diversos ecossistemas e ameaçando o equilíbrio climático global (IPCC, 2021)

O aquecimento global não apenas intensifica processos já existentes no sistema climático, mas também desencadeia transformações inéditas em sua história recente. Um aspecto de destaque nesse contexto é o impacto sobre o ciclo do carbono, fundamental para a regulação do clima planetário. À medida que a temperatura global aumenta, observa-se uma redução da eficiência dos sumidouros naturais de carbono, como florestas e oceanos. As florestas tropicais, em especial, passam a emitir mais carbono do que absorvem durante eventos extremos de calor e seca prolongada, revertendo seu papel tradicional de mitigadoras para amplificadoras do aquecimento (Gatti *et al.*, 2021).

Esta perda de estabilidade ocorre porque o estresse térmico e hídrico compromete a fotossíntese, acelera a decomposição da matéria orgânica no solo e

favorece incêndios florestais, todos processos que liberam CO<sub>2</sub> na atmosfera. Estudos sistematizados por Freitas (2006) mostram que a intensificação do desmatamento e da degradação ambiental na Amazônia compromete o balanço de carbono do bioma. Em regiões da Amazônia oriental, o avanço das atividades predatórias entre 2010 e 2020 já sinalizava uma transição funcional, na qual áreas florestais deixavam de atuar como sumidouros de carbono e passavam a emitir mais do que absorver, impactando o equilíbrio climático regional e global. Esse fenômeno é agravado por mudanças no uso do solo e pela fragmentação da cobertura vegetal, que tornam os ecossistemas mais vulneráveis ao calor e menos resilientes frente a eventos extremos.

Nos oceanos, o cenário não é menos preocupante. Apesar de ainda absorverem cerca de 25% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, as águas oceânicas vêm se aquecendo e se tornando progressivamente mais ácidas devido à absorção contínua de dióxido de carbono (IPCC, 2019). Essa acidificação compromete a calcificação de organismos marinhos como corais, moluscos e plânctons calcários, prejudicando cadeias alimentares inteiras. A diminuição da solubilidade do CO<sub>2</sub> em águas mais quentes também reduz a eficiência dos oceanos como sumidouros de carbono, provocando uma retroalimentação que contribui ainda mais para a intensificação do efeito estufa (Sabine *et al.*, 2004).

As consequências do aquecimento sobre os ciclos hidrológicos globais também merecem atenção especial. Com o aumento da temperatura média, intensifica-se a evapotranspiração em áreas vegetadas, ao passo que os padrões de precipitação se tornam mais erráticos e concentrados. Esse desequilíbrio é visível nas alterações nos regimes dos rios Amazonas e São Francisco, que apresentam variações de vazão associadas ao aumento da variabilidade climática e às mudanças no regime de chuvas, com secas prolongadas intercaladas por enchentes severas em ciclos mais curtos (Marengo, 2024). Além disso, observa-se maior concentração do volume de precipitação em menos dias e prolongamento dos períodos secos na região Norte, característica de um clima mais quente e instável (Marengo, 2024).

Além disso, o aquecimento da superfície terrestre afeta diretamente a estabilidade de sistemas montanhosos e regiões de alta altitude. As geleiras tropicais, como as da Cordilheira dos Andes, estão em acelerado processo de retração. Estudos realizados por Thompson *et al.* (2013) com registros de núcleos

de gelo do glaciário Quelccaya, no Peru, indicam uma perda significativa de massa de gelo ao longo das últimas décadas, evidenciando o impacto das mudanças climáticas em áreas tropicais de alta altitude. Esse degelo progressivo representa uma ameaça crescente à disponibilidade de água em regiões andinas dependentes da regularidade das geleiras para abastecimento. Esse derretimento compromete a disponibilidade hídrica de milhões de pessoas que dependem dessas geleiras para abastecimento de água, irrigação e geração de energia hidrelétrica, configurando mais um impacto direto da elevação das temperaturas globais.

Outra evidência contundente do aquecimento é o aumento da frequência e intensidade das ondas de calor. Esses eventos, caracterizados por temperaturas extremamente elevadas durante vários dias consecutivos, são hoje significativamente mais prováveis devido à ação humana. Estudos probabilísticos indicam que a onda de calor registrada na América do Norte em 2021, com temperaturas superiores a 49 °C no Canadá, teria sido “virtualmente impossível” sem a influência das mudanças climáticas antrópicas (Philip *et al.*, 2021). As ondas de calor têm implicações diretas sobre a saúde humana, a produtividade agrícola, o funcionamento de infraestruturas urbanas e a biodiversidade.

É igualmente preocupante a aceleração de eventos compostos, ou seja, a ocorrência simultânea ou em sequência de múltiplos extremos climáticos. Um exemplo é a combinação de calor extremo, seca prolongada e incêndios florestais, frequentemente observada no oeste dos Estados Unidos, na Austrália e, mais recentemente, em áreas do Pantanal e da Amazônia brasileira. Esses eventos compostos representam um desafio crescente para a ciência climática e para a formulação de políticas de adaptação, já que seus impactos são cumulativos e frequentemente superam a capacidade de resiliência dos ecossistemas e das sociedades (IPCC, 2021; Marengo, 2024).

Em escala global, os modelos climáticos continuam a refinar suas projeções e alertam que as trajetórias atuais de emissão são incompatíveis com os compromissos firmados no Acordo de Paris. A meta de limitar o aquecimento global a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, como definido pelo Acordo de Paris, já foi tecnicamente ultrapassada. Segundo o *Copernicus Climate Change Service* (2025), 2024 foi o primeiro ano em que a temperatura média global anual superou 1,5 °C, atingindo 1,60 °C acima da média do período pré-industrial (1850–1900), com 11 dos 12 meses registrando temperaturas mensais superiores a esse limite. O

climatologista Carlos Nobre (2025) reforça esse alerta ao afirmar que “já atingimos essa temperatura, com alguns meses registrando picos de até 1,6 °C”, destacando que os cenários previstos para 2030 foram antecipados em pelo menos seis anos. Ainda que esse valor anual isolado não configure a ultrapassagem permanente do limite estabelecido pelo Acordo de Paris (que considera médias móveis de 20 anos), ele representa um importante marco simbólico e científico da aceleração do aquecimento global. De acordo com o IPCC (2023), um aumento de 2 °C — em vez de limitar a 1,5 °C — dobraria a perda de habitat adequado para espécies animais e vegetais, aumentaria significativamente a frequência de eventos extremos em regiões costeiras e colocaria ecossistemas como os recifes de coral sob risco substancial de colapso.

Essas evidências apontam para um cenário em que o aquecimento global não é mais apenas uma projeção científica, mas uma realidade mensurável e em aceleração. A temperatura da Terra está em trajetória ascendente, e os impactos desse aquecimento se fazem sentir em todos os componentes do sistema climático. Entender as bases científicas desse fenômeno é fundamental para embasar decisões técnicas e políticas que busquem mitigar seus efeitos e preservar a estabilidade climática global nas próximas décadas (IPCC, 2023; NASA, 2023).

No contexto das mudanças climáticas, um dos conceitos mais críticos é o de pontos de não retorno (*tipping points*), que representam limiares além dos quais certas alterações no sistema climático se tornam irreversíveis em escalas de tempo humanas, mesmo que as emissões de gases de efeito estufa sejam posteriormente reduzidas. Esses pontos marcam transições abruptas em componentes-chave do sistema terrestre, que ao serem ultrapassados, iniciam processos autônomos de mudança, intensificando ainda mais o aquecimento global (Lenton *et al.*, 2019).

Entre os principais *tipping points* identificados pela literatura científica estão o colapso da camada de gelo da Groenlândia e da Antártica Ocidental, a savanização da Amazônia, o descongelamento do *permafrost* do Ártico e o enfraquecimento da circulação meridional do Atlântico (AMOC). A Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (AMOC), responsável por transportar calor do equador para altas latitudes, encontra-se em seu ponto mais fraco em milênios e caminha em direção a um possível ponto de não retorno (FAPESP, 2024; Van Westen *et al.*, 2024). Seu colapso, embora incerto quanto ao momento exato, poderia provocar um resfriamento significativo no norte da Europa, intensificar secas no Sahel africano e

aumentar as chuvas em partes tropicais da América do Sul (IPCC, 2023). Estudo recente mostra que esse colapso também teria implicações diretas na floresta amazônica: em um primeiro momento, poderia retardar o processo de savanização na porção oriental da Amazônia, mas apenas temporariamente, postergando seus efeitos mais severos para a década de 2050 (Nian *et al.*, 2023). Essa relação direta entre o Atlântico Norte e a estabilidade do bioma amazônico reforça a interconexão crítica entre os sistemas climáticos oceânicos e continentais. Estudos recentes sugerem que essa circulação já está enfraquecida e pode se aproximar de um colapso ainda neste século, com implicações globais graves e potencialmente irreversíveis (Boers, 2021).

No caso do Brasil e da América do Sul, um dos pontos de inflexão mais preocupantes é a integridade funcional da Floresta Amazônica. Pesquisas indicam que, caso o desmatamento ultrapasse 20% a 25% da área original da floresta, combinado ao aumento da temperatura e à redução da precipitação, o bioma poderá colapsar, transformando-se em uma vegetação mais seca e menos diversa, com capacidade muito inferior de armazenar carbono (Lovejoy; Nobre, 2018). Esse cenário resultaria não apenas na emissão de bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, mas também na reconfiguração do regime hidrológico de toda a América do Sul, afetando o ciclo das chuvas que abastece regiões agrícolas do Brasil, da Argentina e do Paraguai.

A análise de projeções climáticas futuras, com base em modelos do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), indica que o mundo está atualmente em uma trajetória que pode levar a aumentos de temperatura de até 2,7 °C a 3,5 °C até o final do século, caso as emissões continuem nos níveis atuais (Hausfather; Peters, 2020). Mesmo cenários considerados moderados, como os SSP2-4.5, apontam para um aumento médio de 2,1 °C até 2100. Esse aquecimento, embora inferior aos cenários extremos, já seria suficiente para alterar drasticamente o funcionamento dos ecossistemas terrestres, aumentar o nível do mar em mais de 50 cm, e expor centenas de milhões de pessoas a ondas de calor letais.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) reforça que cada décimo de grau adicional implica em impactos desproporcionais, e que limitar o aquecimento a 1,5 °C representa um desafio técnico e político sem precedentes — especialmente agora que esse limite já foi temporariamente ultrapassado em 2024, conforme alertado por centros meteorológicos globais

(Copernicus, 2025; MCTI, 2025; Nobre, 2025). Embora esse valor ainda não configure uma ultrapassagem definitiva segundo os critérios do Acordo de Paris, a tendência é de aproximação irreversível. A janela de oportunidade para evitar as consequências mais severas está rapidamente se fechando. Para manter a meta de 1,5 °C como referência viável, seria necessário reduzir as emissões globais em pelo menos 45% até 2030 e atingir emissões líquidas zero até meados do século — metas que exigem transformações profundas nos sistemas energéticos, industriais e de uso da terra.

O Brasil, embora seja um dos países com matriz energética relativamente mais limpa em comparação global, com cerca de 45% da sua matriz primária composta por fontes renováveis — frente a uma média global de aproximadamente 15% — ainda enfrenta desafios importantes em setores como transporte e uso de combustíveis fósseis (IEA, 2023; MME, 2023)., enfrenta vulnerabilidades consideráveis frente ao aquecimento. Nos últimos anos, tem-se observado um aumento consistente da ocorrência de ondas de calor no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, associadas ao aquecimento global e à variabilidade climática regional. Esses eventos têm provocado impactos significativos na saúde pública e na agricultura (Silva *et al.*, 2022).

Eventos extremos como ondas de calor já não são exceções, mas tendências em ascensão no Brasil, com projeções de aumento significativo de sua frequência até o final do século, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Silva *et al.*, 2022; IPCC, 2021). Esse aumento de temperatura traz impactos diretos para a agricultura nacional, como queda de produtividade em cultivos estratégicos como soja, milho e café, além de intensificar o risco de estresse hídrico e incêndios florestais descontrolados, especialmente no Cerrado e na Amazônia (Pellegrino *et al.*, 2007; Marengo *et al.*, 2016).

Na Caatinga, o aumento das temperaturas e a redução da umidade do solo estão associados à intensificação de processos de degradação ambiental e desertificação, com impactos diretos na biodiversidade e nos meios de subsistência das populações locais (Marengo, 2024). No Sul do Brasil, eventos como enchentes e ciclones extratropicais têm ocorrido com maior frequência e intensidade, sobrecarregando a capacidade de resposta das cidades e provocando danos sociais e econômicos significativos (Santos *et al.*, 2024; Marengo, 2024).

Diante desse cenário, torna-se evidente que o aumento da temperatura global e as mudanças climáticas associadas não representam um risco abstrato ou futuro, mas um processo já em curso, com manifestações concretas e mensuráveis (IPCC, 2023). A ciência climática tem avançado significativamente na modelagem desses fenômenos, oferecendo diagnósticos detalhados e previsões robustas (IPCC, 2021; IPCC, 2023). No entanto, os dados por si só não bastam: compreender a gravidade do problema exige reconhecer que as mudanças climáticas não seguem uma progressão linear, mas sim não-linear, com potencial de colapsos abruptos e efeitos dominó, sobretudo quando os diferentes sistemas em risco estão interconectados (Lenton *et al.*, 2019; Boers, 2021; Nian *et al.*, 2023).

Um exemplo emblemático e recente das consequências do aquecimento global e da intensificação dos eventos extremos foi a série de enchentes devastadoras que atingiu o estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, durante o primeiro semestre de 2024. As enchentes registradas recentemente no Sul do Brasil ilustram como as mudanças climáticas globais estão exacerbando padrões meteorológicos regionais e colocando populações inteiras em situação de vulnerabilidade. Em alguns casos, os acumulados pluviométricos registrados superaram amplamente a média histórica para o período, resultando em impactos sociais e econômicos severos (Santos *et al.*, 2024). A precipitação extrema resultou na elevação significativa do nível do Lago Guaíba em Porto Alegre, provocando impactos superiores aos registrados em enchentes históricas e evidenciando a vulnerabilidade das cidades a eventos extremos (Santos *et al.*, 2024).

Além dos danos imediatos provocados pelas chuvas, as enchentes de 2024 desencadearam uma série de impactos indiretos sobre o funcionamento do estado. Hospitais foram evacuados, rodovias permaneceram submersas por semanas, o abastecimento de água potável foi interrompido em dezenas de municípios, e sistemas de telecomunicações colapsaram. A infraestrutura crítica, como estações de tratamento de esgoto e redes de energia elétrica, foi severamente comprometida, revelando um nível de vulnerabilidade incompatível com os desafios impostos pelas mudanças climáticas (CEMADEN, 2025). O Relatório de Situação de Desastres da ONU-Brasil (2024) classificou o evento como um "desastre climático induzido", enfatizando que, embora tenha sido desencadeado por fenômenos naturais, sua magnitude foi amplificada pelas ações humanas — tanto em termos de emissões globais quanto de negligência em políticas de prevenção e adaptação. Essa

magnitude de inundação está associada à confluência de fatores meteorológicos como bloqueios atmosféricos persistentes, frentes frias estacionárias e transporte anômalo de umidade da Amazônia, fenômenos cuja frequência tende a aumentar em um clima mais aquecido (Marengo, 2024; IPCC, 2021).

De acordo com análises do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2024), esses padrões climáticos extremos estão cada vez mais associados à amplificação da variabilidade climática induzida pelo aquecimento global. A elevação da temperatura média atmosférica aumenta a capacidade de retenção de vapor d'água do ar — cerca de 7% por cada grau Celsius, segundo a equação de Clausius-Clapeyron — o que, por sua vez, eleva a probabilidade de chuvas intensas e concentradas em curtos intervalos de tempo (Trenberth, 2011). Nesse cenário, eventos que antes ocorriam uma vez a cada cem anos passam a ser esperados com maior frequência (CEMADEN, 2024). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) alerta que, mesmo em cenários de mitigação moderada, a frequência de eventos de precipitação extrema tende a dobrar em grande parte da América do Sul até o final do século.

As enchentes no Sul do Brasil têm sido associadas à atuação de El Niños intensos, que elevam as temperaturas do Pacífico equatorial central e impactam os regimes de chuva no Cone Sul, aumentando o risco de inundações severas (Marengo, 2024). No entanto, o que distingue o evento de 2024 de ocorrências anteriores é a sinergia entre os efeitos naturais do El Niño e o pano de fundo de aquecimento global, que já elevou a temperatura média do planeta em aproximadamente 1,2 °C desde o período pré-industrial (IPCC, 2021).

Estudos conduzidos pela NASA, em parceria com o Jet Propulsion Laboratory, utilizando sensores remotos de radar e altimetria via satélite, confirmaram que, em várias áreas urbanas da Região Metropolitana de Porto Alegre, a profundidade da lâmina d'água ultrapassou 5 metros durante as enchentes de 2024, resultando em impactos severos na infraestrutura urbana e na segurança das populações locais (NASA EARTH OBSERVATORY, 2024).

O impacto humano e material foi devastador. Mais de 2 milhões de pessoas foram afetadas diretamente, segundo a Defesa Civil do estado, com milhares de desabrigados, centenas de municípios em situação de emergência, interrupção em serviços essenciais como fornecimento de energia e água, e prejuízos econômicos

estimados em bilhões de reais (DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL, 2024; Simoes-Sousa, 2025).

