REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EVENTOS EXTREMOS E PRODUÇÃO DE BIOMASSA: IMPACTOS, VULNERABILIDADES E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

CLIMATE CHANGE, EXTREME EVENTS AND BIOMASS PRODUCTION: IMPACTS, VULNERABILITIES AND ADAPTATION STRATEGIES

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias • 16/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794557323

Kalleno Padilha[1]

Maico Danúbio Duarte Abreu[2]

Wesley de Freitas[3]

Juliana da Silva Tavares Pereira[4]

André Luiz Ferreira da Silva[5]

RESUMO

As mudanças climáticas têm provocado alterações nas condições ambientais e ampliado preocupações relacionadas à ocorrência de eventos extremos e aos seus efeitos sobre os sistemas naturais e produtivos. Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, com o objetivo de analisar os impactos das mudanças climáticas e dos eventos extremos sobre a produção de biomassa, considerando as principais vulnerabilidades e estratégias de adaptação. A discussão contempla alterações nos regimes de temperatura e precipitação, secas, ondas de calor, chuvas intensas e outros eventos capazes de interferir na disponibilidade hídrica, no desenvolvimento vegetal e na produtividade de sistemas agrícolas, florestais e destinados à produção energética. Os estudos analisados indicam que os efeitos climáticos não ocorrem de maneira uniforme, uma vez que dependem das características ambientais, das espécies cultivadas, das condições socioeconômicas e da capacidade de adaptação dos sistemas produtivos. Nesse contexto, práticas de conservação do solo e da água, diversificação produtiva, seleção de espécies mais tolerantes às condições adversas, sistemas integrados de produção e utilização de tecnologias de monitoramento climático constituem estratégias relevantes para reduzir vulnerabilidades. Conclui-se que a adaptação da produção de biomassa às mudanças climáticas exige planejamento, conhecimento científico, manejo adequado dos recursos naturais e desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes, capazes de responder às alterações ambientais sem ampliar a degradação dos ecossistemas.

Palavras-chave: Biomassa; Eventos Extremos; Vulnerabilidade Climática; Adaptação; Resiliência.

ABSTRACT

Climate change has altered environmental conditions and increased concerns regarding the occurrence of extreme events and their effects on natural and productive systems. This study is characterized as a qualitative and descriptive literature review aimed at analyzing the impacts of climate change and extreme events on biomass production, considering the main vulnerabilities and adaptation strategies. The discussion addresses changes in temperature and precipitation patterns, droughts, heat waves, intense rainfall, and other events capable of affecting water availability, plant development, and the productivity of agricultural, forestry, and energy-oriented systems. The studies analyzed indicate that climate impacts do not occur uniformly, as they depend on environmental characteristics, cultivated species, socioeconomic conditions, and the adaptive capacity of production systems. In this context, soil and water conservation practices, production diversification, selection of species more tolerant to adverse conditions, integrated production systems, and the use of climate monitoring technologies constitute relevant strategies for reducing vulnerabilities. It is concluded that adapting biomass production to climate change requires planning, scientific knowledge, appropriate management of natural resources, and the development of more resilient production systems capable of responding to environmental changes without increasing ecosystem degradation.

Keywords: Biomass; Extreme Events; Climate Vulnerability; Adaptation; Resilience.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão entre os principais desafios ambientais do século XXI, uma vez que seus efeitos ultrapassam as

alterações na temperatura e alcançam os ecossistemas, os recursos hídricos e diferentes atividades produtivas. Secas prolongadas, ondas de calor, chuvas intensas e outros eventos extremos podem modificar as condições necessárias ao desenvolvimento das plantas e comprometer sistemas que dependem diretamente da disponibilidade de água, da qualidade do solo e da regularidade climática.

A produção de biomassa está inserida nesse contexto. De maneira geral, a biomassa corresponde à matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser aproveitada para diferentes finalidades, incluindo alimentação, produção de fibras, geração de energia e fabricação de bioprodutos. Sua disponibilidade depende de processos biológicos diretamente influenciados pelas condições ambientais. Por isso, mudanças nos padrões de temperatura e precipitação podem interferir no crescimento das plantas, na produtividade agrícola e florestal e, consequentemente, na quantidade de matéria orgânica disponível para aproveitamento.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) destaca que as alterações climáticas já vêm afetando sistemas agrícolas e florestais em diferentes regiões do mundo. O aumento das temperaturas, as modificações na disponibilidade hídrica e os eventos extremos interferem na produtividade e na estabilidade das colheitas. Esses efeitos são particularmente preocupantes quando diferentes fatores climáticos ocorrem de forma combinada, como períodos de temperaturas elevadas acompanhados de déficit hídrico.