A Bacia Hidrográfica do Guaíba tem apresentado uma crescente frequência e intensidade de eventos de cheia nas últimas décadas, fenômeno atribuído à intensificação de extremos climáticos e à ocupação urbana desordenada. Estudos demonstram que a impermeabilização do solo nas áreas urbanas da região metropolitana de Porto Alegre tem elevado significativamente o escoamento superficial e, com isso, a vulnerabilidade a inundações (Sirangelo, 2014; Vaz, 2015). A ausência de sistemas de drenagem urbana adaptados às novas condições climáticas contribui para a amplificação desses eventos, exigindo uma reestruturação do planejamento hidrológico regional (Schneider, 2017; Bueno, 2022).

Esses dados reforçam as conclusões de diversos trabalhos publicados em revistas científicas internacionais, como *Nature Climate Change* e *Environmental Research Letters*, que vêm documentando a intensificação das chuvas extremas na América do Sul em função do aquecimento global (Coumou; Rahmstorf, 2012; Francis; Vavrus, 2015). Um estudo de Diffenbaugh e Field (2013) mostra que a maior parte dos extremos hidrometeorológicos recentes, como secas intensas e inundações súbitas, já apresenta sinais claros de intensificação causados pelas mudanças climáticas. Em um mundo onde a temperatura média global continue a subir, eventos como o de 2024 tendem não apenas a se repetir, mas a ocorrer com intensidade e abrangência ainda maiores, desafiando a capacidade adaptativa das infraestruturas públicas e dos sistemas de alerta e resposta a desastres.

As enchentes no Rio Grande do Sul, portanto, não podem ser interpretadas como um fenômeno isolado ou acidental, mas como um sintoma evidente de um planeta em rápida transformação. Elas ilustram, de maneira trágica e concreta, os riscos de ultrapassagem dos limites planetários associados ao ciclo hidrológico, e a urgência de integrar o conhecimento científico às políticas públicas de mitigação e adaptação climática. Tais eventos não são apenas previsíveis: são cientificamente esperados. A inação diante desse cenário poderá resultar em desastres com impactos cada vez mais desestabilizadores, tanto para as sociedades humanas quanto para os sistemas ecológicos dos quais dependemos.

No caso das enchentes históricas que assolaram o Rio Grande do Sul em 2024, os efeitos concretos dessa inação tornaram-se inescapáveis. A crise revelou não apenas a força de uma nova configuração climática regional, mas também as

deficiências estruturais acumuladas ao longo de décadas, que se tornaram absolutamente insuficientes frente à nova escala dos fenômenos meteorológicos. A ausência de políticas públicas voltadas para a adaptação à variabilidade climática extrema, associada à precariedade da gestão de risco e planejamento urbano, resultou na exposição direta de mais de 2,3 milhões de pessoas aos efeitos das cheias, conforme dados do Relatório Integrado da Defesa Civil do Estado e da Os eventos hidrológicos extremos registrados em 2024 romperam os padrões históricos de cheia na Bacia do Guaíba, tradicionalmente marcados por inundações episódicas com certa previsibilidade. Segundo Vaz (2015), há evidências de que a magnitude e a frequência das inundações na região têm aumentado significativamente, com impactos expressivos sobre a infraestrutura urbana. Estudos anteriores já apontavam que a morfometria das sub-bacias e a degradação ambiental contribuíam para um padrão de recorrência crescente dos eventos extremos, potencializando os danos e reduzindo a capacidade de resposta das comunidades locais (Toniolo, 2016; Ivanoff, 2020).

Modelos climáticos indicam que, mesmo em cenários intermediários de emissões, a probabilidade de eventos extremos como enchentes severas poderá aumentar significativamente nas próximas décadas no Sul do Brasil, reforçando a necessidade de estratégias de adaptação e mitigação (Marengo, 2024). A conjunção entre a saturação da bacia hidrográfica por chuvas persistentes, a elevação das temperaturas médias regionais e o bloqueio atmosférico que impediu a dispersão das frentes frias configurou uma tempestade quase perfeita, cujos efeitos foram amplificados pelo colapso dos sistemas de contenção, como diques e comportas, já fragilizados por décadas de subfinanciamento e negligência (Cemaden, 2024).

Do ponto de vista climático, o Rio Grande do Sul está situado em uma zona de transição climática, influenciada pela interação entre massas de ar tropicais continentais e sistemas frontais de origem polar, o que o torna particularmente suscetível a instabilidades climáticas decorrentes de alterações na circulação atmosférica (Escobar, 2019).

A evidência científica é clara: a crise climática está materializada não apenas nos dados, mas nas vidas desestruturadas, nas cidades submersas e nas economias paralisadas por catástrofes que já não podem mais ser tratadas como exceções. O Rio Grande do Sul tornou-se, em 2024, um laboratório trágico da era do Antropoceno, revelando o grau de transformação que a Terra já experimenta

(Schwartz, 2024; De Carli; Conter; Proto, 2024; Ortigara; Terassi, 2024). O futuro climático do Brasil — e do mundo — está sendo moldado agora, à luz de evidências que não apenas apontam para uma trajetória perigosa, mas exigem respostas rápidas, sistemáticas e embasadas na ciência.

## 5.2. SAFS

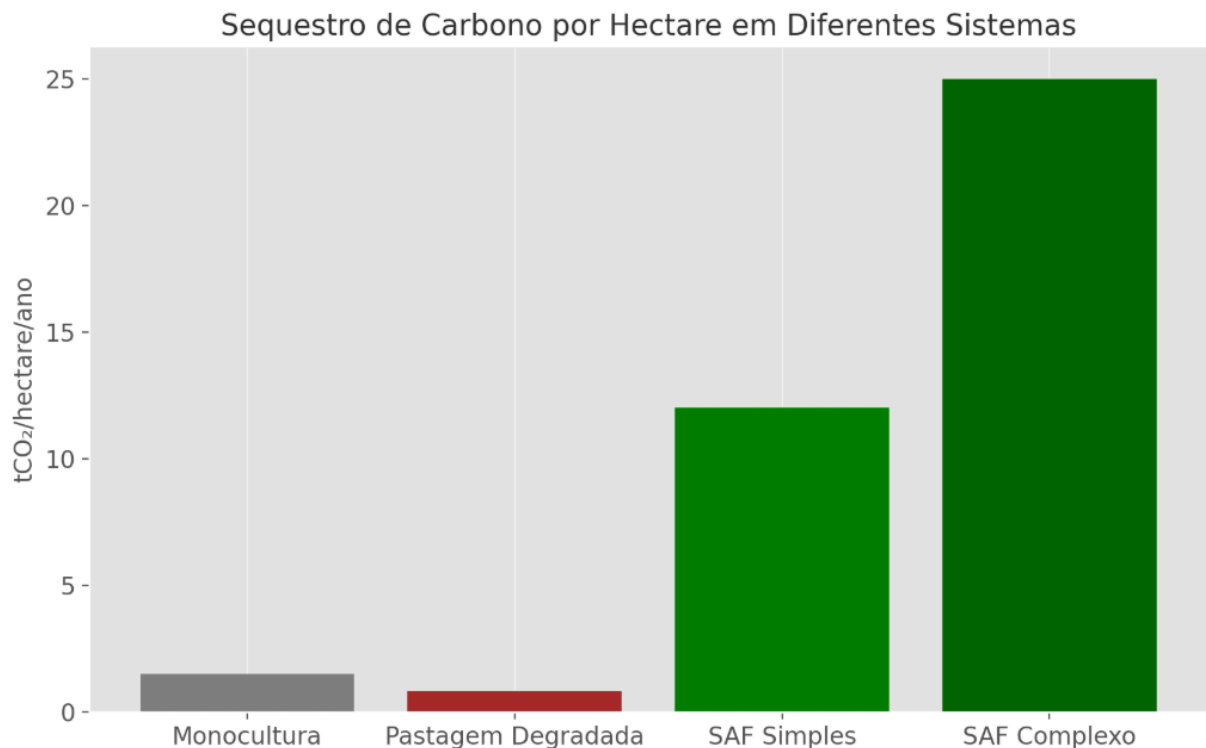
Diante do agravamento progressivo das mudanças climáticas e da intensificação de eventos climáticos extremos impulsionados pelo aquecimento global, torna-se imperativo o desenvolvimento e a implementação de estratégias integradas que promovam, simultaneamente, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação aos novos regimes climáticos e a regeneração dos serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) emergem como uma abordagem cientificamente respaldada de uso sustentável da terra, capaz de conciliar produção agrícola com conservação ambiental. A literatura científica têm acumulado evidências sobre o papel dos SAFs na redução do aquecimento global, destacando sua capacidade de sequestrar carbono, restaurar ciclos hidrológicos, reduzir a temperatura local e regional e aumentar a resiliência dos sistemas produtivos frente à variabilidade climática (Montes-Londoño; Nair, 2004). Um exemplo é o estudo de Kumar e Nair (2011), que estimam que SAFs bem estruturados podem sequestrar mais de 25 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare/ano em regiões tropicais.

A base conceitual dos sistemas agroflorestais repousa na combinação intencional, funcional e espacial de árvores, cultivos agrícolas e, em muitos casos, animais, formando arranjos ecológicos que mimetizam as dinâmicas dos ecossistemas não antropizados. Diferente de sistemas agrícolas convencionais — caracterizados pela homogeneização, degradação do solo e elevada dependência de insumos externos (Montes-Londoño; Nair, 2004; Kumar; Nair, 2011).— os SAFs promovem a biodiversidade funcional, favorecem a ciclagem de nutrientes e proporcionam microclimas mais estáveis, o que os torna particularmente eficazes no enfrentamento do aumento da temperatura global. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2017), os sistemas agroflorestais podem sequestrar entre 1,1 e 2,6 toneladas de carbono por hectare por ano, dependendo da estrutura e da composição florística utilizada,

superando significativamente os sistemas agrícolas convencionais de base monocultural.

Além disso, os SAFs são uma estratégia eficaz no sequestro de carbono, já que as árvores contribuem significativamente para a absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera. O carbono é armazenado tanto na biomassa das árvores quanto no solo, onde pode ser armazenado por longos períodos, ajudando a reduzir as concentrações de gases de efeito estufa. O sequestro de carbono promovido pelos Sistemas Agroflorestais (SAFs) representa uma estratégia promissora para mitigar as mudanças climáticas. Isso ocorre porque tais sistemas melhoram a cobertura vegetal, aumentam a matéria orgânica no solo e restauram áreas degradadas. Segundo Lal (2004), os solos manejados adequadamente podem representar um reservatório importante de carbono, com potencial para mitigar emissões e contribuir para a estabilidade climática global.

**Figura 4.** Comparação do sequestro de carbono em diferentes sistemas produtivos.



Fonte: adaptado de Kumar; Nair (2011).

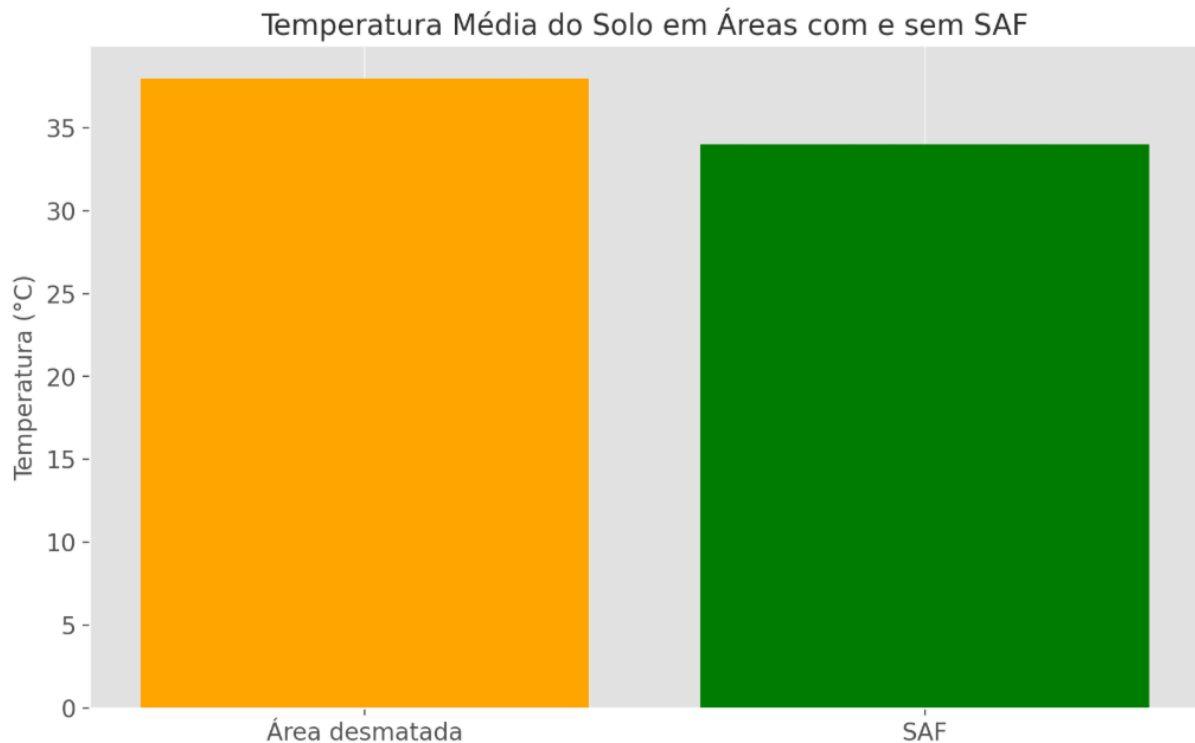
A comparação entre diferentes sistemas de uso da terra revela o papel estratégico dos sistemas agroflorestais (SAFs) no sequestro de carbono atmosférico. Enquanto pastagens degradadas e monoculturas apresentam baixa capacidade de

fixação de carbono, os SAFs demonstram elevado potencial de remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Sistemas simples podem sequestrar entre 10 e 15 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare/ano, ao passo que arranjos mais complexos — com espécies arbóreas estratificadas e culturas perenes — podem ultrapassar 25 toneladas por hectare/ano (Nair, 2010; Kumar; Nair, 2011). Essa eficiência está relacionada à maior densidade de biomassa, à presença de raízes profundas e ao acúmulo de matéria orgânica, como ilustrado na Figura 4. Assim, os SAFs se consolidam como sumidouros de carbono de longo prazo, alinhando-se às diretrizes do IPCC (2019) para limitar o aquecimento global.

Além da biomassa aérea e subterrânea, os SAFs também promovem o acúmulo significativo de carbono no solo — um dos principais reservatórios de carbono do planeta. Estudos como os de Souza *et al.* (2010) destacam que a deposição contínua de serapilheira e a ação das raízes profundas contribuem para a formação de agregados estáveis e o aumento da matéria orgânica do solo. Segundo dados do World Agroforestry Centre (ICRAF, 2020), solos sob manejo agroflorestal podem apresentar teores de carbono até 60% superiores em relação à agricultura convencional. Isso não apenas mitiga o efeito estufa, mas também aumenta a resiliência dos sistemas produtivos frente a secas e ondas de calor.

Outro aspecto fundamental dos sistemas agroflorestais é sua influência direta na regulação microclimática. A presença de estratos arbóreos modifica significativamente o balanço energético local, reduzindo a incidência direta de radiação solar sobre o solo, diminuindo a temperatura do ar e aumentando a umidade relativa, criando condições menos extremas para o desenvolvimento das plantas e maior conforto térmico para os animais e as comunidades humanas envolvidas. Estudo conduzido por Carlos *et al.* (2021), no oeste da Amazônia, demonstrou que sistemas com cobertura vegetal, como os agroflorestais, reduzem significativamente a temperatura superficial e aumentam a retenção de umidade no solo, mitigando os efeitos do estresse térmico causado pelo aquecimento regional. Essa regulação térmica é essencial para o desempenho ecológico e produtivo de áreas agrícolas em ambientes tropicais.

**Figura 5.** Temperatura média do solo em áreas desmatadas e em sistemas agroflorestais (SAFs).



Fonte: adaptado de Assis Júnior *et al.* (2002).