Nesse cenário, a relação entre clima e produção de biomassa precisa ser compreendida para além da redução ou do aumento da

produtividade. Os impactos dependem das características de cada região, das espécies utilizadas, das condições do solo, da disponibilidade de água e da capacidade dos sistemas produtivos de responder às alterações ambientais. Isso significa que um mesmo evento climático pode produzir consequências diferentes dependendo do território e das condições de produção.

Lesk et al. (2022) ressaltam que eventos extremos relacionados ao calor e à disponibilidade de água podem ocorrer simultaneamente durante o ciclo de desenvolvimento das culturas, aumentando os riscos para a produção. Essa interação torna o problema ainda mais complexo, pois os organismos vegetais podem enfrentar diferentes tipos de estresse em um mesmo período.

No Brasil, essa discussão apresenta particularidades importantes em razão da extensão territorial e da diversidade climática e ambiental. Algumas regiões convivem historicamente com maior irregularidade das chuvas e ocorrência de secas, enquanto outras estão mais expostas a chuvas intensas, inundações ou diferentes combinações de eventos extremos.

O Nordeste brasileiro merece atenção nesse debate. Marengo, Torres e Alves (2017), ao analisarem as secas na região, destacam sua recorrência e seus impactos sobre a agricultura, os recursos hídricos e as populações. Em áreas semiáridas, a redução das chuvas combinada ao aumento das temperaturas pode intensificar a evaporação e ampliar a pressão sobre reservatórios, irrigação e atividades agrícolas.

Esses impactos também apresentam uma dimensão social e econômica. Pequenos produtores e comunidades que dependem

diretamente dos recursos naturais podem possuir menor capacidade de absorver perdas sucessivas ou realizar investimentos em irrigação, tecnologias e mudanças nos sistemas de produção. Assim, a vulnerabilidade climática não depende apenas da intensidade do evento extremo, mas também das condições existentes para enfrentá-lo e recuperar-se de seus efeitos.

A produção de biomassa ocupa uma posição particular nessa discussão porque pode ser afetada pelas mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, integrar estratégias relacionadas à transição para sistemas produtivos e energéticos mais sustentáveis. A biomassa pode ser utilizada como matéria-prima para energia, combustíveis e diferentes bioprodutos. Entretanto, sua produção precisa considerar disponibilidade de terras e água, conservação dos ecossistemas e sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Dessa forma, ampliar a produção de biomassa sem observar os limites ambientais pode criar novos problemas. A busca por maior produtividade precisa estar acompanhada de planejamento e manejo adequado dos recursos naturais, evitando processos de degradação do solo, perda de biodiversidade ou aumento da competição pelo uso da água e da terra.

Diante desse cenário, torna-se necessário compreender não somente os impactos das mudanças climáticas, mas também as possibilidades de adaptação. O IPCC (2023) aponta diferentes estratégias aplicáveis aos sistemas produtivos, entre elas melhorias de cultivares, manejo e armazenamento de água, conservação da umidade do solo, irrigação, agroflorestas, diversificação da produção e manejo sustentável da terra.

A adaptação não significa eliminar completamente os riscos climáticos. Seu objetivo é reduzir vulnerabilidades e aumentar a capacidade dos sistemas naturais e produtivos de responder às alterações ambientais. No caso da biomassa, isso pode envolver a utilização de espécies mais tolerantes ao calor e ao déficit hídrico, melhoria do manejo do solo, aproveitamento mais eficiente da água, diversificação das culturas e utilização de informações meteorológicas para orientar decisões produtivas.

Nesse contexto, o problema que orienta esta pesquisa pode ser expresso pela seguinte questão: de que maneira as mudanças climáticas e os eventos extremos afetam a produção de biomassa e quais vulnerabilidades e estratégias de adaptação podem ser identificadas para aumentar a resiliência dos sistemas produtivos diante das alterações ambientais?