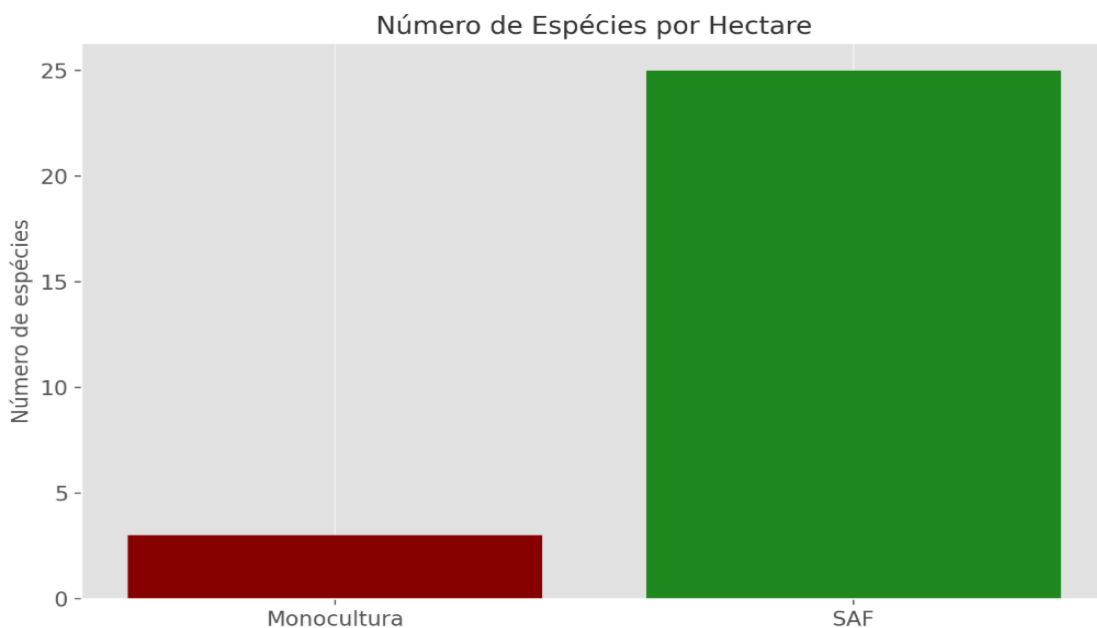
A variação da temperatura média do solo entre áreas desmatadas e áreas manejadas sob Sistemas Agroflorestais (SAFs) evidencia o papel regulador desses sistemas frente às alterações climáticas. Conforme ilustrado na Figura 5, os SAFs contribuem para a redução da radiação solar direta incidente no solo, promovida pelo sombreamento das copas arbóreas, o aumento da umidade relativa e a maior cobertura orgânica da superfície (Assis Júnior *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2010). Ressalta-se que os valores apresentados na figura possuem caráter ilustrativo, representando tendências gerais observadas nos estudos citados, e não dados extraídos diretamente dos experimentos originais. Assis Júnior *et al.* (2002) destacam que a presença de vegetação arbórea e matéria orgânica está associada a temperaturas mais amenas do solo, condições que favorecem a atividade microbiológica e a estabilidade térmica. Complementarmente, Souza *et al.* (2010) apontam que os SAFs promovem modificações microclimáticas que aumentam a resiliência dos agroecossistemas ao estresse térmico e hídrico.

Tais características tornam os sistemas agroflorestais alternativas sustentáveis para a regulação térmica de áreas agrícolas, atuando como

mecanismos mitigadores dos efeitos do aumento das temperaturas médias em cenários de mudança climática (IPCC, 2021; Carlos *et al.*, 2021).

Além disso, os SAFs exercem um papel decisivo na recomposição da cobertura vegetal e na reconexão de fragmentos florestais, o que tem implicações diretas na manutenção da biodiversidade e na funcionalidade dos corredores ecológicos, essenciais à migração de espécies em resposta às mudanças de temperatura e precipitação. Isso se mostra especialmente relevante em biomas altamente fragmentados, como a Mata Atlântica, onde a implantação de sistemas agroflorestais contribui tanto para a produção rural sustentável quanto para a restauração de paisagens em larga escala, conforme evidenciado por estudos de Sambuichi *et al.* (2022).

**Figura 6.** Comparação da diversidade de espécies vegetais entre monocultura e sistemas agroflorestais.



Fonte: adaptado de Costa e Pauletto (2023)

A diversidade de espécies vegetais é um dos principais diferenciais entre os Sistemas Agroflorestais (SAFs) e os modelos convencionais de monocultura. Enquanto os sistemas de monocultura frequentemente concentram-se em uma única espécie cultivada, com baixa variabilidade genética e funcional, os SAFs podem abrigar mais de 25 espécies vegetais por hectare, como evidenciado em estudos realizados em regiões tropicais brasileiras (Costa; Pauletto, 2021). Essa diversidade

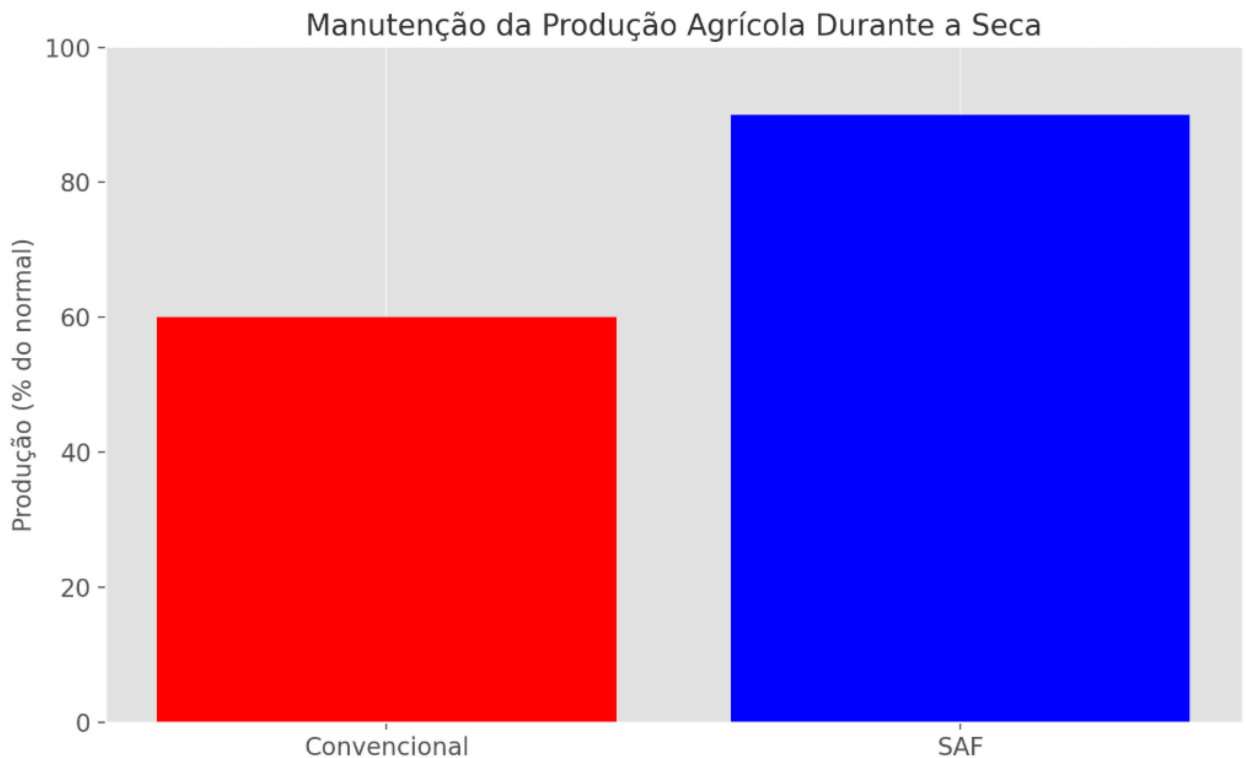
funcional favorece interações ecológicas essenciais, como a polinização, o controle biológico natural de pragas, a ciclagem de nutrientes e o aumento da resiliência ecológica frente a eventos climáticos extremos (Miccolis *et al.*, 2016).

Além dos benefícios ecológicos, a presença de múltiplas espécies permite a diversificação da produção agropecuária, possibilitando a colheita simultânea de alimentos, madeira, frutos nativos e plantas medicinais. Essa diversidade produtiva contribui diretamente para a segurança alimentar e para a geração de renda das famílias agricultoras (Altieri, 2012; Miccolis *et al.*, 2016). A Figura 6 ilustra essa diferença quantitativa entre os dois sistemas, com base em valores médios documentados em agroecossistemas tropicais da Amazônia brasileira.

Em termos climáticos, a expansão dos SAFs pode ser vista como uma estratégia de mitigação baseada na natureza (NbS – Nature-based Solutions), altamente custo-efetiva e alinhada com os compromissos do Acordo de Paris. Segundo o relatório Global Warming of 1.5°C, do IPCC (2018), soluções baseadas na natureza, como a agrofloresta, possuem potencial de fornecer até 37% da mitigação de emissões necessária até 2030 para manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C, sendo os SAFs uma das formas mais promissoras de uso do solo nesse contexto. Sua adoção também contribui para a redução da pressão sobre áreas de floresta primária, ao aumentar a produtividade de áreas já desmatadas, diminuindo o avanço da fronteira agropecuária sobre ecossistemas sensíveis.

A diversidade estrutural e funcional dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) cria condições ecológicas favoráveis à prestação de múltiplos serviços ambientais. Esses sistemas promovem nichos variados para insetos polinizadores e inimigos naturais de pragas, ao mesmo tempo em que melhoram o ciclo de nutrientes e estabilizam os fluxos hídricos e energéticos no solo. Como resultado, os SAFs tornam os agroecossistemas mais robustos frente à variabilidade climática e a eventos extremos, contribuindo para uma agricultura mais resiliente (Miccolis *et al.*, 2016).

**Figura 7.** Comparação da produtividade agrícola em cenários de seca entre agricultura convencional e sistemas agroflorestais.



Fonte: Adaptado de Centro Sabiá & Caatinga (2015). Sistemas Agroflorestais no Semiárido Brasileiro.

A capacidade dos sistemas agroflorestais (SAFs) de manter níveis consistentes de produtividade agrícola mesmo sob restrições hídricas reforça sua resiliência frente às mudanças climáticas. A estrutura multiestratificada desses sistemas cria microclimas sombreados e úmidos, reduzindo a evaporação e favorecendo a infiltração e retenção de água no solo (Centro Sabiá & Caatinga, 2015). Essa capacidade de regulação térmica e hídrica contribui para a estabilidade produtiva, especialmente importante em regiões sujeitas a estresse hídrico. A diversidade funcional dos SAFs — integrando espécies com diferentes ciclos e tolerâncias hídricas — permite maior continuidade na produção mesmo sob condições adversas, garantindo segurança alimentar para comunidades rurais (ICRAF, 2020; Carlos *et al.*, 2021).

Esse desempenho diferenciado é ilustrado na Figura 7, que compara a manutenção da produtividade agrícola entre sistemas convencionais e agroflorestais durante períodos de seca, evidenciando a superioridade dos SAFs em termos de estabilidade produtiva.

O Brasil, em especial, possui grande potencial para a ampliação dessas práticas, tanto pelo seu conhecimento tradicional associado à agricultura familiar, quanto pela diversidade de espécies nativas adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas (Altieri, 2012; Borba, 2023; Miccolis *et al.*, 2016; Sambuichi *et al.*, 2022; Almeida e Silva, 2022; MAPA, 2022). Iniciativas como o Projeto Reça, em Rondônia, ou os arranjos agroflorestais de cacau-cabruca no sul da Bahia, demonstram empiricamente que os SAFs são tecnicamente viáveis, economicamente rentáveis e ambientalmente indispensáveis à construção de uma agricultura adaptada às novas realidades climáticas (Centro Sabiá & Caatinga, 2015).

Assim, os sistemas agroflorestais representam uma síntese entre a produção agrícola e a conservação ambiental, oferecendo respostas concretas e cientificamente respaldadas às múltiplas dimensões da crise climática (Montes-Londoño, 2017; FAO, 2017; Nair, 2018). Seu potencial de mitigação, somado à capacidade de regenerar ecossistemas degradados, torna-os uma ferramenta central na construção de paisagens resilientes, multifuncionais e climaticamente estáveis, capazes de contribuir para a estabilização da temperatura global e a proteção dos limites planetários já em acelerado processo de transgressão (Miccolis *et al.*, 2016; Sambuichi *et al.*, 2022; IPCC, 2018).

Embora os sistemas agroflorestais sejam uma prática tradicional em diversas regiões, sua adoção em larga escala ainda enfrenta desafios significativos, tanto técnicos quanto sociais. Um dos principais entraves está na transição do modelo agrícola convencional, centrado na monocultura intensiva e no uso elevado de insumos químicos, para sistemas mais biodiversos e complexos, como os SAFs. Essa mudança exige reestruturação nas práticas agrícolas, capacitação dos agricultores, acesso a tecnologias apropriadas e reorganização dos canais de comercialização (Miccolis *et al.*, 2016; Sangalli; Padovan; Coelho-De-Souza, 2021; Alves; Freitas; Souza, 2024).

No entanto, uma análise de casos internacionais revela que, apesar desses desafios, a implementação de sistemas agroflorestais tem se mostrado exitosa, especialmente quando há apoio institucional e políticas públicas adequadas. Um exemplo notável é o caso da Agrofloresta de Cacau no Brasil, especificamente no estado da Bahia, onde comunidades locais adotaram práticas agroflorestais para melhorar a produção de cacau, ao mesmo tempo em que recuperavam áreas

degradadas e aumentavam a biodiversidade local. Esses sistemas, conhecidos como “cabruca”, combinam o cultivo de cacau com a preservação de espécies nativas da Mata Atlântica, resultando em benefícios tanto econômicos quanto ambientais (Souza *et al.*, 2019).

No cenário internacional, a Indonésia tem se destacado na implementação de sistemas agroflorestais no combate ao desmatamento e à degradação de solos. A adoção de SAFs em regiões de cultivo de café e palmeiras, que historicamente causaram sérios impactos ambientais, tem promovido a regeneração de ecossistemas e a melhoria da qualidade do solo, ao mesmo tempo em que oferece uma alternativa econômica para os agricultores (Gunawan *et al.*, 2017). A experiência da Indonésia mostra como políticas públicas focadas na transição para práticas sustentáveis, como a concessão de incentivos fiscais e a facilitação do acesso ao crédito rural, podem acelerar a adoção de SAFs em larga escala.

Além disso, o modelo de agrofloresta de teca e café em Costa Rica, apoiado por incentivos do governo e do setor privado, tem demonstrado como os SAFs podem ser uma solução eficaz para áreas de paisagens desmatadas, contribuindo simultaneamente para a conservação de recursos hídricos e para a geração de renda a partir da produção mista de madeira e produtos agrícolas (Zapata *et al.*, 2020). Nessa abordagem, o Estado desempenha um papel crucial ao fornecer apoio financeiro, assistência técnica e promover a conexão entre os pequenos produtores e os mercados de produtos sustentáveis, garantindo que a transição para sistemas agroflorestais seja economicamente viável.

A experiência internacional também evidencia que, para a implementação bem-sucedida dos SAFs, é imprescindível a integração das políticas públicas com as estratégias de conservação e desenvolvimento sustentável. No Brasil, por exemplo, programas como o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que incentiva a conservação de florestas e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, têm demonstrado serem ferramentas eficazes para estimular a implementação de SAFs. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o PSA tem sido uma importante estratégia para promover a recuperação de áreas degradadas e a adoção de práticas agroecológicas, como os SAFs, por pequenos e médios produtores rurais (MMA, 2021).

Apesar de seus benefícios comprovados, a expansão dos sistemas agroflorestais (SAFs) em larga escala ainda enfrenta obstáculos estruturais

consideráveis. Entre os principais entraves estão a escassez de crédito rural adaptado à realidade desses sistemas, a limitação de assistência técnica especializada e a ausência de canais consolidados para comercialização de produtos agroflorestais, como frutos nativos, sementes e madeira de manejo sustentável (Homma *et al.*, 2009; Pompeu, 2011). Essa fragilidade é agravada pela desarticulação entre políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável e a conservação ambiental, o que compromete a viabilidade econômica e social de longo prazo dos SAFs (Miccolis *et al.*, 2016; Balbino *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo, como o uso de sistemas de irrigação adaptados às condições climáticas locais, e a capacitação contínua dos agricultores têm se mostrado fundamentais para o sucesso da implementação dos SAFs. Em regiões como o semiárido nordestino, práticas como a utilização de espécies nativas adaptadas à escassez hídrica e a melhoria da eficiência na captação de água de chuva têm sido essenciais para o êxito dos sistemas agroflorestais, como no projeto Sistemas Agroflorestais no Semiárido (SAF-S), implementado pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (Almeida; Silva, 2022).

Além disso, a cooperação entre instituições de pesquisa, organizações da sociedade civil e o setor privado é um fator determinante para o fortalecimento dos SAFs em regiões vulneráveis. O apoio da agroindústria, por exemplo, pode ser uma via crucial para a criação de mercados para produtos agroflorestais, como óleos essenciais, frutos tropicais e fibras, que, além de contribuir para a diversificação da economia rural, criam oportunidades de geração de renda sustentável para pequenos e médios produtores (Martins *et al.*, 2023).

A implementação bem-sucedida dos SAFs depende, contudo, de um compromisso sólido com a integração entre políticas públicas, educação e inovação tecnológica, além de um esforço conjunto entre governos, comunidades locais e o setor privado para promover a transição para uma agricultura mais sustentável, inclusiva e resiliente. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) agroecológicos implementados por agricultores familiares têm se mostrado promissores na mitigação e adaptação aos impactos provocados pelas mudanças climáticas. Além de contribuírem para a restauração ambiental, especialmente em áreas do bioma Mata Atlântica, esses sistemas promovem práticas sustentáveis que integram produção agrícola e conservação da biodiversidade, sendo fundamentais para

enfrentar a crise ecológica contemporânea (Gabriel; Souza-Esquerdo, 2024). Em experiências conduzidas pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), os SAFs têm sido adotados como parte de uma estratégia política e produtiva de resistência e reconstrução de territórios, associando recuperação ambiental à geração de renda e à autonomia camponesa (Borba, 2023).