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar os impactos das mudanças climáticas e dos eventos extremos sobre a produção de biomassa, identificando vulnerabilidades e discutindo estratégias de adaptação capazes de contribuir para sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

Como objetivos específicos, busca-se compreender a relação entre mudanças climáticas, eventos extremos e produção de biomassa; identificar os principais efeitos das alterações de temperatura e precipitação sobre o desenvolvimento vegetal; analisar as vulnerabilidades dos sistemas produtivos diante de secas, ondas de calor e excesso de precipitação; discutir os fatores ambientais e socioeconômicos que influenciam a capacidade de adaptação; e apresentar estratégias que possam contribuir para a conservação

dos recursos naturais e para a continuidade da produção em condições climáticas adversas.

A realização deste estudo justifica-se pela crescente necessidade de adaptar sistemas produtivos às alterações ambientais. A biomassa possui importância para diferentes setores econômicos, incluindo agricultura, produção florestal e geração de energia, o que torna sua vulnerabilidade climática uma questão que ultrapassa os limites ambientais e alcança dimensões econômicas e sociais.

Também é necessário considerar que os impactos não são distribuídos de maneira uniforme. Regiões com maior exposição a secas, altas temperaturas e irregularidade das chuvas podem enfrentar dificuldades adicionais, principalmente quando essas condições se associam à escassez de recursos financeiros, tecnológicos ou hídricos.

Nesse sentido, compreender as vulnerabilidades existentes permite discutir estratégias mais adequadas às características de cada sistema produtivo. Monitoramento climático, conservação do solo e da água, diversificação da produção e adoção de espécies adaptadas às condições locais são exemplos de medidas que podem contribuir para diminuir perdas e aumentar a capacidade de resposta diante dos eventos extremos.

Assim, estudar a relação entre mudanças climáticas, eventos extremos e produção de biomassa significa reconhecer que produção e conservação ambiental não podem ser tratadas como questões separadas. O desafio está em desenvolver sistemas capazes de produzir diante de condições climáticas cada vez mais

adversas sem ampliar a pressão sobre os recursos naturais, conciliando produtividade, adaptação e sustentabilidade.

2. METODOLOGIA

2.1. Delineamento da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e documental, de abordagem qualitativa, com caráter descritivo e exploratório. O percurso metodológico foi definido a partir do objetivo de compreender como as mudanças climáticas e os eventos extremos podem afetar a produção de biomassa, bem como identificar vulnerabilidades e estratégias de adaptação aplicáveis aos sistemas produtivos.

A pesquisa bibliográfica foi utilizada para reunir conhecimentos científicos relacionados às mudanças climáticas, produção vegetal, biomassa, eventos extremos, vulnerabilidade e adaptação. De acordo com Gil (2008), a pesquisa bibliográfica permite examinar contribuições já produzidas sobre determinado problema e construir uma análise a partir de diferentes perspectivas teóricas e científicas.

A análise documental complementou essa etapa por meio da consulta a relatórios técnicos e documentos produzidos por instituições nacionais e internacionais relacionadas ao clima, agricultura, energia e meio ambiente. Essa combinação permitiu aproximar os resultados encontrados na literatura científica das avaliações e recomendações presentes em documentos técnicos.

2.2. Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi direcionado para estudos relacionados aos efeitos das mudanças climáticas sobre os sistemas naturais e produtivos, especialmente aqueles envolvendo produção vegetal e disponibilidade de biomassa.

Foram consideradas bases e plataformas acadêmicas como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ScienceDirect e Web of Science.

As buscas foram orientadas por descritores em português e inglês, incluindo “mudanças climáticas”, “eventos climáticos extremos”, “produção de biomassa”, “vulnerabilidade climática”, “adaptação climática”, “seca e produção agrícola”, “ondas de calor”, “biomass production”, “climate change”, “extreme weather events” e “climate adaptation”.

Os termos foram utilizados individualmente e de maneira combinada, buscando localizar estudos capazes de explicar tanto os impactos diretos das alterações climáticas sobre a produção quanto os fatores que tornam determinados sistemas mais vulneráveis.

2.3. Critérios de Seleção das Fontes

Foram considerados artigos científicos, livros, capítulos, relatórios técnicos e documentos institucionais relacionados diretamente aos objetivos da pesquisa. A seleção priorizou publicações que apresentassem discussão sobre mudanças na temperatura e precipitação, ocorrência de eventos extremos, disponibilidade hídrica, produção vegetal, biomassa, vulnerabilidade dos sistemas produtivos e estratégias de adaptação.