Em face da crise climática, os sistemas agroflorestais representam, portanto, uma estratégia poderosa e necessária para enfrentarmos os desafios impostos pelas mudanças no clima, contribuindo significativamente para a restauração de ecossistemas e a construção de um futuro mais sustentável, não apenas para as gerações atuais, mas também para as futuras.

Além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) desempenham um papel fundamental na restauração ecológica e na recuperação de áreas degradadas, promovendo o aumento da biodiversidade, a melhoria da qualidade do solo e o restabelecimento dos ciclos hidrológicos (Montes-Londoño, 2017; Nair, 2010; FAO, 2017). Esse aspecto é particularmente relevante em regiões como a Amazônia, o Cerrado e o semiárido brasileiro, onde a degradação do solo e a perda de biodiversidade são questões críticas. A introdução de árvores nativas e a prática de manejo sustentável nos SAFs ajudam a recuperar a fertilidade do solo, promover a diversificação da vegetação e restaurar habitats para a fauna local. Como resultado, os SAFs contribuem não apenas para a recuperação das condições de cultivo, mas também para a preservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização e o controle natural de pragas.

Sistemas Agroflorestais têm se mostrado eficazes na conservação hídrica e na redução da erosão, principalmente em regiões vulneráveis à seca e com solos empobrecidos. A presença de árvores nessas paisagens melhora a estrutura física do solo, aumenta sua capacidade de retenção de água e reduz o escoamento superficial, promovendo infiltração mais eficiente da água da chuva (FAO *et al.*, 2011). O uso de espécies arbóreas adaptadas em sistemas agroflorestais melhora a estrutura do solo e promove a retenção hídrica, representando uma estratégia eficaz contra a desertificação e a favor da resiliência rural frente a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas (Yang *et al.*, 2024; Azhar *et al.*, 2024).

Estudos analisados na literatura indicam que os SAFs possibilitam formas de produção compatíveis com a conservação ambiental e com a segurança alimentar

das populações rurais, ao aliar diversidade ecológica e estabilidade produtiva (Altieri, 2012; FAO, 2023). A adoção de espécies agrícolas consorciadas com espécies florestais, em projetos conduzidos por assentamentos da agricultura familiar, evidencia que esses sistemas fortalecem o papel dos agricultores como agentes de transformação socioambiental em seus territórios (Gabriel; Souza-Esquerdo, 2024). A diversificação da produção agrícola torna os sistemas mais resilientes a falhas de safra e à variabilidade climática, uma vez que o risco de uma única colheita ser afetada por condições adversas, como secas ou enchentes, é reduzido (Miccolis *et al.*, 2016). Além disso, os SAFs oferecem oportunidades para o aproveitamento de mercados de nicho, como os produtos orgânicos ou certificados, o que pode melhorar a renda dos agricultores e promover um modelo de agricultura sustentável e econômica (Miccolis *et al.*, 2016; Marques; Mandarino; Monteiro, 2014).

Em termos de justiça climática, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) podem desempenhar um papel vital na inclusão social e na promoção de desenvolvimento sustentável em áreas rurais marginalizadas, que frequentemente são as mais afetadas pelas mudanças climáticas (Altieri, 2012; FAO, 2022; MAPA, 2022). Ao integrar a agricultura familiar com as práticas agroflorestais, essas comunidades podem melhorar sua autossuficiência e reduzir sua vulnerabilidade econômica e social (Miccolis *et al.*, 2016; Borba, 2023). Em regiões como o semiárido nordestino, onde as condições climáticas adversas dificultam a agricultura tradicional, a adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) tem sido apontada na literatura como uma estratégia eficaz para mitigar os impactos da seca e promover a segurança alimentar em longo prazo (Marengo, 2024).

A chave para o sucesso dos SAFs, no entanto, não reside apenas nas práticas agrícolas em si, mas também na adoção de políticas públicas eficazes que incentivem a implementação desses sistemas em larga escala. Programas de pagamento por serviços ambientais (PSA), incentivos fiscais, créditos rurais acessíveis e assistência técnica são fundamentais para garantir que os pequenos e médios produtores possam adotar essas práticas de forma sustentável.

No Brasil, o Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que financia a transição para sistemas agrícolas sustentáveis, incluindo os SAFs, têm se mostrado uma ferramenta importante no apoio aos produtores que buscam integrar práticas agroflorestais em suas propriedades (MAPA, 2022). Esses programas,

quando bem implementados, podem proporcionar os incentivos necessários para a adoção em larga escala dos SAFs, tornando-os uma alternativa viável para a agricultura sustentável.

A capacitação técnica e o acesso à informação são componentes essenciais para garantir o sucesso dos SAFs. Os produtores rurais precisam de informações claras e precisas sobre as melhores práticas de manejo agroflorestal, a escolha das espécies mais adequadas para cada região e as técnicas para otimizar a produtividade e a sustentabilidade do sistema (Miccolis *et al.*, 2016; Montes-Londoño, 2017; Sangalli *et al.*, 2021). A disseminação do conhecimento técnico por meio de instituições de ensino e extensão rural é uma estratégia fundamental para fortalecer a implementação dos SAFs e garantir que eles se tornem uma alternativa atraente para os agricultores (Almeida e Silva, 2022; MAPA, 2022).

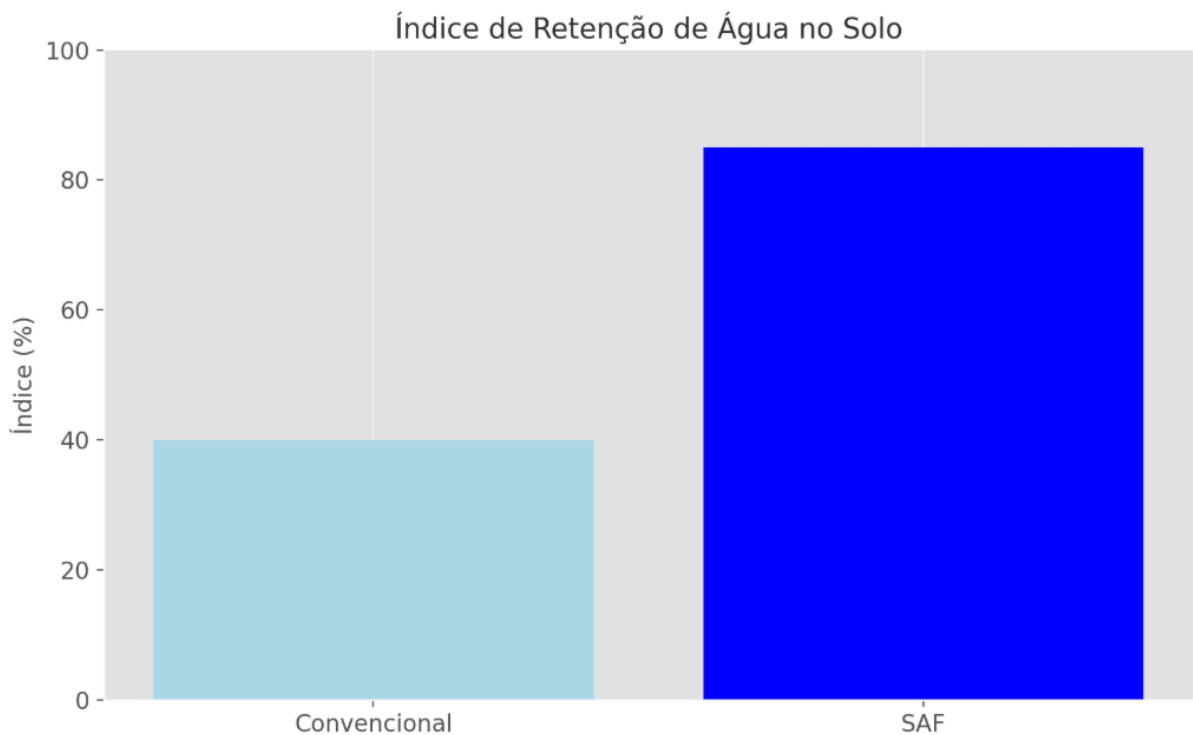
Em suma, os sistemas agroflorestais são uma solução poderosa e multifuncional para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Eles não só ajudam a mitigar os impactos ambientais e a restaurar ecossistemas degradados, mas também promovem a justiça social e a segurança alimentar em comunidades vulneráveis, ao integrar conservação ambiental com desenvolvimento socioeconômico, especialmente no contexto da agricultura familiar (Altieri, 2012; FAO, 2023; IBGE, 2018). Sua implementação bem-sucedida depende de uma abordagem integrada que envolva políticas públicas eficazes, educação ambiental, inovação tecnológica e um compromisso coletivo para promover uma agricultura mais sustentável e resiliente, capaz de garantir a segurança alimentar e o bem-estar das populações rurais no futuro.

### 5.3. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Uma das principais funções dos SAFs é a retenção de água no solo, que ocorre devido à presença de árvores de raízes profundas, as quais ajudam a aumentar a infiltração de água e a reduzir o escoamento superficial. As árvores e plantas que compõem os SAFs contribuem significativamente para melhorar a estrutura do solo, tornando-o mais permeável e capaz de reter água por períodos mais longos (Figura 8; Souza *et al.*, 2010). Além disso, o aumento da matéria orgânica no solo, resultado da decomposição das folhas, galhos e raízes, também

favorece a capacidade de retenção de água (Garrity *et al.*, 2010). Essa maior capacidade de infiltração de água é fundamental, principalmente em um cenário de mudança climática, onde a intensificação de eventos extremos, como secas e chuvas torrenciais, é cada vez mais frequente.

**Figura 8.** Comparativo do índice de retenção de água no solo entre agricultura convencional e sistemas agroflorestais.



Fonte: adaptado de Souza *et al.*, 2010).

A superioridade dos sistemas agroflorestais em termos de retenção hídrica torna-se evidente ao se comparar seu desempenho com o da agricultura convencional. A Figura 8 mostra que áreas manejadas com SAFs retêm até o dobro da água no solo, resultado de uma combinação de fatores ecológicos sinérgicos: cobertura vegetal permanente, sombreamento do solo, incremento da matéria orgânica e presença de árvores com raízes profundas. Esses elementos favorecem a infiltração da água da chuva, reduzem o escoamento superficial e protegem o solo da erosão e da compactação (Souza *et al.*, 2010; Kumar; Nair, 2011; ICRAF, 2020). Em um cenário de crescente irregularidade no regime de chuvas e aumento das temperaturas médias, essa capacidade de retenção torna-se essencial para a resiliência dos sistemas agrícolas, sobretudo em regiões semiáridas ou tropicais.

Além de melhorar a disponibilidade hídrica, os SAFs contribuem para a estabilidade da produção agrícola ao longo do tempo, reforçando seu papel como uma prática adaptativa diante das mudanças climáticas.

Além disso, as árvores que formam os SAFs desempenham um papel central na evapotranspiração, que é a soma da transpiração das plantas e da evaporação da água do solo. Esse processo é crucial para a regulação do ciclo da água e a formação de nuvens, ajudando na precipitação local. Ao liberar vapor d'água na atmosfera, as árvores ajudam a aumentar a umidade do ar e a temperatura local, o que, por sua vez, pode promover a chuva (Zomer *et al.*, 2017). A presença de árvores no ambiente agrícola tem um efeito importante na criação de microclimas, que ajudam a mitigar os efeitos do calor extremo, especialmente em regiões de climas secos e quentes.

A evapotranspiração também está intimamente ligada à redução do risco de erosão e à manutenção da qualidade do solo. Em sistemas agroflorestais, a presença contínua de cobertura vegetal promove um microclima mais úmido e protege o solo contra o impacto direto da chuva. Já em áreas de monocultura intensiva, principalmente fora do período de cultivo, o solo frequentemente permanece exposto, o que, aliado ao revolvimento excessivo e à compactação, contribui para o aumento da evaporação superficial e da erosão, comprometendo a fertilidade e a produtividade agrícola (Montes-Londoño, 2017; Kumar; Nair, 2011; ICRAF, 2020).. Nos sistemas agroflorestais, a presença de árvores em consórcio com culturas agrícolas reduz a radiação solar direta sobre o solo e a vegetação inferior, diminuindo a evaporação e mantém a umidade do solo por mais tempo, criando um microclima mais estável (Jacobs *et al.*, 2022). Este sistema é particularmente eficiente porque, ao contrário das monoculturas, os SAFs criam um ambiente mais diverso e estável, que contribui para reduzir a vulnerabilidade das culturas aos impactos das mudanças climáticas.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs), ao integrarem árvores e culturas agrícolas em um único espaço, têm se consolidado como uma alternativa altamente eficaz na mitigação das mudanças climáticas, especialmente devido à sua capacidade de retenção de água no solo e eficiência na evapotranspiração. Ambos os processos são fundamentais para a regulação hídrica e para o fortalecimento da resiliência dos ecossistemas agrícolas diante dos impactos das mudanças climáticas.

As árvores presentes nos SAFs, com suas raízes profundas, desempenham um papel fundamental no aumento da infiltração de água no solo, uma característica que é particularmente vantajosa quando comparada aos sistemas agrícolas convencionais. Nos sistemas convencionais, que geralmente não mantêm cobertura permanente do solo, a perda de água por evaporação e a erosão do solo são frequentes. Em contraste, nos SAFs, as raízes das árvores penetram em camadas mais profundas do solo, facilitando a infiltração de água e prevenindo o escoamento superficial (Zomer *et al.*, 2017). A deposição contínua de matéria orgânica oriunda da vegetação arbórea — como folhas, galhos e resíduos vegetais — forma uma cobertura natural que reduz a evaporação, protege o solo e conserva a umidade por mais tempo em períodos de seca (Azhar *et al.*, 2024).

Além disso, os SAFs também têm a capacidade de melhorar a estrutura do solo, tornando-o mais permeável e, conseqüentemente, mais capaz de reter água. A decomposição da matéria orgânica promovida pelas árvores resulta em substâncias húmicas, que melhoram a agregação do solo, favorecendo a retenção de água e nutrientes. Esse processo é crucial para o aumento da fertilidade do solo e para a manutenção da produtividade agrícola a longo prazo, sem a necessidade de insumos químicos pesados, como fertilizantes sintéticos (Garrity *et al.*, 2010). Quando comparado aos sistemas de monocultura, onde o solo é frequentemente empobrecido e suscetível à compactação, os SAFs representam uma solução sustentável para a gestão dos recursos hídricos e a recuperação de solos degradados.

A evapotranspiração, resultante da soma entre a transpiração das plantas e a evaporação da água do solo, é um processo fundamental promovido pelos sistemas agroflorestais (SAFs), com papel central na regulação do ciclo hidrológico. A inclusão de árvores modifica substancialmente o microclima agrícola ao reduzir a amplitude térmica e aumentar a umidade relativa, o que favorece o crescimento das culturas e melhora a resiliência a períodos de seca (Jacobs *et al.*, 2022). A presença de espécies com diferentes características radiculares permite o uso eficiente da água: enquanto árvores com raízes profundas acessam as camadas inferiores do solo, culturas agrícolas de raízes rasas utilizam a umidade superficial, reduzindo o risco de estresse hídrico e otimizando a disponibilidade hídrica do sistema como um todo (Jose, 2009). Esse mecanismo também contribui para o resfriamento do ambiente local, uma vez que a liberação de vapor d'água pelas copas das árvores

ajuda a atenuar os efeitos das ondas de calor e a criar condições microclimáticas mais favoráveis ao desenvolvimento das culturas agrícolas. A biodiversidade intrínseca aos Sistemas Agroflorestais (SAFs) contribui diretamente para a eficiência ecológica desses sistemas, promovendo interações entre espécies que otimizam o uso de recursos naturais e reduzem a necessidade de insumos externos. Essa diversidade funcional favorece a estabilidade produtiva e fortalece a resiliência frente à variabilidade climática, especialmente em contextos de seca, degradação e baixa fertilidade do solo (Birla *et al.*, 2024; Abebe *et al.*, 2025).

Além disso, a presença de árvores em SAFs cria um sistema multi-estratificado que melhora a capacidade de armazenamento de água. As camadas superiores, compostas por árvores e arbustos, atuam como uma espécie de “barreira” para a evaporação da água do solo, ao mesmo tempo em que facilitam a infiltração da água das chuvas, permitindo que ela seja utilizada de forma mais eficiente pelas plantas, ao invés de ser perdida para o ambiente (Souza *et al.*, 2010). O dossel das árvores, ao interceptar as chuvas, também desempenha um papel importante na redução da intensidade do impacto das gotas de chuva sobre o solo, o que minimiza a compactação do solo e a perda de nutrientes que poderia ocorrer em áreas mais expostas. Esse processo é particularmente relevante em áreas agrícolas que enfrentam o risco de erosão do solo devido ao uso inadequado de técnicas agrícolas.

Outro aspecto relevante que destaca o papel dos SAFs na retenção de água e melhoria da qualidade do solo é a capacidade das árvores de gerar matéria orgânica no solo. As folhas caídas das árvores e os resíduos vegetais de diferentes partes do sistema agroflorestal se decompõem, formando uma camada rica em matéria orgânica. Esse material orgânico, além de fornecer nutrientes para as plantas, têm um papel crucial na melhora da capacidade de retenção de água do solo, pois as substâncias húmicas geradas durante a decomposição aumentam a agregação do solo, tornando-o mais poroso e, assim, mais eficiente na retenção de água (Lal, 2004). Em sistemas agrícolas convencionais, a falta de cobertura orgânica no solo faz com que ele se compacte mais facilmente, o que reduz a capacidade do solo de reter água, além de prejudicar a biodiversidade microbiana, fundamental para o ciclo de nutrientes.

No que diz respeito à evapotranspiração, os SAFs funcionam como reguladores eficientes dessa dinâmica, especialmente em relação às variáveis

climáticas. A evapotranspiração é um processo que ocorre quando a água é absorvida pelas raízes das plantas, transportada pelas estruturas vegetativas e liberada para a atmosfera por meio das folhas. Esse processo não apenas influencia a temperatura local, mas também está intimamente relacionado ao ciclo da água, que, como discutido, é essencial para o equilíbrio hídrico regional. Nos sistemas agroflorestais, as árvores, ao serem estrategicamente posicionadas no campo, podem modificar o fluxo de vapor d'água e até mesmo interferir nas precipitações locais, ao influenciar a formação de nuvens e a concentração de umidade na atmosfera. Assim, a evapotranspiração desempenha uma função ainda mais ampla no sistema agroflorestal, ao aumentar a resiliência do ecossistema e ao modificar o microclima local para torná-lo mais favorável às culturas agrícolas.

#### 5.4. MODELO CIVILIZATÓRIO

A emergência climática global é, em sua essência, a manifestação de uma crise civilizatória. Ela não pode ser adequadamente compreendida nem enfrentada por meio de soluções tecnocráticas, ajustes de mercado ou inovações isoladas, pois sua origem está profundamente enraizada nos fundamentos históricos, epistemológicos e ontológicos do modelo civilizatório moderno (Leff, 2014; Escobar, 2018; Morin, 2011; Moore, 2016; Santos; Araújo; Baumgarten, 2016). Esse modelo, que emergiu a partir da articulação entre o projeto científico-iluminista, a expansão colonial e a revolução industrial, consolidou uma lógica de mundo centrada na dualidade entre sujeito e objeto, cultura e natureza, razão e emoção, humano e não humano (Leff, 2001; Bonneuil; Frescoz, 2016). Como observa Enrique Leff (2014), trata-se de uma racionalidade instrumental que absolutiza o saber técnico-científico e marginaliza outros modos de conhecer e existir, promovendo a hegemonia de um pensamento linear, fragmentado e dominador sobre os sistemas vivos.

O paradigma moderno, ao instituir a natureza como um recurso externo e passivo à disposição da ação humana, gerou uma cosmovisão mecanicista que concebe o mundo como uma máquina composta de partes intercambiáveis e controláveis. Essa epistemologia reducionista sustentou a colonização dos territórios, dos corpos e dos saberes, consolidando uma ordem global marcada por assimetrias estruturais e desigualdades socioambientais (Leff, 2014; Escobar, 2018; Moore, 2016). A crise ecológica contemporânea, expressa nas mudanças climáticas,

na erosão da biodiversidade, na acidificação dos oceanos e na desertificação de solos, não é, portanto, um fenômeno contingente, mas o produto histórico do modo de produção e de conhecimento dominante, que privilegia o acúmulo de capital sobre a preservação da vida (Moore, 2016; Bonneuil; Fressoz, 2016; Crutzen; Stoermer, 2000; Morin, 2011). O antropoceno, conceito cunhado por Paul Crutzen e Eugene Stoermer (2000), nomeia esse novo tempo geológico em que a ação humana se tornou a principal força transformadora do planeta. No entanto, como destacam autores críticos como Moore (2016) e Bonneuil e Fressoz (2016), trata-se menos de uma condição universal da humanidade e mais da expressão de um “capitaloceno” — ou seja, da lógica expansiva e predatória do capital industrial moderno.

A crise civilizatória atual evidencia os limites de um modelo que reduz o valor da vida à utilidade econômica, promovendo a maximização da produtividade e a exploração ilimitada dos bens naturais como se fossem infinitos. Essa lógica de crescimento sem fim, internalizada pelas estruturas do Estado, da ciência e do mercado, contradiz os limites biofísicos da Terra e compromete as condições de habitabilidade do planeta (Leff, 2001; Bonneuil; Fressoz, 2016; Escobar, 2018; Foster, 2000). Como argumenta Edgar Morin (2011), o paradigma da simplicidade — centrado na dicotomia e na linearidade — precisa ser substituído por um paradigma da complexidade, que reconheça a interdependência entre todos os sistemas vivos e os princípios de não-linearidade, retroalimentação e incerteza. Essa transição epistemológica é, em si, um imperativo civilizatório: trata-se de reconstruir as bases do pensar, do viver e do produzir a partir de uma ontologia relacional e ecocentrada. Assim, o modelo civilizatório dominante não entra apenas em crise por seus efeitos — ambientais, sociais ou econômicos — mas porque rompeu sua própria legitimidade como projeto de futuro (Leff, 2001). Sua promessa de progresso universal revelou-se insustentável, e a modernidade ocidental, com sua narrativa triunfal de desenvolvimento e crescimento, confronta-se com um mundo em colapso climático e em esgotamento ecológico (Moore, 2016). O esvaziamento simbólico do progresso, aliado à crise dos valores humanistas, evidencia uma necessidade radical: a invenção de outros modos de existir, pensar e coabitar (Escobar, 2018; Santos; Araújo; Baumgarten, 2016).

Como argumenta Arturo Escobar (2018), essa reinvenção exige a recusa da modernidade colonial-capitalista e a emergência de uma “pluriversalidade

epistêmica”, em que diferentes formas de conhecimento — indígenas, camponesas, afrodescendentes, feministas, populares — possam contribuir para a constituição de mundos mais justos, sustentáveis e habitáveis.

Nesse sentido, o modelo civilizatório que urge ser superado não é apenas um conjunto de instituições ou tecnologias obsoletas, mas um imaginário dominante que define o que é valioso, verdadeiro e possível (Moore, 2016). A crise climática é, também, uma crise do imaginário: ela expõe a falência do paradigma que separa o ser humano da terra e o posiciona como senhor da natureza (Leff, 2001). Romper com esse imaginário significa rearticular os vínculos entre o humano e o mais-que-humano, entre o conhecimento científico e os saberes ecológicos locais, entre a técnica e a ética (Escobar, 2018; Santos; Araújo; Baumgarten, 2016). É nesse ponto que a ecologia política, a filosofia da natureza e a epistemologia da complexidade convergem para a formulação de um novo horizonte civilizatório: um paradigma da vida, da interdependência e do cuidado (Morin, 2011).

Portanto, discutir o modelo civilizatório no contexto da crise climática não é apenas uma exigência teórica ou acadêmica, mas uma necessidade política e existencial (Leff, 2001). A transição para um novo paradigma implica reconstruir o tecido simbólico, institucional e produtivo da sociedade com base em outras racionalidades — não hegemônicas, não extrativistas, não antropocêntricas (Escobar, 2018; Moore, 2016; Santos; Araújo; Baumgarten, 2016). Como afirma Santos; Araújo; Baumgarten, (2016), é necessário promover uma ecologia de saberes e uma ecologia de práticas que reconheçam a multiplicidade de formas de vida e de mundos possíveis. O colapso climático não será revertido apenas com acordos internacionais ou metas de carbono neutro: ele exige um novo fundamento ontológico para a ação humana — uma civilização fundada não na dominação, mas na reciprocidade; não na acumulação, mas na regeneração; não na separação, mas na relacionalidade radical entre todas as formas de existência.

A compreensão da crise climática em sua radicalidade exige mais do que a análise de indicadores atmosféricos, projeções de aumento de temperatura ou diagnósticos sobre o esgotamento dos recursos naturais. Trata-se, fundamentalmente, de um colapso nas estruturas históricas que sustentam a forma como a sociedade moderna organiza sua relação com o mundo natural (Leff, 2001). Neste sentido, a tradição crítica marxista oferece um instrumental teórico profundo ao articular, de maneira inseparável, os eixos da natureza, do trabalho e da

sociedade, compreendendo-os como uma totalidade contraditória que se transforma historicamente (Marx, 2004; MOORE, 2016). Não se trata de três esferas independentes, mas de um campo de mediações onde se realizam os processos concretos da reprodução social, e onde também se manifestam, de forma aguda, as tensões ecológicas contemporâneas (Harvey, 2004).

Para Marx, o trabalho não é apenas uma categoria econômica, mas a própria forma ontológica do ser humano se afirmar no mundo — sua relação ativa, transformadora e consciente com a natureza (Marx, 2004). O ser humano produz a si mesmo ao produzir seus meios de vida, e é nesse movimento que se constitui enquanto ser social. A natureza, por sua vez, não é externa a esse processo, mas seu fundamento material. Ela é o “corpo inorgânico do homem”, como afirma Marx nos *Manuscritos Econômico-Filosóficos* (1844), sendo através dela que o ser humano se realiza, mas também se limita (Marx, 2004). A sociedade, então, aparece como o plano de institucionalização dessas relações, como o campo onde se estabilizam e se reproduzem as formas sociais historicamente determinadas. A crítica marxista não parte de uma abstração ideal da natureza ou de uma nostalgia pré-industrial, mas da análise concreta das formas sociais pelas quais a natureza é apropriada e transformada sob determinadas condições históricas (Moore, 2016; Harvey, 2004).

No capitalismo, essa tríade se desarticula sob a primazia do valor. O trabalho é reduzido à condição de mercadoria, a natureza é expropriada como se fosse inerte e inesgotável, e a sociedade se estrutura de maneira profundamente desigual, concentrando os custos ecológicos do progresso em territórios periféricos e corpos racializados (Moore, 2016). A produção capitalista não visa atender às necessidades humanas de forma racional ou equilibrada, porém reproduzir indefinidamente o capital sob a forma da mais-valia. A partir dessa lógica, o metabolismo entre sociedade e natureza, antes cíclico e enraizado em dinâmicas de regeneração, é rompido. A natureza passa a ser tratada como simples estoque de insumos, o trabalho como fator de produção descartável, e a própria vida humana como custo colateral da lógica acumulativa (Marx, 2004). Essa ruptura, que Marx esboça como alienação do trabalho e separação da terra, ganha formulação sistemática na noção contemporânea de ruptura metabólica, desenvolvida por autores como John Bellamy Foster e Paul Burkett (Foster, 2000).

A ruptura metabólica é, portanto, mais do que uma metáfora ecológica. Ela expressa um fenômeno histórico-material que resulta da incapacidade do capital em reconhecer limites naturais (Foster, 2000). A própria forma-mercadoria opera uma abstração que apaga os ciclos ecológicos: o solo é explorado sem tempo de recomposição, as florestas são convertidas em monoculturas, os corpos hídricos são apropriados como canais industriais, e o carbono é emitido sem controle, como se a atmosfera fosse um espaço neutro (Bonneuil; Fressoz, 2016; Leff, 2001). Essa lógica, embora altamente irracional do ponto de vista ecológico, é plenamente racional dentro do circuito da valorização do valor (Foster, 2000; Löwy, 2009). O resultado é o que se vê: uma intensificação da degradação ambiental, o colapso da estabilidade climática e a emergência de formas de sofrimento social que atingem desproporcionalmente os mais pobres e os povos historicamente expropriados (Escobar, 2018).

Entretanto, a resposta à crise não virá de dentro da própria lógica que a produziu. A “solução verde” defendida por setores do capital — com suas promessas de transição energética, neutralidade de carbono e mercados de créditos climáticos — tende a reproduzir os mesmos padrões de exploração, agora revestidos de uma retórica sustentável (Ferreira, 2024; Simião, 2021). Essa pseudotransição, ao manter intactas as estruturas produtivas e os imperativos do lucro, apenas desloca os impactos ecológicos e naturaliza novas formas de desigualdade (Guerra, 2023; Watanabe, 2023). A crítica marxista, nesse ponto, oferece uma alternativa epistemológica e política ao apontar que a reconstrução do metabolismo entre sociedade e natureza exige uma reconfiguração radical das formas de trabalho, de propriedade e de organização da vida coletiva (Barreto, 2024; Aguiar, 2024; Prata, 2023).

Mais do que uma crítica econômica, o que está em jogo é uma disputa ontológica: qual será o fundamento da reprodução social? A expansão ilimitada da mercadoria ou a regeneração dos vínculos vitais entre humanos e mundo? Recuperar a tríade marxista significa, portanto, recuperar a possibilidade de um outro futuro — não baseado na abstração do valor, mas na materialidade da vida, na centralidade do trabalho vivo e na integridade dos ecossistemas (Querido, 2009; Seferian, 2021). Como destaca Michael Löwy, o ecossocialismo não propõe um retorno romântico ao passado, mas uma síntese crítica entre a razão ecológica e o projeto emancipatório do socialismo, que devolve ao trabalho sua dimensão criativa,

à natureza seu valor intrínseco, e à sociedade sua vocação para a justiça e o cuidado (Löwy, 2009; Löwy, 2023).

Essa perspectiva, enfim, não se reduz a um plano ideal. Ela exige mediações concretas, transições possíveis e disputas reais. Mas sem esse horizonte — o de uma nova articulação entre natureza, trabalho e sociedade — qualquer projeto de enfrentamento da crise climática corre o risco de ser apenas uma estratégia de contenção do colapso, e não de transformação efetiva (Pereira, 2023; Barreto, 2020). A tarefa histórica que se coloca não é apenas conter os efeitos da crise, mas desarticular suas causas estruturais. E isso começa por nomeá-las com precisão: um modelo de sociedade que rompeu com a vida para sustentar a mercadoria (Simião, 2021; Mucache; Júnior, 2023). Superá-lo é uma urgência, mas também uma possibilidade (Freitas; Nélsis; Nunes, 2012; Prata, 2023).

## 6. DISCUSSÃO

Falar de sistemas agroflorestais hoje é muito mais do que discutir uma técnica agrícola: é provocar um debate profundo sobre o tipo de sociedade que queremos construir e sobre o lugar que a natureza ocupa nesse projeto. No Brasil, onde predomina um modelo rural centrado na monocultura de larga escala, no uso intensivo de agrotóxicos e na exportação de *commodities*, pensar em sistemas agroflorestais (SAFs) representa uma ruptura não apenas técnica, mas também simbólica com essa lógica dominante. Como destaca Altieri (2012), os SAFs fazem parte de uma proposta agroecológica mais ampla, que confronta diretamente o modelo agroexportador ao priorizar práticas regenerativas, baseadas no conhecimento tradicional e no protagonismo das comunidades locais. Além disso, conforme discutido por Montes-Londoño (2017), os SAFs oferecem uma série de benefícios ecológicos — como o aumento da cobertura vegetal, o sequestro de carbono e a melhoria da retenção hídrica — que, ao serem integrados aos territórios, contribuem para formas mais sustentáveis e autônomas de habitar e produzir no campo.

Essa ruptura fica evidente quando olhamos para os saberes que fundamentam os SAFs: são conhecimentos ancestrais, muitas vezes invisibilizados pelas abordagens técnicas modernas, que revalorizam o tempo da natureza, a cooperação entre espécies e a escuta do território. Altieri (2012) observa que os

sistemas agroecológicos — dos quais os SAFs fazem parte — são construídos a partir da racionalidade camponesa, coletiva, circular e contextualizada, em oposição à lógica linear e produtivista da Revolução Verde. Leff (2001) também reforça a ideia de que esses modelos carregam uma epistemologia própria, fundada na articulação entre ecologia, cultura e política. Ao integrar esses elementos, os SAFs não são apenas um arranjo agrícola mais “verde”, mas sim uma proposta de reorganização das relações entre seres humanos, território e temporalidade.

Além de seus impactos ecológicos e climáticos, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) possuem uma dimensão simbólica e política profundamente transformadora. Ao desafiar o paradigma dominante de “progresso” no meio rural — comumente associado à mecanização, à produtividade intensiva por hectare e à padronização produtiva — os SAFs propõem uma ruptura epistemológica e prática com esse modelo. De acordo com Leff (2014), essas práticas agroecológicas incorporam uma racionalidade ambiental que valoriza os ciclos naturais, a diversidade e o cuidado com o território. Altieri (2012) complementa que os SAFs, ao recuperar práticas locais e tradicionais, promovem a diversidade biocultural e desaceleram os ritmos impostos pela lógica do capital, reconfigurando o uso do tempo e do espaço no território e apontando para formas mais colaborativas, resilientes e regenerativas de se relacionar com a terra. Nesse contexto, optar por uma agrofloresta transcende a decisão técnica ou produtiva; é também um posicionamento político diante da crise civilizatória e ambiental em que estamos inseridos. Como destaca Löwy (2009), essas práticas desafiam diretamente os fundamentos do agronegócio e da acumulação por espoliação descrita por Harvey (2004), tornando-se formas de resistência ecológica e social. A agricultura, nesse novo paradigma, deixa de ser compreendida apenas como atividade econômica e passa a se constituir como prática de resistência cultural, ecológica e social.