Também foram mantidos estudos considerados relevantes para compreender situações específicas, como as secas no Nordeste brasileiro e seus efeitos sobre agricultura e recursos hídricos.

Foram excluídos materiais duplicados, textos sem identificação adequada de autoria ou procedência e publicações cujo conteúdo não apresentasse relação direta com a questão investigada.

Não foi definido previamente um número fixo de estudos. O corpus bibliográfico foi constituído conforme a pertinência das publicações para os objetivos estabelecidos, evitando atribuir à pesquisa uma quantidade artificial de trabalhos que não correspondesse ao levantamento realizado.

2.4. Pesquisa Documental

A pesquisa documental concentrou-se em relatórios e publicações produzidos por instituições reconhecidas na discussão sobre mudanças climáticas, agricultura, segurança alimentar, recursos naturais e energia.

Entre os documentos utilizados, destacam-se os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), principalmente as contribuições do Sexto Relatório de Avaliação, que apresentam evidências científicas relacionadas aos impactos das mudanças climáticas, vulnerabilidades e possibilidades de adaptação (IPCC, 2022; IPCC, 2023).

Também foram considerados, quando relacionados às categorias analisadas, documentos técnicos de organismos como a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Agência Internacional de Energia (IEA), especialmente

para contextualizar as relações entre produção agrícola, recursos naturais, biomassa e utilização energética.

A utilização dessas fontes permitiu trabalhar com documentos de caráter técnico e científico sem substituir a literatura acadêmica, funcionando como elemento complementar para a interpretação dos resultados.

2.5. Amostra Bibliográfica e Documental

Por se tratar de uma revisão bibliográfica e documental, a pesquisa não envolveu experimentos, coleta de amostras vegetais, entrevistas, questionários ou participação direta de produtores e comunidades.

A amostra correspondeu ao conjunto de publicações científicas e documentos técnicos selecionados por sua relação com o objeto de estudo. Foram contemplados materiais relacionados aos impactos climáticos sobre sistemas agrícolas e florestais, disponibilidade hídrica, desenvolvimento vegetal, biomassa e estratégias de adaptação.

Essa delimitação também define o alcance dos resultados. As conclusões apresentadas correspondem à síntese e interpretação da literatura consultada e não representam resultados experimentais produzidos diretamente pelos autores deste estudo.

2.6. Instrumento de Organização e Análise

Para organizar as informações encontradas, foi utilizada uma matriz de análise temática. O instrumento permitiu reunir, de maneira padronizada, os principais elementos presentes em cada fonte.

Foram observados: autoria e ano de publicação; tipo de evento climático analisado; sistema produtivo abordado; impactos identificados; fatores de vulnerabilidade; consequências sobre disponibilidade ou produção de biomassa; estratégias de adaptação apresentadas; e principais contribuições para a compreensão do problema.

Nos documentos institucionais, foram consideradas principalmente as informações relacionadas aos riscos climáticos, vulnerabilidades, medidas de adaptação e possibilidades de aumento da resiliência dos sistemas produtivos.

2.7. Procedimentos de Análise

A análise ocorreu inicialmente por meio da leitura exploratória das publicações, seguida da seleção dos materiais diretamente relacionados ao problema de pesquisa. Posteriormente, realizou-se uma leitura interpretativa, buscando identificar aproximações, diferenças e aspectos recorrentes entre os estudos.

Os resultados foram organizados a partir da relação entre evento climático, impacto, vulnerabilidade e resposta adaptativa. Esse procedimento permitiu observar, por exemplo, como alterações na precipitação podem modificar a disponibilidade de água e, consequentemente, interferir no desenvolvimento vegetal e na produção de biomassa.

A interpretação considerou ainda que os impactos climáticos não podem ser analisados isoladamente das condições ambientais e socioeconômicas. Conforme apontado pelo IPCC (2022), os riscos relacionados às mudanças climáticas resultam da interação entre perigos climáticos, exposição e vulnerabilidade. Assim, sistemas

submetidos ao mesmo tipo de evento extremo podem apresentar consequências diferentes em função de sua localização, estrutura produtiva e capacidade de adaptação.