Os resultados desta pesquisa demonstram que os SAFs não apenas se mostram produtivamente viáveis, mas também mobilizam uma racionalidade territorial alternativa, em oposição à concepção extrativista e verticalizada da terra como simples recurso (Freitas, 2012). Em regiões marcadas por degradação ambiental, insegurança alimentar e exclusão histórica das comunidades tradicionais — como ocorre no contexto rural brasileiro — os SAFs emergem como práticas contra-hegemônicas. Essa resistência se materializa tanto na forma regenerativa de ocupação do solo quanto na valorização de saberes populares, indígenas e

camponeses, saberes que, como ressalta Santos; Araújo; Baumgarten, (2016), resistem à homogeneização cultural imposta pelo agronegócio. Além disso, Nair (2018) enfatiza que esses sistemas contribuem para a construção de um modelo de desenvolvimento centrado na justiça socioambiental, na diversidade ecológica e na restauração do metabolismo entre sociedade e natureza. Como destaca Altieri (2012), os SAFs fazem parte de uma proposta agroecológica mais ampla que confronta diretamente o modelo agroexportador, priorizando práticas diversas, regenerativas e historicamente construídas pelos povos da terra; além disso, os benefícios ambientais observados — como a regeneração de áreas degradadas, a melhoria da fertilidade do solo e o equilíbrio microclimático — são, conforme mostram Montes-Londoño (2017) e Nair (2018), acompanhados por transformações subjetivas e comunitárias.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) operam como espaços de reeducação ambiental e reorganização das relações sociais no campo. Não são raros os relatos de agricultores que, ao adotar esse modelo, passam a reconfigurar sua relação com o tempo, com o trabalho e com a própria identidade como guardiões do território (Souza *et al.*, 2010). Em contraste com o produtivismo acelerado promovido pelo agronegócio, a agrofloresta reintroduz o ritmo das estações e o cuidado com a diversidade como princípios éticos de ação, oferecendo uma alternativa regenerativa à lógica da mercadoria (Altieri, 2012; Leff, 2014). Nesse sentido, os SAFs não apenas respondem à crise ecológica, mas também desestabilizam a forma como o “progresso rural” tem sido concebido e impulsionado pelas políticas agrárias dominantes (Freitas, 2012). Como modelo ainda marginalizado, os SAFs apontam para um horizonte no qual terra, trabalho e biodiversidade deixam de ser meros recursos a explorar e voltam a ser elementos de convivência e reciprocidade (Leff, 2001; Löwy, 2009). Essa capacidade de reencantar a relação com a terra é o que torna os SAFs não só eficientes do ponto de vista ecológico, mas também profundamente subversivos ao confrontarem o paradigma da acumulação por espoliação descrito por Harvey (2004).

Discutir sistemas agroflorestais no Brasil exige reconhecer o pano de fundo histórico e estrutural da luta pela terra, que permanece marcado por uma persistente concentração fundiária e pela expansão do agronegócio monocultor (Freitas, 2012). Esse processo, sustentado por políticas públicas excludentes, aprofunda desigualdades históricas e apaga modos alternativos de produção e vida. Conforme

destaca Santos; Araújo; Baumgarten, (2016), os SAFs emergem nesse contexto como práticas de resistência agroecológica e política, que não apenas propõem outra forma de se relacionar com a terra, mas desafiam diretamente os fundamentos territoriais e simbólicos do latifúndio e da monocultura. Assim, os SAFs participam ativamente da disputa por outro projeto de campo, onde a diversidade ecológica e cultural é central à construção de um futuro sustentável.

Como argumenta Altieri (2012), práticas agroecológicas como os SAFs não se limitam à técnica: elas expressam uma disputa por modelos de desenvolvimento. Ao se enraizarem em experiências locais e populares, os SAFs reivindicam o território não como mercadoria, mas como bem comum, articulando resistência agrária e reapropriação simbólica da paisagem.

Essa dimensão torna-se ainda mais evidente quando se compreende que pensar em Sistemas Agroflorestais (SAFs) no Brasil é, inevitavelmente, pensar também em reforma agrária, justiça ambiental e enfrentamento à violência histórica contra povos do campo e das florestas (Freitas, 2012). O cultivo da diversidade vegetal, característico dos SAFs, está intrinsecamente ligado à preservação da diversidade sociocultural, pois, conforme destaca Santos; Araújo; Baumgarten, (2016), os saberes agroecológicos tradicionais de comunidades indígenas, quilombolas e camponesas não apenas sustentam esses sistemas, mas também resistem à homogeneização cultural promovida pelo agronegócio. Além disso, os SAFs tensionam diretamente o projeto de modernização conservadora que, há décadas, estrutura a política agrícola brasileira com base na monocultura, na produtividade técnica e na concentração fundiária (Altieri, 2012). Quando um pequeno produtor opta por uma agrofloresta, está fazendo mais do que transformar seu sistema produtivo: está se posicionando contra uma história de expulsão, silenciamento e invisibilização — processo que se intensificou com o avanço do latifúndio e das políticas de acumulação por espoliação, conforme analisa Harvey (2004). Ao integrar árvores, saberes locais e autonomia produtiva, esse agricultor planta não apenas alimentos, mas também outras formas de futuro, fundadas na reciprocidade, na regeneração ambiental e na autodeterminação territorial (Leff, 2014; Löwy, 2009). É essa potência de disputa simbólica e material que torna os SAFs mais do que uma técnica eficiente: eles se constituem como práticas contra-hegemônicas, enraizadas na resistência popular e na reconstrução coletiva dos territórios.

A presença do Estado na promoção da agrofloresta é ambígua e, em muitos casos, contraditória. Embora existam iniciativas institucionais que reconhecem a importância de práticas sustentáveis no meio rural, muitas delas são estruturadas sob uma lógica setorial e tecnocrática, desvinculadas das realidades territoriais e das especificidades sociais que caracterizam o campo brasileiro. Como observa a FAO (2023), políticas públicas frequentemente priorizam metas de produtividade e competitividade, negligenciando abordagens integradas que considerem os saberes locais, a diversidade cultural e os sistemas produtivos tradicionais. Esse distanciamento é particularmente evidente na forma como o Estado brasileiro lida com a agricultura familiar, cuja relevância é amplamente reconhecida pelo IBGE (2018), mas raramente refletida em políticas públicas capazes de fortalecer sua resiliência diante das mudanças climáticas.

A predominância de programas voltados para monoculturas e tecnologias padronizadas, em detrimento de práticas agroecológicas territorializadas, como os SAFs, revela um modelo de desenvolvimento rural ainda ancorado na racionalidade da modernização conservadora (Altieri, 2012). Isso compromete a construção de estratégias sustentáveis de longo prazo, pois ignora a complexidade socioecológica dos territórios e a necessidade de soluções baseadas na diversidade e na participação social. O incentivo à agrofloresta, quando presente, tende a seguir uma abordagem normatizadora, baseada em editais, critérios técnicos e lógicas empresariais que frequentemente não dialogam com os modos de vida das comunidades locais. Montes-Londoño (2017) observa que os entraves à adoção dos SAFs não são apenas técnicos ou econômicos, mas institucionais: faltam políticas públicas capazes de reconhecer os múltiplos saberes que informam essas práticas e as formas comunitárias de organização que as sustentam.

Essa lacuna entre política pública e realidade agrária reflete uma visão do Estado brasileiro que ainda opera majoritariamente sob o paradigma da modernização agrícola, concentrando decisões nas mãos de especialistas e desconsiderando as experiências populares. Altieri (2012), cujos estudos dialogam diretamente com experiências agroecológicas latino-americanas e brasileiras, aponta que uma transição agroecológica real só é possível quando se rompe com essa lógica verticalizada e se promove o protagonismo dos movimentos sociais, das organizações de base e dos povos do campo. A agrofloresta, como prática territorializada e profundamente vinculada ao conhecimento local, exige políticas

co-construídas, que partam da escuta ativa dos sujeitos rurais e que estejam enraizadas nas condições materiais e culturais de cada território.

Altieri (2012) aponta que uma transição agroecológica real só é possível quando se rompe com essa lógica verticalizada e se promove o protagonismo dos movimentos sociais, das organizações de base e dos povos do campo. A agrofloresta, como prática territorializada e profundamente vinculada ao conhecimento local, exige políticas co-construídas, que partam da escuta ativa dos sujeitos rurais e que estejam enraizadas nas condições materiais e culturais de cada território.

Quando o Estado atua de forma centralizadora, desconsiderando os saberes dos povos da terra e operando com lógicas tecnocráticas e normatizadoras, corre-se o risco de transformar a agroecologia em uma política superficial e burocrática, instrumentalizada apenas para cumprir metas formais de “sustentabilidade” sem alterar estruturas históricas de desigualdade (Freitas, 2012; Santos; Araújo; Baumgarten, 2016). A ausência de apoio continuado, de assistência técnica adequada e de segurança jurídica para quem implementa Sistemas Agroflorestais (SAFs) amplia ainda mais esse abismo entre intenção e prática. Para Altieri (2012), políticas públicas eficazes em agroecologia exigem não apenas incentivos técnicos, mas a valorização da organização comunitária, da diversidade local e da autonomia produtiva. Assim, repensar políticas públicas para os SAFs implica, necessariamente, redefinir o papel do Estado: não como gestor de pacotes tecnológicos, mas como articulador de processos democráticos, atentos à escuta ativa, à diversidade biocultural e à justiça socioambiental (Leff, 2014).

A distância entre o discurso da sustentabilidade e as práticas concretas adotadas por empresas, instituições e governos é, como destaca Löwy (2009), um dos aspectos mais visíveis — e ao mesmo tempo mais perigosos — do cenário contemporâneo. Termos como “verde”, “regenerativo” e “transição ecológica” são frequentemente mobilizados em discursos institucionais e campanhas de marketing ambiental, mas, como alerta Moore (2016), atuam muitas vezes como retórica vazia, usada para legitimar a continuidade de uma lógica extrativista e desigual. Essa é uma das grandes armadilhas do chamado “capitalismo verde”: apresentar reformas superficiais como se fossem rupturas estruturais, esvaziando o potencial emancipatório de práticas como os SAFs. Segundo Harvey (2004), essa apropriação simbólica pelo capital é parte da lógica de “acumulação por espoliação”, que adapta

discursos de transformação para manter inalteradas as formas de dominação. Os SAFs, ao integrarem saberes tradicionais, autonomia produtiva e resistência territorial, representam uma alternativa real a essa lógica, desde que sua essência política e comunitária não seja capturada pelas dinâmicas mercadológicas que pretendem convertê-los em meros instrumentos de compensação ambiental (Leff, 2001; Altieri, 2012).

Moore (2016) contribui para esse debate ao mostrar como o capital busca continuamente “baratear” a natureza, o trabalho e a vida, apropriando-se de práticas que emergem da resistência para mantê-las sob seu controle funcional. Nesse contexto, há o risco concreto de os SAFs serem absorvidos como produtos de mercado — pacotes tecnificados, aplicados de forma homogênea e despolitizada, sem considerar suas origens territoriais e seu caráter emancipatório. Altieri (2012) alerta para essa possibilidade ao afirmar que, quando desconectadas dos movimentos sociais e dos saberes locais, práticas agroecológicas podem ser cooptadas por agendas de certificação, compensação de carbono e financeirização da natureza, servindo mais ao marketing do que à transformação.

Essa tendência também se expressa em políticas públicas que tratam os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como meras “boas práticas agrícolas”, desconsiderando sua dimensão estrutural e política. Quando as agroflorestas são inseridas em programas institucionais sem diálogo efetivo com os sujeitos do campo, seu potencial crítico se enfraquece e elas correm o risco de se tornarem estratégias de “greenwashing institucional”, como alerta Moore (2016), ao serem cooptadas por discursos que reproduzem a lógica do capital. Para Freitas (2012), isso ocorre justamente porque a racionalidade estatal dominante, moldada por um paradigma técnico e produtivista, prioriza soluções superficiais e normatizadas, desvinculadas das realidades territoriais. Por isso, é fundamental manter viva a memória de onde e como os SAFs emergiram: das lutas por terra, das práticas de convivência com a floresta, do protagonismo de povos indígenas, quilombolas e camponeses, e da crítica radical ao modelo hegemônico de desenvolvimento rural (Santos; Araújo; Baumgarten, 2016; Leff, 2014).

Como reforça Altieri (2012), a disputa em torno das agroflorestas não é apenas técnica ou ambiental, mas simbólica, política e cultural. Preservar seu sentido contra-hegemônico é essencial para que os SAFs não sejam reduzidos a uma estética da sustentabilidade — um ornamento verde que mascara a

continuidade da exploração e da desigualdade estrutural (Harvey, 2004; Löwy, 2009). Ao longo desta discussão, tornou-se evidente que os sistemas agroflorestais não devem ser compreendidos apenas como propostas agrícolas eficientes ou ambientalmente sustentáveis. Eles representam, de fato, uma reorganização das relações entre seres humanos, território e natureza, apontando para uma transformação mais profunda no modo como produzimos, vivemos e pertencemos ao mundo (Leff, 2001). Em vez de reproduzirem a lógica da produtividade maximizada e da linearidade técnica, os SAFs se organizam com base em princípios como diversidade, reciprocidade e interdependência — valores que confrontam diretamente a racionalidade instrumental dominante e oferecem caminhos concretos para um projeto civilizatório alternativo. Altieri (2012) e Leff (2001) mostram que práticas como essas não são “inovações” no sentido moderno do termo, mas a recuperação e valorização de modos de vida historicamente invisibilizados pela racionalidade dominante. Ao proporem uma racionalidade ambiental, os SAFs questionam as bases da modernidade capitalista, que dissociou cultura e natureza e subordinou o território ao mercado.

Esse potencial transformador se expressa não apenas nos resultados ambientais concretos — como o aumento da cobertura vegetal, a regeneração do solo e a melhoria do microclima —, mas na própria ética que sustenta os Sistemas Agroflorestais (SAFs). Trata-se de uma ética fundada na reciprocidade entre sociedade e natureza, em que o solo não é explorado até a exaustão, mas nutrido como parte viva do ecossistema (Altieri, 2012; Leff, 2014). Essa perspectiva rompe com a racionalidade instrumental que orienta a produção convencional, substituindo o ideal de maximização por relações de cuidado, regeneração e equilíbrio. Ao promoverem a restauração ecológica integrada com a justiça territorial, os SAFs materializam uma alternativa real à lógica extrativista dominante. Como destaca Santos; Araújo; Baumgarten, (2016), essa prática não apenas reorganiza os sistemas produtivos, mas contribui para reconstruir vínculos afetivos, espirituais e históricos com a terra — uma ética do pertencimento que tensiona as fronteiras entre natureza, cultura e política. Nair (2018) argumenta que os sistemas agroflorestais são espaços de aprendizado permanente, onde convivem conhecimentos científicos, empíricos e ancestrais. Essa convivência é o que permite que os SAFs se tornem mais do que uma técnica aplicável: tornam-se uma forma de vida enraizada no cuidado, na escuta da terra e na construção coletiva do futuro.

Produzir em agrofloresta é também reencantar a ideia de produção, deslocando-a do extrativismo e aproximando-a da regeneração.

Em tempos de crise climática, esgotamento dos solos e colapso das relações sociais no campo, os SAFs funcionam como respiros e sinais de que outros mundos são possíveis. Eles nos lembram que a agricultura não precisa estar condenada à destruição da biodiversidade ou à exploração do trabalho, mas pode ser espaço de resistência, justiça e esperança. Ao propor um ritmo mais lento, uma produção enraizada e uma visão integrada de sociedade e ambiente, os SAFs deixam de ser apenas um modelo alternativo e se tornam horizonte — um projeto civilizatório em disputa. Reafirmar esse sentido político e utópico, mesmo diante da sua marginalização institucional, é parte essencial da luta por futuros mais justos e sustentáveis.

Complementando essa dimensão político-utópica dos SAFs, é essencial reafirmar também seu papel técnico e estratégico na mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Diversos estudos demonstram que os SAFs atuam como sumidouros naturais de carbono, com capacidade de sequestro que pode ultrapassar 25 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare/ano, dependendo da densidade arbórea, do tipo de solo e do desenho ecológico do sistema (Kumar; Nair, 2011; ICRAF, 2020). Essa performance os torna instrumentos valiosos dentro das estratégias de redução de emissões recomendadas pelo IPCC (2019).

Ao incorporar árvores perenes, promover ciclagem de nutrientes e manter o solo permanentemente coberto, os SAFs também aumentam significativamente o teor de carbono orgânico no solo, chegando a níveis até 60% superiores em relação a sistemas agrícolas convencionais. Esses mecanismos não apenas mitigam emissões, como também regeneram funções ecossistêmicas essenciais, como a retenção de água e a estabilidade térmica do ambiente, contribuindo para maior resiliência agrícola frente a eventos extremos — secas, enchentes, ondas de calor.

Essa resiliência se expressa tanto na escala ecológica quanto socioeconômica. SAFs diversificados tendem a manter sua produtividade mesmo sob condições climáticas adversas, pois reduzem a dependência de insumos externos e aumentam a autonomia produtiva das famílias agricultoras. Em tempos de irregularidade climática e choques de mercado, essa autonomia representa um fator crucial de sobrevivência e dignidade. Por isso, organismos internacionais como a FAO e o IPCC reconhecem os SAFs como Soluções Baseadas na Natureza (SbN),

ou seja, práticas integradas que aliam conservação ambiental, justiça social e adaptação climática.

No Brasil, a inclusão dos SAFs como tecnologia prioritária no Plano ABC+ (2020–2030) e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) é um passo importante, mas ainda insuficiente. Para que esses sistemas saiam da condição de exceção e se tornem eixo estruturante de uma nova ruralidade, é necessário superar os entraves estruturais — como acesso a crédito, assistência técnica, regularização fundiária e valorização simbólica — e reconhecer os agricultores familiares como protagonistas da transição ecológica.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo central analisar os Sistemas Agroflorestais (SAFs) não apenas como estratégias técnicas de enfrentamento das mudanças climáticas, mas como práticas que articulam saberes, territórios e disputas estruturais em torno da terra, da produção e do futuro. Buscou-se compreender de que maneira os SAFs desafiam o modelo agroindustrial dominante, como se relacionam com as políticas públicas e quais são suas implicações no campo da ecologia política, da crítica civilizatória e da organização coletiva. A partir dessa proposta, foram também considerados os limites institucionais e históricos que dificultam sua adoção em larga escala. Ao final deste percurso, conclui-se que os objetivos propostos foram não apenas alcançados, mas ampliados em sua complexidade analítica.

Os principais achados indicam que os SAFs representam uma alternativa radical não apenas do ponto de vista ecológico — ao regenerar solos, sequestrar carbono, conservar a biodiversidade e promover a resiliência climática —, mas também do ponto de vista sociopolítico. Eles criam fissuras no projeto de desenvolvimento hegemônico, ao propor uma outra relação com o tempo, com o espaço e com os modos de produzir. Ao serem construídos a partir de lógicas comunitárias, de saberes ancestrais e de práticas que valorizam a diversidade, os SAFs rompem com a monocultura não só das sementes, mas também da razão técnica, da produtividade compulsória e da ideia de progresso linear.

Do ponto de vista teórico, o trabalho insere-se numa abordagem crítica inspirada pela tradição marxista e ecossocialista. Ao adotar os conceitos de ruptura

metabólica (Marx), acumulação por espoliação (Harvey) e racionalidade ambiental (Leff), mostrou-se que os SAFs não são meras técnicas alternativas, mas práticas que questionam a própria separação moderna entre natureza e sociedade. Eles emergem como expressão de um metabolismo sociedade-ambiente mais sensível, recíproco e territorializado — incompatível com as dinâmicas de extração, financeirização e homogeneização imposta pelo agronegócio. O debate sobre agrofloresta, portanto, não se resolve na agronomia, mas se enraíza na política, na epistemologia e na ética.

Do ponto de vista institucional, o trabalho demonstrou que os SAFs têm enfrentado um processo de marginalização nas políticas públicas, mesmo diante de toda a sua eficácia ambiental e social. Com base nas análises desenvolvidas ao longo deste trabalho, propõe-se uma estrutura composta por quatro pilares para orientar políticas públicas voltadas ao fortalecimento dos sistemas agroflorestais: (1) acesso facilitado ao crédito e à terra; (2) formação técnica e política enraizada nos territórios; (3) valorização das redes agroecológicas já existentes; e (4) participação efetiva dos sujeitos do campo na construção, implementação e monitoramento das políticas. Embora elementos isolados desses eixos sejam reconhecidos na literatura sobre agroecologia e desenvolvimento rural, sua articulação integrada como diretriz de política pública ainda não foi sistematizada de forma explícita. Assim, esta proposta configura-se como uma contribuição original deste trabalho, fundada nas demandas concretas identificadas e na urgência de alinhar as estratégias de adaptação climática com transformações estruturais no campo. Sem isso, o risco de captura da agrofloresta por discursos verdes que carecem de efetividade permanece elevado.

Como contribuição prática, este trabalho oferece subsídios tanto para a formulação de políticas públicas mais sensíveis às diversidades regionais e territoriais, quanto para o fortalecimento das redes populares e movimentos que sustentam os SAFs no chão. Ao reconhecer os saberes não hegemônicos, como aqueles cultivados por comunidades quilombolas, indígenas, camponesas e periféricas, o trabalho se soma à luta contra o epistemicídio e pela ecologia de saberes. Seu compromisso é com a construção de um futuro que não exclua o passado nem ignore o presente dos que resistem.

Como limitação, reconhece-se a ausência de trabalho de campo direto ou de análise empírica de experiências específicas. Para pesquisas futuras, recomenda-se

aprofundar os estudos de caso, especialmente em territórios que integram SAFs com formas de organização popular, como assentamentos da reforma agrária, escolas de agroecologia ou redes de economia solidária. Também se destaca a necessidade de investigar como os SAFs dialogam com outras agendas públicas — como saúde, educação, alimentação escolar e planejamento urbano — e de compreender seus impactos subjetivos e simbólicos nos modos de vida locais.

Em síntese, este trabalho reafirma que os sistemas agroflorestais não são apenas arranjos produtivos sustentáveis. Eles expressam um deslocamento ético e simbólico profundo — da lógica da extração para a do cuidado, do domínio para a escuta, da produtividade para a convivência. São práticas de responsabilidade socioambiental coletiva, que cultivam não só alimentos, mas também vínculos, autonomia e imaginação política. Em tempos de crise civilizatória, os SAFs não oferecem uma solução pronta, mas abrem caminhos — caminhos que brotam no compasso da terra, nas mãos de quem a conhece, e na coragem de quem ainda escolhe semear o comum.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE, M. G. *et al.* The Contributions of Agroforestry to Achieve Food and Livelihood Security in Ethiopian Agricultural Community: A Comprehensive Review. **Small-scale Forestry**, 27 maio 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11842-025-09588-4>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 2021. 332 p., il. ISBN 9786588101193. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/acervo/detalhe/90683](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/90683).

AGUIAR, Caroline Boletta de Oliveira. **A ordem do discurso do desenvolvimento sustentável e o lítio verde**. Orientador: Dr. Jorge O. Romano. 2024. 177f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade)- Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/19225>.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

ALVES, Renato Marques; SOUZA, Nilo Ramos Moreira de; FREITAS, Helder Ribeiro; MARINHO, Cristiane Moraes; DUARTE, Francisco Ricardo; OLIVEIRA, Lúcia Marisy Souza Ribeiro de. APRENDIZADOS E DESAFIOS ÀS EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. **Revista de Estudos Interdisciplinares**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 01–20, 2024. DOI: 10.56579/rei.v6i2.1111. Disponível em: <https://revistas.ceeinter.com.br/revistadeestudosinterdisciplinar/article/view/1111>.

ASSIS JÚNIOR, S. L. de *et al.* Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, p. 35–41, fev. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/nvtYyVKFyZYy4hJSt6HFBZk/?lang=pt>

AZHAR, M. F; ALI, Ehsan; AZIZ, Abida. Regenerative Agroforestry for Soil Restoration, Biodiversity Protection, and Climate Change Mitigation. *In*: KUMAR, Sandeep *et al.* (Orgs.). **Regenerative Agriculture for Sustainable Food Systems**. Singapore: Springer Nature, 2024. p. 423–451. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-6691-8\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-6691-8_13).

BALBINO, L. C. *et al.* Agricultura Sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iPLF). **International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil**, n. 138, p. 1-18, jun. 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1111127/1/BalbinoAgriculturasustentavel.pdf>

BARRETO, Eduardo Sá. Mudanças climáticas e a tarefa do campo crítico: pelo abandono do voluntarismo geológico. **Encontro Nacional de Economia Política, XXIV, 2019b, Vitória**. Disponível em: <https://www.niepmarx.blog.br/MM/MM2019/AnaisMM2019/MC9/MC93.pdf>

BARRETO, Eduardo Silva. Capitalismo catástrofe e o fatalismo à espreita. **Argumentum**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 8–22, 2024. DOI: 10.47456/argumentum.v16i3.46030. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/argumentum/article/view/46030>.

BARROS, A. V. L. *et al.* Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-Açu, estado do Pará. **Revista Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v.5, n. 9, dez. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284730731>

BIRLA, Devilal *et al.* Agronomic Techniques to Improve Environmental Restoration and Climatic Resilience in the Agroforestry System. *In*: Kumar, S., Alam, B., Taria, S., Singh, P., Yadav, A., Arunachalam, A. (Orgs.). **Agroforestry Solutions for Climate Change and Environmental Restoration**. Singapore: Springer Nature, 2024. p. 437–462. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-5004-7\\_20](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-5004-7_20).

BOERS, N. Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 8, p. 680-688, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01097-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01097-4>.

BONNEUIL, C.; FRESSOZ, J.-B. **The shock of the Anthropocene: the earth, history and us**. London: Verso Books, 2016.

BORBA, João Flávio. As árvores na centralidade da resistência do planeta. MSt, [S.l.], 21 de setembro de 2023. Disponível em: <https://mst.org.br/2023/09/21/as-arvores-na-centralidade-da-resistencia-do-planeta/>

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Temperatura média do planeta rompe limite de 1,5 °C em 2024, apontam centros meteorológicos**. [Brasília]: MCTI, 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2025/01/temperatura-media-do-planeta-rompe-limite-de-1-5degc-em-2024-apontam-centros-meteorologicos>

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovação. **Mudança Do Clima No Brasil: Síntese Atualizada E Perspectivas Para Decisões Estratégicas**. [Brasília]: Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovação (MCTI), nov. 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/arquivos/Relatorio\\_Mudanca\\_Clima\\_Brasil\\_v2025.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/arquivos/Relatorio_Mudanca_Clima_Brasil_v2025.pdf)

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME), . **Balanco Energético Nacional – BEN 2023**. [Brasília]: Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ,[2024?]. Disponível em:<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energético-Nacional-BEN>

BRITZ, Wolfgang; VERBURG, Peter H.; LEIP, Adrian. Modelling of land cover and agricultural change in Europe: Combining the CLUE and CAPRI-Spat approaches. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Scaling methods in integrated assessment of agricultural systems. v. 142, n. 1, p. 40–50, 1 jul. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.008>.

BUENO, Fabio Lucas de Oliveira. **Política de saneamento e os instrumentos de gestão de recursos hídricos : o novo marco do saneamento e a estrutura organizacional Corsan : Guaíba, RS**. Orientadora: Profª Drª Ana Luiza Carvalho da Rocha. 2022. 120 f.Dissertação (Mestrado)—Porto Alegre, BR – RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos., 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/238385/001140817.pdf>.

CAI, W. *et al.* Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. **Nature Climate Change**, v. 4, n.2 ,p. 111-116, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>.

CARLOS, D. A. I. *et al.* Uma aplicação na geociência da termografia infravermelho para diagnosticar padrões térmico-hídricos em solos com culturas irrigadas por potes de argila no oeste do Pará, Amazônia. **Anuário do Instituto de Geociências**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 44, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/379115339>.

Centro Sabiá & Caatinga. (2015). *Sistemas Agroflorestais no Semiárido Brasileiro*. Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – MMA. Recife.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Estudo mapeia as causas e as circunstâncias que ocasionaram em 2024 a maior tragédia ambiental do RS. *Jornal da Unesp*, 20 maio 2025. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2025/05/20/estudo-do-cemaden-mapeia-as-causas-e-as-circunstancias-que-ocasionaram-em-2024-a-maior-tragedia-ambiental-do-rs/>

CEMADEN. **Relatório técnico: enchentes no Rio Grande do Sul - maio de 2024**. São José dos Campos: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, 2024. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/relatorios>.

CEMADEN. **NOTA TÉCNICA Nº 469/2024/SEI-CEMADEN - Mapeamento das manchas de inundações e enxurradas do desastre ocorrido no Rio Grande do Sul em abril-maio/2024**. Disponível em:

<https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/notas-tecnicas/nota-tecnica-no-469-2024-sei-cemaden-mapeamento-das-manchas-de-inundacoes-e-enxurradas-do-desastre-ocorrido-no-rio-grande-do-sul-em-abril-maio-2024>

CHENG, L. *et al.* Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 37, n. 2, p. 137–142, fev. 2020. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00376-020-9283-7>.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **2024 is the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial level**. Bonn: C3S/ECMWF, 2025. Disponível em:

<https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. Global temperature trends 2023. [S.l.]: Copernicus, 2024. Disponível em:

<https://climate.copernicus.eu/esotc/2023/surface-air-temperature#:~:text=Almost%20all%20land%20areas%2C%20including.America%2C%20and%20several%20other%20regions>

COUMOU, D.; RAHMSTORF, S. A decade of weather extremes. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 491-496, 2012. Disponível em:

<https://doi.org/10.1038/nclimate1452>.

COSTA, D. M. C.; PAULETTO, D. Importância dos sistemas agroflorestais na composição de renda de agricultores familiares: estudo de caso no município de Belterra, Pará. **Nativa**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 92–99, 2023. DOI: 10.31413/nativa.v9i1.9528 . Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/9528>.

<https://www.academia.edu/download/85687157/7954.pdf>.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Boletim Climático Mensal – Sul do Brasil: setembro e outubro de 2023. Cachoeira Paulista: INPE. Disponível em:

<https://www.cptec.inpe.br>

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The Anthropocene. **Global Change Newsletter**, v. 41, p. 17-18, maio, 2000. Disponível em:

<http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>

DE CARLI, A.; CONTER, M.; PROTO, C. Quando Gaia irrompe no congresso: enchentes no RS e narrativas do Antropoceno e apesar dele. **Mídia e Cotidiano**, v. 18, n. 3, p. 206-228, 26 set. 2024. Disponível em:

[https://www.academia.edu/download/118948835/DE\\_CARLI\\_CONTER\\_PROT O. 2024. Quando\\_Gaia\\_irrompe\\_no\\_congresso.pdf](https://www.academia.edu/download/118948835/DE_CARLI_CONTER_PROT O. 2024. Quando_Gaia_irrompe_no_congresso.pdf)

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. Boletim de atualização: enchentes 2024. Porto Alegre: Defesa Civil, 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/boletins-sobre-o-impacto-das-chuvas-no-rs>.

DIFFENBAUGH, Noah S.; FIELD, Christopher B. Changes in Ecologically Critical Terrestrial Climate Conditions. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 486–492, 2 ago. 2013. DOI: 10.1126/science.1237123. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1237123>

ESCOBAR, A. **Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds**. [S.l.]: Duke University Press, 2018.

FAO – Food and Agriculture organization of the United Nations. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Evaluation of FAO's country programme in Bolivia (2018–2022). Rome: FAO, maio 2022. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/658f48b2-6ed7-49d5-9293-5adbca1e605e/content>

FERREIRA, Valéria Suelen Moscheto. **Do imperialismo tradicional ao verde: continuidade e transformações na dominação global**. 2025. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Relações Internacionais) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Marília, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/c4f3f97d-2255-4b2c-b4f4-5e624f4588f6>.

FOSTER, J. B. **Marx's Ecology: Materialism and Nature**. New York: Monthly Review Press, 2000.

Food and Agriculture Organization (FAO). **The State of the World's Forests 2018: Forest pathways to sustainable development**. Rome: Food and Agriculture Organization, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i9535en/i9535EN.pdf>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); WORLD OVERVIEW OF CONSERVATION APPROACHES AND TECHNOLOGIES (WOCAT); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Sustainable land management in practice: guidelines and best practices for sub-Saharan Africa. Rome: FAO, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i1861e/i1861e00.htm>.

FRANCIS, J. A.; VAVRUS, S. J. Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 1, p. 014005, jan. 2015. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/1/014005>

FREITAS, R. DE C. M.; NÉLSIS, C. M.; NUNES, L. S.. A crítica marxista ao desenvolvimento (in)sustentável. **Revista Katálysis**, v. 15, n. 1, p. 41-51, jan. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rk/a/NLZZZWFwtHXHYMMPKz5YtQB/>

FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. **Saúde, ambiente e sustentabilidade** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2006, 124 p. Temas em saúde collection, vol. 5. ISBN 978-85-7541-369-2. <https://doi.org/10.7476/9788575413692>.

Disponível em: <https://books.scielo.org/id/phpfv/pdf/freitas-9788575413692.pdf>

GABRIEL, C. de S.; SOUZA-ESQUERDO, V. F. de. Agricultura familiar como agente de recuperação da Mata Atlântica e mitigação das mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM AGROECOLOGIA, 12, v. 19, 2024, Rio de Janeiro, RJ. **Anais eletrônicos**[...] Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Agroecologia, 2024. Disponível em:

<https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/9554>.

GARRITY, D. P. *et al.* Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. **Food Security**, v. 2, n. 3, p. 197–214, 1 set. 2010.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-010-0070-7>

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n. 7867, p. 388-393, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>

GIOVINAZZO JÚNIOR, Carlos Antônio; MUCACHE, Cornélio Raimundo. A economia da barbárie, raiz da crise socioambiental, e as mudanças climáticas: o papel da educação ambiental no paradoxo entre o progresso econômico e a produção da catástrofe. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 197–217, 2023. DOI:

10.14295/remea.v40i3.15631. Disponível em:

<https://periodicos.furg.br/remea/article/view/15631>.

GUERRA, Wagner dos Santos Dantas. Petrobras e mudanças climáticas: notas sobre o planejamento da transição ecológica-energética à brasileira. In: ENANPUR, 20., maio 2023, Belém. **Anais** [...] Belo horizonte, 2023, ST11.

Disponível em: <http://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st11-47.pdf>.

HARVEY, D. **O novo imperialismo**. Tradução de Adail Ubirajara Sobral e Maria Stela Gonçalves. São Paulo: Loyola, 2004.

HAUSFATHER, Z.; PETERS, G. P. Emissions - the 'business as usual' story is misleading. **Nature**, v. 577, p. 618-620, 29 jan. 2020. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00177-3>.