2.8. Categorias Temáticas

A partir dos objetivos da pesquisa, a análise foi organizada nas seguintes categorias:

a. mudanças climáticas e eventos extremos: alterações de temperatura e precipitação, secas, ondas de calor, chuvas intensas e outros eventos capazes de interferir nos sistemas produtivos;

b. impactos sobre a produção de biomassa: efeitos sobre desenvolvimento vegetal, produtividade, disponibilidade hídrica e produção agrícola, florestal ou energética;

c. vulnerabilidade dos sistemas produtivos: condições ambientais, econômicas e tecnológicas que podem ampliar ou reduzir os efeitos dos eventos climáticos;

d. recursos hídricos e conservação do solo: influência da disponibilidade de água e das condições do solo sobre a capacidade produtiva;

e. estratégias de adaptação: manejo do solo e da água, diversificação produtiva, seleção de espécies adaptadas, sistemas integrados, monitoramento climático e outras medidas destinadas à redução dos riscos;

f. resiliência e sustentabilidade: capacidade dos sistemas produtivos de responder às alterações ambientais mantendo sua funcionalidade sem ampliar a degradação dos recursos naturais.

Essas categorias foram utilizadas como referência para organizar os resultados e estabelecer o diálogo entre as diferentes fontes consultadas.

2.9. Limitações do Estudo

A principal limitação está relacionada ao caráter bibliográfico e documental da pesquisa. Os resultados permitem identificar tendências, impactos, vulnerabilidades e estratégias descritas na literatura, mas não substituem avaliações realizadas diretamente em áreas agrícolas, florestais ou destinadas à produção de biomassa.

Além disso, as respostas às mudanças climáticas podem variar consideravelmente entre regiões, espécies vegetais e sistemas de manejo. Dessa forma, as estratégias de adaptação apresentadas não devem ser compreendidas como soluções universais, mas como possibilidades que precisam ser avaliadas de acordo com as condições ambientais, sociais e produtivas de cada território.

Apesar dessas limitações, o percurso metodológico possibilitou integrar evidências científicas e documentos técnicos, oferecendo uma visão ampla sobre as relações entre mudanças climáticas, eventos extremos e produção de biomassa e fornecendo a base necessária para a discussão dos impactos, vulnerabilidades e alternativas de adaptação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura mostrou que a relação entre mudanças climáticas e produção de biomassa envolve diferentes fatores ambientais e produtivos. Entre os principais achados destacam-se os efeitos do aumento das temperaturas, das alterações nos regimes de precipitação, das secas e das ondas de calor sobre o desenvolvimento vegetal e a disponibilidade de água. Ao mesmo tempo, verificou-se que a intensidade desses impactos depende das características de cada região, das espécies cultivadas e da capacidade de adaptação dos sistemas produtivos.

3.1. Eventos Extremos e Impactos Sobre a Produção de Biomassa

Os estudos analisados indicam que temperatura e disponibilidade hídrica estão entre os fatores que mais influenciam o desenvolvimento das plantas. Quando as condições ambientais ultrapassam os limites de tolerância das espécies, processos relacionados ao crescimento e à produção de matéria vegetal podem ser prejudicados.

O IPCC (2022) aponta que as mudanças climáticas já provocam impactos sobre sistemas agrícolas e florestais, enquanto a ocorrência de extremos climáticos aumenta os riscos para a produção. Secas prolongadas, por exemplo, reduzem a disponibilidade de água no solo e podem comprometer o desenvolvimento das culturas. Ondas de calor também representam um fator importante, principalmente quando coincidem com períodos críticos do ciclo das plantas.

A combinação entre calor e deficiência hídrica merece atenção especial. Lesk et al. (2022) demonstram que diferentes extremos climáticos podem ocorrer de maneira simultânea durante o período

de crescimento das culturas, aumentando a complexidade dos riscos enfrentados pelos sistemas produtivos.

As chuvas intensas também podem produzir efeitos negativos. Embora a disponibilidade de água seja essencial à produção vegetal, volumes elevados concentrados em pequenos períodos podem favorecer erosão, perda de nutrientes, encharcamento e danos às culturas. Dessa forma, o problema climático não está relacionado apenas à quantidade total de precipitação, mas também à sua distribuição ao longo do tempo.