IPCC. Climate Change 2019: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

Disponível em:

<https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/media/climate-change-2023-synthesis-report-contribution-working-groups-i-ii-and-iii-sixth>

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 – Summary for Policymakers. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

IPCC. Summary for Policymakers. *In*: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 6., 2023, Genebra. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Genebra: IPCC, 2023. p. 1-42. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

IVANOFF, M. D. **Proveniência, taxa de sedimentação e propriedades magnéticas dos sedimentos holocênicos da Lagoa dos Patos**. Orientador: Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr. 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências, Geologia Marinha.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto De Geociências, Programa De Pós-Graduação Em Geociências, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/268069/001186808.pdf>.

International Energy Agency (IEA). World Energy Balances: Overview. França: International Energy Agency, abr. 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances#energy-balances>

JACOBS, Suzanne R. *et al.* Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 323, p. 109065, 15 ago. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192322002532>.

JEONG, Jee-Hoon *et al.* Emerging trans-Eurasian heatwave-drought train in a warming climate. **Science Advances**, v. 11, n. 18, p. eadr7320, 2 maio 2025. DOI: 10.1126/sciadv.adr7320. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adr7320>

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1–10, 1 maio 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>.

KUMAR, B. Mohan; NAIR, P. K. Ramachandran (org.). **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges.**

Advances in Agroforestry, v.8. Dordrecht: Springer Netherlands, 5 agos. 2011.

Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-1630-8>

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623–1627, 11 jun. 2004. DOI: 10.1126/science.1097396. Disponível em:

[https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1097396?casa\\_token=EqGAGjwbmtYAAAAA%3AtaYCVnwW4Q3aEiYb5WznpjBPCHSomfwhXdpYLVAXnsHQ\\_ERxZgqmueeaNfFTAoEelWhFHuZ\\_EHe1FnA](https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1097396?casa_token=EqGAGjwbmtYAAAAA%3AtaYCVnwW4Q3aEiYb5WznpjBPCHSomfwhXdpYLVAXnsHQ_ERxZgqmueeaNfFTAoEelWhFHuZ_EHe1FnA)

LEFF, E. **La apuesta por la vida: imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur.** México: Siglo XXI, 2014.

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder.** 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes Editora, 2001.

LENTON, Timothy M. *et al.* Climate tipping points — too risky to bet against.

**Nature**, v. 575, n. 7784, p. 592–595, nov. 2019. doi:

<https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0>

LOVEJOY, Thomas E.; NOBRE, Carlos. Amazon Tipping Point. **Science**

**Advances**, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 21 fev. 2018.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>. Disponível em:

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aat2340>

LÖWY, Michael. Ecosocialismo e planejamento democrático. **Crítica**

**Marxista**, Campinas, SP, v. 16, n. 28, p. 35–50, 2009. DOI:

10.53000/cma.v16i28.19417. Disponível em:

<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/cma/article/view/19417>.

LÖWY, Michael. **Marx, esse desconhecido.** São Paulo: Boitempo Editorial, 2023.

LÜTHI, D. *et al.* High-resolution carbon dioxide concentration record

650,000–800,000 years before present. **Nature**, v. 453, n. 7193, p. 379–382,

maio 2008. DOI: 10.1038/nature06949. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/nature06949>

MARX, K. **Manuscritos econômico-filosóficos.** Tradução de Jesus Ranieri.

São Paulo: Boitempo Editorial, 2004.

MARENCO, Jose A. Impactos sociais dos eventos climáticos extremos.

**Ciência e Cultura**, v. 76, n. 3, p. 01–08, jul. 2024.

Disponível em:

[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252024000300009](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252024000300009).

MARENGO, J. A.; LUEDMANN, G.; KLUG, L. B. Mudanças climáticas e os desafios brasileiros para implementação da nova agenda urbana. *In*: COSTA, Marco Aurélio (org.). **O Estatuto da Cidade e a Habitat III : um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a nova agenda urbana**. Brasília: IPEA, 2016. p. 303-322. Disponível em:  
<https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9184/1/Mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf>. ou  
[https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/160920\\_estatuto\\_cidade.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/160920_estatuto_cidade.pdf)

MARENGO, J. A. *et al.*. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 203–228, 2024. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/ea/a/LyHVHKhzm67CwpvcWPKPwTm>.

MARQUES, J. R. B.; MANDARINO, E. P.; MONTEIRO, W. R. Sistema agroflorestal como alternativa sustentável de produção de cacau, borracha, madeira e alimentos para agricultura familiar na região cacauzeira da Bahia. **Agrotrópica (Itabuna)**, v. 26, n. 2, p. 117–126, 31 ago. 2014. Disponível em:  
<https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1422/1/BR2015003503.pdf>.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016. Disponível em:  
<https://www.researchgate.net/publication/311766381>

MONTES-LONDOÑO, Irene. Tropical Dry Forests in Multi-functional Landscapes: Agroforestry Systems for Conservation and Livelihoods. *In*: MONTAGNINI, Florencia (Org.). **Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 47–78. Disponível em:  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-69371-2\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-69371-2_3)

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *In*: NAIR, P. K. R.; RAO, M. R.; BUCK, L. E. (org.s.). **New Vistas in Agroforestry: A Compendium for 1st World Congress of Agroforestry, 2004**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. p. 281–295.

MOORE, J. W. **Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital**. Londres: Verso, 2015.

MORIN, E. **O método 6: ética**. Porto Alegre: Editora Sulina, 2011

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Global climate change: vital signs of the planet. [S.l.]: NASA, 2023. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs>>.

NASA EARTH OBSERVATORY. Southern Brazil submerged. 2024. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/152787/southern-brazil-submerged>.

NASA- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, Goddard Institute for Space Studies. GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). v.4 .[Online]. Disponível em: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp>

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. Mauna Loa Observatory, Hawaii: NOAA, 2023. Disponível em: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends>

NOBRE, Carlos. A emergência climática e os novos limites: a importância do fator local. In: FERRER, João; DANÉRIS, Marcelo; MARQUES, Pedro Romero (org.). RS: Reflexões e resiliência – reconstrução do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria Extraordinária de Reconstrução do RS, 2025. p. 211–212.

NIAN, Da *et al.* A potential collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation may stabilise eastern Amazonian rainforests. **Communications Earth & Environment**, v. 4, n. 1, p. 470, 12 dez. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43247-023-01123-7>

OPAS - ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Relatório de impactos das enchentes no Rio Grande do Sul. Brasília: OPAS, 2024. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/brasil/relatorios-enchentes-2024>.

OPPENHEIMER, M., *et al.*. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: Pörtner, H.-O. *et al.* (orgs.). **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2019. p. 321-445. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>

ORTIGARA, A. M.; TERASSI, P. M. de B. Vulnerabilidade socioeconômica e a crise climática em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. In: Seminário Nacional de Geografia Econômica e Social (SENGES), 5., 2024, Foz do Iguaçu, **Anais eletrônicos** [...], Foz do Iguaçu/UNILA, 2024. p. 202- 223. Disponível em: <https://territorioidasideas.com/senges/final/anais%20vsenges/cl%20pdf/13Andrea.pdf>

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, Campinas (SP), v. 8., p.139- 162, maio 2007. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc\\_agricultura\\_brasil.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc_agricultura_brasil.pdf).

PEREIRA, Vinícius Vasconcelos. **Falha metabólica: conflitos socioambientais entre frações da cadeia produtiva brasileira de proteína bovina**. Orientadora: Profa. Dra. Ana Célia Castro. 2023. 226 f.. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: [https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2023/dissertação\\_vinicius\\_vasconcelos\\_pereira.pdf](https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2023/dissertação_vinicius_vasconcelos_pereira.pdf)

PHILIP, S. Y. *et al.* Rapid attribution analysis of the extraordinary heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021. **Earth System Dynamics**, v. 13, n. 4, p. 1689–1713, 8 dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/esd-13-1689-2022>; <https://esd.copernicus.org/articles/13/1689/2022/esd-13-1689-2022.html>.

PRATA, Renata de Loyola Prata. **Transição Energética Justa e Sindicatos Petroleiros: contradições entre capital, trabalho e natureza**. Monografia (Bacharelado em Direito). Orientador: Lawrence Estivalet de Mello – Faculdade de Direito, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/39347>

POMPEU, Gisele do Socorro dos Santos *et al.* Influência das características socioeconômicas de agricultores familiares na adoção de sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 54, n. 1, p. 33–41, 19 ago. 2011. Disponível em: <https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/92>

QUERIDO, Fabio Mascaro. Na Contramão da (Pós-)Modernidade: o “marxismo Romântico” de Michael Löwy. *Plural*, São Paulo, Brasil, v. 16, n. 1, p. 111–122, 2009. DOI: 10.11606/issn.2176-8099.pcs0.2009.75211. Disponível em: <https://revistas.usp.br/plural/article/view/75211>.

RS RESILIÊNCIA e SUSTENTABILIDADE. Seminário Científico - RS Resiliência e Sustentabilidade. São Paulo: FESPSP, 2025. Disponível em: <https://rs-resiliente.com.br>.

RODRIGUES, Meghie. Aquecimento global ameaça principal sistema de correntes marinhas do Atlântico. *Revista Pesquisa FAPESP*, São Paulo, maio 2024. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/aquecimento-global-ameaca-principal-sistema-de-correntes-marinhas-do-atlantico/>.

ROUSI, Efi *et al.* Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 3851, 28 jul. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-31432-y>.

SABINE, C. L. *et al.* The Oceanic Sink for Anthropogenic CO<sub>2</sub>. **Science**, v. 305, n. 5682, p. 367–371, 16 jul. 2004. DOI:

<https://doi.org/10.1126/science.1097403>. Disponível em:  
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1097403>

SANGALLI, A. R. *et al.* Sistemas agroflorestais biodiversos: estilo ecológico de agricultura em assentamentos rurais em áreas de transição ecológica de Mata Atlântica e Cerrado do estado de São Paulo. **Desafio Online**, v. 9, n. 3, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.55028/don.v9i3.10214>. Disponível em:  
<https://periodicos.ufms.br/index.php/deson/article/view/10214>

SANTOS, B. DE S.; ARAÚJO, S.; BAUMGARTEN, M.. As Epistemologias do Sul num mundo fora do mapa. **Sociologias**, v. 18, n. 43, p. 14–23, set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/soc/a/Y3Fh6D3ywMCFym4wMFVdzsq/>

SANTOS, T.; CABRAL, V.; ARAÚJO, M. V.; GASPAR FILHO, V. Governança ambiental global no contexto da mudança climática: o caso do Rio Grande do Sul. FECAP, junho 2024. Disponível em:

[https://europa.fecap.br/wp-content/uploads/2024/07/Report-4-eixo-03-junho-2024\\_v2.pdf](https://europa.fecap.br/wp-content/uploads/2024/07/Report-4-eixo-03-junho-2024_v2.pdf).

SAMPAIO, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. A Atmosfera E As Mudanças Climáticas. *In*: BUCKERIDGE, Marcos (org.). **Biologia & mudanças climáticas no Brasil**. São Carlos, SP: RiMa, 2008. p. 05- 28. Disponível em:

[http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao@80/2008/12.04.12.45.46/doc/sampaio\\_atmosfera.pdf](http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao@80/2008/12.04.12.45.46/doc/sampaio_atmosfera.pdf).

SCHNEIDER, M. O. **Índice de vulnerabilidade como método de análise de risco a inundação da bacia hidrográfica do Arroio Feijó, RS**. Orientador: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto De Geociências, Programa De Pós-Graduação Em Geografia, Porto Alegre, 2017. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169472/001049466.pdf>.

SCHUUR, E. A. G. *et al.* Climate change and the permafrost carbon feedback. **Nature**, v. 520, n. 7546, p. 171–179, abr. 2015. DOI: 10.1038/nature14338.

Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14338>.

SCHWARTZ, G. Antropoceno e direito: observação sistêmica das enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul. *In*: Rudnicki, Dani; Miranda de, José Alberto Antunes (org.). **Crise Climática e o Rio Grande do Sul: perspectivas sociojurídicas sobre as enchentes de 2024**. Canoas, RS: Ed. Unilasalle, 2024. p.106- 116. Disponível em:

[https://repositorio.unilasalle.edu.br/bitstream/11690/4008/3/Livro\\_crise\\_climatic\\_a\\_PPGD.Finalizado.pdf#page=106](https://repositorio.unilasalle.edu.br/bitstream/11690/4008/3/Livro_crise_climatic_a_PPGD.Finalizado.pdf#page=106).

SEFERIAN, G. Ecosocialismo e humanismo. **Germinal: marxismo e educação em debate**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 515–534, 2021. DOI: 10.9771/gmed.v13i2.45211. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistagerminal/article/view/45211>.

SERREZE, M. C.; BARRY, R. G. Processes and impacts of Arctic amplification: a research synthesis. **Global and Planetary Change**, v. 77, n. 1-2, p. 85–96, 1 maio 2011. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.03.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818111000397>

SILVA, C. M. *et al.* Variação temporal do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 1–12, mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/tVMFNbL887Lr4c4YQjfcSmk/?lang=pt>

SIRANGELO, F. R. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da região hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>.Dejanira Luderitz Saldanha. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/106586/000944345.pdf>.

SHEPHERD, A. *et al.* Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018. **Nature**, v. 579, n. 7798, p. 233–239, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1855-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1855-2>

SHERWOOD, S. C. *et al.* An Assessment of Earth's Climate Sensitivity Using Multiple Lines of Evidence. **Reviews of Geophysics**, v. 58, n. 4, p. e2019RG000678, 13 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019RG000678>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019rg000678>

SIMIÃO, Luciana do Nascimento. **Crise climática, mecanismos de mercado e a financeirização da natureza: uma análise da degradação socioambiental regulamentada pela farsa ideológica do mercado de carbono**. Orientador: Andrea Lima da Silva. 2021. 277f. Tese (Doutorado em Serviço Social) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/32905>

SIMOES-SOUSA, Iury T. *et al.* The May 2024 Flood Disaster in Southern Brazil: Causes, Impacts, and SWOT-Based Volume Estimation. **Geophysical Research Letters**, v. 52, n. 4, p. e2024GL112442, 21 fev. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024GL112442>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2024GL112442>.

SILVA, N. DE S. *et al.*. Ocorrência de Ondas de Calor com Dados de Reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 4, p. 441–451, out. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/nY4D3kzrPmZhH5zxr3Vvrm/?lang=pt>.

SILVA, G. C.. **Desempenho do cupuaçuzeiro e atributos do solo em consórcio agroflorestal com pupunha, copaíba e andiroba**. Orientador: Dr. Tadário Kamel de Oliveira. 2019. 68f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco (AC), 2019. Disponível em: <http://www2.ufac.br/ppga/menu/dissertacoes/dissertacoes-2/2019/geisy-cavalcante-silva.pdf>

Souza, J. L., Silva, A. C., & Lima, H. C. *Efeito de diferentes sistemas de uso da terra sobre a temperatura e umidade do solo na Amazônia*. EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119196/1/2010AA111.pdf>

THOMPSON, L. G. *et al.* Annually Resolved Ice Core Records of Tropical Climate Variability over the Past ~1800 Years. **Science**, v. 340, n. 6135, p. 945–950, 24 maio 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1234210>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1234210>

TORRACO, Richard J. Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. **Human Resource Development Review**, v. 4, n. 3, p. 356–367, 1 set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1534484305278283>

TONIOLO, G. R. **Identificação de constituintes opticamente ativos na água do lago Guaíba, a partir de dados de sensores orbitais e espectrorradiometria de campo**. Orientador: Laurindo Antonio Guasselli. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150210/001007300.pdf>.

TRENBERTH, K. E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, v. 47, p. 123-138, 31 mar. 2011. DOI: 10.3354/cr00953. Disponível em: [https://www.int-res.com/articles/cr\\_oa/c047p123.pdf](https://www.int-res.com/articles/cr_oa/c047p123.pdf)

TUEL, A. *et al.* Large-Scale Drivers of Persistent Extreme Weather During Early Summer 2021 in Europe. **Geophysical Research Letters**, v. 49, n. 18, p. e2022GL099624, 21 set. 2022. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022GL099624>

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mudanças climáticas e cheias no RS: fatores oceanográficos e atmosféricos de 2023. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph>

VAZ, V. B. **Avaliação do custo do risco de inundações urbanas: estudo de caso dos danos de inundação em Porto Alegre-RS**. Orientador: Carlos André Bulhões Mendes. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117458/000968335.pdf>.

VAN WESTEN, R. M. et al. Physics-based early warning signal shows that AMOC is on tipping course. *Science Advances*, v. 10, n. 6, eadk1189, 2024. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk1189>.

WATANABE, Tatiane Anju. Imperialismo ecológico: a exploração de lítio na Bolívia como “alternativa sustentável” ou “nova maldição”? *In*: Lopes, Arleson Eduardo Monte Palma; Miranda, Iná Camila Ramos Favacho de (org.s). **Economia Ecológica, Território E Desenvolvimento Sustentável: Perspectivas E Desafios - VOLUME 2**. Guarujá, São Paulo: Editora Científica Digital, maio 2023. p. 1-33. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/221211505.pdf>.

YANG, Yiling; XIONG, Kangning; XIAO, Jie. A review of agroforestry biodiversity-driven provision of ecosystem services and implications for karst desertification control. *Ecosystem Services*, v. 67, p. 101634, 1 jun. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041624000408>.