3.2. Vulnerabilidades Ambientais e Produtivas

Os resultados também evidenciam que os impactos não são distribuídos de maneira uniforme. A vulnerabilidade depende da exposição aos eventos climáticos, da sensibilidade dos sistemas produtivos e da capacidade existente para responder às alterações.

No Nordeste brasileiro, por exemplo, a irregularidade das chuvas e a ocorrência de secas constituem desafios históricos. Marengo, Torres e Alves (2017) destacam que os episódios de seca produzem consequências sobre os recursos hídricos, a agricultura e diferentes atividades econômicas da região.

Essa situação torna-se particularmente importante para sistemas dependentes das chuvas ou que possuem acesso limitado à irrigação. A redução da disponibilidade hídrica pode afetar diretamente a quantidade de biomassa produzida e aumentar a instabilidade da produção.

Além das condições ambientais, fatores econômicos e tecnológicos influenciam a capacidade de adaptação. Sistemas com menor

acesso a tecnologias, assistência técnica, informações climáticas ou infraestrutura hídrica podem apresentar maiores dificuldades para responder aos eventos extremos.

Tabela 1. Eventos climáticos, possíveis impactos e estratégias de adaptação

Evento ou alteração climática	Possíveis impactos sobre a biomassa	Estratégias de adaptação
Seca prolongada	Déficit hídrico e redução do desenvolvimento vegetal	Manejo eficiente da água e espécies tolerantes à seca
Ondas de calor	Estresse térmico e alterações no crescimento	Cultivares adaptadas e ajuste do calendário produtivo
Chuvas intensas	Erosão, encharcamento e perda de nutrientes	Conservação do solo e melhoria da drenagem
Irregularidade das chuvas	Maior instabilidade da produção	Monitoramento climático e diversificação produtiva
Calor associado à seca	Intensificação do estresse vegetal	Manejo integrado do solo e da água

Fonte: Elaborado pelos autores com base em IPCC (2022; 2023), Marengo, Torres e Alves (2017) e Lesk et al. (2022).

3.3. Estratégias de Adaptação e Aumento da Resiliência

Diante dos riscos identificados, a literatura aponta que a adaptação precisa considerar as características ambientais e produtivas de cada território. Não existe uma única medida capaz de responder a todas as consequências das mudanças climáticas.

Entre as possibilidades encontram-se conservação do solo, melhoria da eficiência no uso da água, diversificação de culturas, escolha de espécies e variedades mais tolerantes às condições adversas e utilização de informações meteorológicas para orientar decisões. O IPCC (2023) também destaca estratégias relacionadas ao manejo da água, conservação da umidade do solo, diversificação e sistemas agroflorestais.

A diversificação apresenta importância porque reduz a dependência de uma única espécie ou sistema produtivo. Da mesma forma, práticas de conservação do solo ajudam a manter umidade, matéria orgânica e condições necessárias ao desenvolvimento vegetal.

O monitoramento climático pode complementar essas medidas ao fornecer informações para decisões sobre plantio, irrigação, colheita e manejo. Entretanto, sua utilização depende do acesso dos produtores às informações e da capacidade de transformá-las em decisões práticas.

3.4. Biomassa, Adaptação e Sustentabilidade

A análise mostra ainda que aumentar a resiliência da produção de biomassa não significa buscar produtividade a qualquer custo. Estratégias de adaptação precisam considerar a conservação dos recursos naturais e evitar que a resposta às mudanças climáticas gere novas pressões ambientais.

Nesse sentido, solo, água e biodiversidade assumem papel central. Sistemas produtivos mais diversificados e adaptados às condições locais tendem a oferecer alternativas para enfrentar variações climáticas, embora os resultados dependam das características de cada território.

Os achados reforçam, portanto, que os impactos das mudanças climáticas sobre a biomassa resultam da interação entre condições climáticas, características ambientais e capacidade de adaptação. A redução da vulnerabilidade exige planejamento e combinação de diferentes estratégias, articulando conhecimento científico, manejo sustentável e tecnologias adequadas às realidades produtivas.

Assim, a adaptação deve ser entendida como um processo contínuo. Diante de condições climáticas em transformação, produzir biomassa de maneira sustentável dependerá cada vez mais da capacidade de antecipar riscos, utilizar os recursos naturais de forma eficiente e construir sistemas produtivos capazes de responder aos eventos extremos sem ampliar a degradação ambiental.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas e dos eventos extremos sobre a produção de biomassa, identificando as principais vulnerabilidades dos sistemas produtivos e discutindo estratégias de adaptação capazes de contribuir para maior resiliência diante das alterações ambientais.

A análise realizada mostrou que mudanças nos regimes de temperatura e precipitação, secas prolongadas, ondas de calor e chuvas intensas podem interferir diretamente no desenvolvimento vegetal e, consequentemente, na disponibilidade e produção de biomassa. Entre os fatores mais relevantes destacam-se a disponibilidade de água, as condições do solo, as características das espécies utilizadas e a intensidade e duração dos eventos climáticos.

Os resultados também demonstraram que esses impactos não ocorrem da mesma maneira em todos os territórios. Regiões que

apresentam maior exposição a secas e irregularidade das chuvas, como determinadas áreas do Nordeste brasileiro, podem enfrentar desafios adicionais. Além das condições ambientais, fatores econômicos, tecnológicos e estruturais influenciam a capacidade dos sistemas produtivos de responder aos eventos extremos.

Nesse cenário, a adaptação assume papel fundamental. Práticas de conservação do solo e da água, diversificação da produção, utilização de espécies mais tolerantes às condições adversas, melhoria do manejo, monitoramento climático e planejamento das atividades produtivas constituem possibilidades para reduzir vulnerabilidades. Entretanto, essas estratégias precisam considerar as particularidades ambientais e socioeconômicas de cada região.

Como contribuição, este estudo reúne aspectos ambientais e produtivos que ajudam a compreender a relação entre mudanças climáticas, eventos extremos e produção de biomassa. A análise reforça que adaptação e sustentabilidade devem caminhar juntas, uma vez que aumentar a capacidade produtiva sem considerar a conservação do solo, da água e da biodiversidade pode intensificar problemas ambientais já existentes.

Conclui-se que a construção de sistemas de produção de biomassa mais resilientes depende da integração entre conhecimento científico, planejamento, tecnologias adequadas e manejo sustentável dos recursos naturais. Diante de um cenário climático em transformação, antecipar riscos e ampliar a capacidade de adaptação tornam-se medidas importantes para reduzir perdas e preservar a continuidade das atividades produtivas.

Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar estudos realizados em diferentes contextos regionais, especialmente em áreas mais vulneráveis à seca e ao aumento das temperaturas. Pesquisas de campo também podem avaliar, em condições reais de produção, a eficiência de diferentes estratégias de manejo, espécies adaptadas e tecnologias de monitoramento, contribuindo para identificar soluções adequadas às características de cada território.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Climate-smart agriculture sourcebook.** 2. ed. Rome: FAO, 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, José. **Energy, environment and development.** 2. ed. London: Earthscan, 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (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.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability.** Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (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. Core Writing Team; H. Lee; J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. 184 p. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

LESK, Corey; ANDERSON, Weston; RIGDEN, Angela; COAST, Onoriode; JÄGERMEYR, Jonas; MCDERMID, Sonali; DAVIS, Kyle F.; KONAR, Megan. Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. **Nature Reviews Earth & Environment,** London, v. 3, p. 872-889, 2022. DOI: 10.1038/s43017-022-00368-8.

MARENGO, José A.; TORRES, Roger R.; ALVES, Lincoln M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology,** Vienna, v. 129, p. 1189-1200, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

PÖRTNER, Hans-Otto; ROBERTS, Debra C.; TIGNOR, Melinda; POLOCZANSKA, Elvira S.; MINTENBECK, Katja; ALEGRÍA, Andrés; CRAIG, Marlies; LANGSDORF, Stephanie; LÖSCHKE, Sina; MÖLLER, Vincent; OKEM, Andrew; RAMA, Bardhyl (eds.). **Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability.** Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.

[1] Engenharia Ambiental e Sanitária (em andamento). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, PR. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Licenciatura em Física e Matemática. Escola Técnica Everardo Passos. Pelotas, RS. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8654-8493. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Administração de Empresas. Universidade Evangélica de Goiás. Anápolis, Goiás. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Direito. Mestrado em Educação - UNIARA. Novo Horizonte, SP. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Doutorado em Engenharia Florestal. UFLA. Belo Horizonte, MG. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6402-312X. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail