

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
POTENCIAIS DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE OS RECURSOS
HÍDRICOS E O SOLO EM
MINAS GERAIS: UMA
ANÁLISE DE
SENSIBILIDADE AMBIENTAL
BASEADA EM CENÁRIOS
CLIMÁTICOS**

**ASSESSMENT OF POTENTIAL CLIMATE CHANGE IMPACTS ON WATER
RESOURCES AND SOIL IN MINAS GERAIS: AN ENVIRONMENTAL
SENSITIVITY ANALYSIS BASED ON CLIMATE SCENARIOS**

Ciências Agrárias • 31/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/788046260](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/788046260)

Emilly Gomes de Araujo¹

Gabriel Augusto Oliveira Silva²

Miriam Alves de Lima³

Sandra Fátima de Macedo⁴

Sulamita Vasconcelos de Matos Lima⁵

Leyser Rodrigues Oliveira⁶

RESUMO

As mudanças climáticas podem produzir efeitos distintos sobre os recursos naturais em função das características ambientais, territoriais e socioeconômicas de cada região. Este estudo tem como objetivo avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e os solos em Minas Gerais, considerando diferentes contextos territoriais e a interação entre exposição climática, sensibilidade ambiental e capacidade adaptativa. A pesquisa possui abordagem qualitativa, caráter descritivo-exploratório e fundamenta-se em pesquisa bibliográfica e documental, com análise de publicações científicas, relatórios técnicos e documentos institucionais. As evidências foram organizadas segundo quatro fatores de estresse climático — aumento da temperatura, redução das precipitações, chuvas extremas e períodos prolongados de estiagem — e analisadas em relação aos recursos hídricos e aos solos. Para sistematizar os resultados, foi elaborada uma matriz qualitativa de sensibilidade ambiental, com classificação dos impactos em níveis baixos, médio e alto, além da regionalização da análise para o Norte de Minas e áreas semiáridas, Sul de Minas e Zona da Mata e territórios marcados pela atividade minerária. Os resultados indicam elevada sensibilidade dos recursos hídricos ao aumento das temperaturas, à redução das precipitações e ao prolongamento das estiagens, enquanto os solos apresentam maior sensibilidade às chuvas extremas, especialmente em áreas suscetíveis à erosão e à instabilidade. A análise regional demonstrou que os efeitos não ocorrem de forma homogênea, sendo condicionados pelas características ambientais, pelos usos do território e pela capacidade de resposta institucional. Conclui-se que a redução das vulnerabilidades climáticas em Minas Gerais exige estratégias territorializadas de adaptação, articuladas ao planejamento ambiental, à gestão dos recursos hídricos e dos solos

e ao fortalecimento da capacidade institucional.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Recursos hídricos; Solos; Sensibilidade ambiental; Capacidade adaptativa; Minas Gerais.

ABSTRACT

Climate change can produce distinct effects on natural resources depending on the environmental, territorial, and socioeconomic characteristics of each region. This study aims to assess the potential impacts of climate change on water resources and soils in Minas Gerais, considering different territorial contexts and the interplay between climate exposure, environmental sensitivity, and adaptive capacity. The research employs a qualitative approach with a descriptive-exploratory nature, grounded in a review of literature and documents, including scientific publications, technical reports, and institutional records. Evidence was organized according to four climate stress factors—rising temperatures, reduced precipitation, extreme rainfall, and prolonged dry spells—and analyzed in relation to water resources and soils. To systematize the findings, a qualitative environmental sensitivity matrix was developed, classifying impacts as low, medium, or high, and regionalizing the analysis to cover Northern Minas and semi-arid areas, Southern Minas and the *Zona da Mata*, and territories characterized by mining activity. The results indicate high sensitivity of water resources to rising temperatures, reduced precipitation, and prolonged dry spells, whereas soils show greater sensitivity to extreme rainfall, particularly in areas prone to erosion and instability. The regional analysis demonstrated that these effects are not uniform, being conditioned by environmental characteristics, land use patterns, and institutional response capacity. The study concludes that reducing climate vulnerabilities in Minas Gerais requires place-based adaptation strategies integrated with

environmental planning, water and soil resource management, and the strengthening of institutional capacity.

Keywords: Climate change; Water resources; Soils; Environmental sensitivity; Adaptive capacity; Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios ambientais contemporâneos em razão de seus efeitos sobre os sistemas naturais, as atividades econômicas e as condições de vida das populações. Embora a variabilidade climática faça parte da dinâmica natural do planeta, as alterações observadas desde o período industrial estão associadas ao aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa decorrentes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento e das mudanças no uso e ocupação da terra (Nobre; Reid; Veiga, 2012). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas reconhece a influência humana sobre o sistema climático e aponta o aumento da temperatura média global, as alterações nos regimes de precipitação e a intensificação de eventos climáticos extremos entre as principais manifestações desse processo (IPCC, 2021). Os efeitos das mudanças climáticas não se restringem, portanto, à elevação das temperaturas. Alterações na distribuição espacial e temporal das chuvas, períodos prolongados de estiagem e episódios de precipitação intensa podem produzir repercussões importantes sobre a disponibilidade dos recursos naturais. Entre os componentes ambientais particularmente sensíveis encontram-se os recursos hídricos e os solos, cuja dinâmica está diretamente relacionada às condições de temperatura, precipitação, evapotranspiração, infiltração, cobertura vegetal e formas de uso da terra. Em relação aos recursos hídricos, mudanças nos padrões de precipitação

podem modificar os processos de recarga, os regimes de vazão e a disponibilidade de água para diferentes usos. Ao mesmo tempo, temperaturas mais elevadas podem intensificar as perdas de água por evaporação e evapotranspiração, contribuindo para situações de déficit hídrico. Tais alterações possuem implicações para o abastecimento humano, a produção agropecuária, a irrigação, a geração de energia e outras atividades dependentes da regularidade da oferta de água. Os solos também apresentam elevada dependência das condições climáticas. Chuvas intensas e concentradas podem aumentar o escoamento superficial, favorecer processos erosivos e ampliar o transporte de sedimentos, sobretudo em áreas de maior declividade ou submetidas à redução da cobertura vegetal. Em sentido distinto, períodos prolongados de estiagem podem diminuir a umidade dos solos e exercer pressão adicional sobre a vegetação e sobre sua capacidade produtiva. A intensidade desses efeitos, entretanto, não depende exclusivamente do fator climático, mas também das características ambientais e das formas de ocupação e utilização do território. Em Minas Gerais, essa discussão assume especial relevância em razão da elevada diversidade ambiental, climática e socioeconômica do estado. O território mineiro compreende áreas de contribuição de importantes bacias hidrográficas brasileiras e sustenta atividades agropecuárias, industriais, energéticas e minerárias de grande importância econômica. Ao mesmo tempo, apresenta contrastes expressivos entre regiões de características semiáridas, áreas agrícolas com maior disponibilidade hídrica e territórios intensamente modificados pelas atividades humanas. As projeções climáticas para Minas Gerais também indicam que as alterações de temperatura e precipitação podem apresentar comportamentos distintos entre as diferentes porções do estado, reforçando a necessidade de interpretações territorialmente diferenciadas. Essa heterogeneidade pode ser

observada nos estudos regionalizados já desenvolvidos. Para o Norte de Minas, Neres et al. (2025) identificaram, em diferentes cenários climáticos, tendência de aumento das temperaturas máximas e mínimas e ampliação de períodos de déficit hídrico, ainda que o comportamento da precipitação não seja uniforme entre as projeções. No Sul do estado, Zákha et al. (2021), ao analisarem a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaguara, identificaram alterações projetadas de temperatura e precipitação com repercussões sobre o comportamento hidrológico da bacia. Esses resultados demonstram que os impactos potenciais das mudanças climáticas não devem ser generalizados para todo o território mineiro. A necessidade de regionalização torna-se ainda mais relevante quando se consideram as formas de uso do território. No Norte de Minas, a irregularidade das precipitações e a ocorrência de déficits hídricos podem ampliar pressões sobre o abastecimento e sobre sistemas produtivos dependentes das chuvas. No Sul de Minas e em áreas agrícolas, a combinação entre alterações de temperatura, disponibilidade hídrica, necessidade de irrigação e ocorrência de chuvas concentradas pode afetar simultaneamente os recursos hídricos e a conservação dos solos. Em territórios marcados pela atividade minerária, por sua vez, eventos pluviométricos extremos podem se sobrepor a vulnerabilidades ambientais e territoriais preexistentes, exigindo que as variáveis climáticas sejam consideradas nos processos de planejamento e gestão de riscos. A compreensão dessas diferenças exige que a vulnerabilidade não seja analisada apenas a partir da presença de um determinado fator climático. Neste estudo, considera-se que os efeitos potenciais resultam da interação entre a exposição aos fatores de estresse climático, a sensibilidade dos recursos hídricos e dos solos e a capacidade adaptativa dos territórios. Dessa forma, regiões submetidas a pressões climáticas semelhantes podem apresentar consequências

distintas em razão de diferenças relacionadas à infraestrutura, às características ambientais, aos instrumentos de planejamento e à capacidade institucional de resposta. A capacidade adaptativa assume, nesse contexto, importância particular. A existência de instrumentos de planejamento e gestão ambiental pode contribuir para a redução das vulnerabilidades, mas sua efetividade depende da implementação, do monitoramento, da articulação institucional e da incorporação das especificidades regionais. Assim, a discussão sobre adaptação climática não pode se limitar à identificação de medidas técnicas isoladas, devendo envolver também as condições institucionais e territoriais necessárias para sua efetiva aplicação. Diante desse cenário, torna-se relevante desenvolver uma análise que articule as projeções climáticas disponíveis às diferentes condições ambientais e territoriais de Minas Gerais, identificando quais combinações entre fatores de estresse e componentes ambientais apresentam maior sensibilidade e como a capacidade adaptativa pode interferir nessas vulnerabilidades. Essa abordagem permite superar uma interpretação exclusivamente descritiva dos possíveis impactos e avançar para uma leitura comparativa e territorializada, capaz de contribuir para o planejamento ambiental e para a formulação de estratégias de adaptação. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e os solos em Minas Gerais, considerando diferentes contextos territoriais e a interação entre exposição climática, sensibilidade ambiental e capacidade adaptativa. Para tanto, são analisadas evidências provenientes de publicações científicas, relatórios técnicos e documentos institucionais, buscando sistematizar os principais fatores de estresse climático, identificar diferenças regionais de vulnerabilidade e discutir os desafios associados ao planejamento e à adaptação climática no estado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios socioambientais da atualidade, uma vez que seus efeitos ultrapassam a dimensão estritamente atmosférica e repercutem sobre os sistemas naturais, as atividades econômicas, a organização territorial e as condições de vida das populações. Embora a variabilidade climática seja uma característica natural do sistema terrestre, as alterações observadas desde o período pré-industrial estão fortemente associadas às atividades humanas, sobretudo à queima de combustíveis fósseis, às mudanças no uso e ocupação da terra e ao desmatamento, responsáveis pela intensificação das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (NOBRE; REID; VEIGA, 2012). Nesse contexto, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reconhece que o aquecimento do sistema climático é inequívoco e que as atividades humanas constituem a principal causa do aquecimento observado desde meados do século XX, com repercussões sobre diferentes componentes do sistema climático e ambiental (IPCC, 2021). O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC reforça que as alterações climáticas contemporâneas envolvem não apenas o aumento das temperaturas médias, mas também modificações nos regimes de precipitação, intensificação de determinados eventos extremos e mudanças na frequência e duração de períodos de seca e de precipitação intensa (IPCC, 2023). Dessa maneira, compreender as mudanças climáticas requer uma perspectiva integrada, capaz de considerar as interações entre atmosfera, água, solo, vegetação, atividades produtivas e ocupação do território.

No Brasil, os impactos das mudanças climáticas assumem características diferenciadas em razão da ampla diversidade

ambiental, climática, econômica e social existente no território. As condições de relevo, cobertura vegetal, disponibilidade hídrica, uso do solo, estrutura produtiva e capacidade institucional influenciam diretamente a forma como cada região responde às alterações do clima. Assim, uma mesma alteração na temperatura ou na precipitação pode provocar efeitos distintos em territórios diferentes, dependendo das condições ambientais e sociais preexistentes. O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas destaca que os impactos relacionados às alterações do clima devem ser compreendidos a partir da interação entre exposição, vulnerabilidade e capacidade de adaptação, uma vez que os riscos climáticos não são determinados exclusivamente pela intensidade dos fenômenos naturais, mas também pelas condições dos territórios atingidos (PBMC, 2014). Essa perspectiva é fundamental para a análise dos impactos ambientais, pois permite compreender que a ocorrência de um evento climático não necessariamente resulta em consequências semelhantes em diferentes espaços geográficos.

A vulnerabilidade ambiental pode ser compreendida, nesse contexto, como resultado da interação entre a exposição de determinado território aos fatores de estresse climático, a sensibilidade dos sistemas naturais e sociais e a capacidade existente para enfrentar, responder e adaptar-se às alterações. A exposição está relacionada à presença de pessoas, ecossistemas, atividades econômicas e infraestrutura em áreas sujeitas a determinados perigos ou alterações climáticas, enquanto a sensibilidade corresponde ao grau em que esses sistemas podem ser afetados. A capacidade adaptativa, por sua vez, envolve os recursos, conhecimentos, instituições, infraestrutura e mecanismos de planejamento disponíveis para reduzir ou enfrentar os impactos. Essa concepção demonstra que a vulnerabilidade não é estática

nem distribuída de maneira homogênea, sendo influenciada pelas características ambientais, econômicas, sociais e institucionais de cada território. Estudos realizados no Norte de Minas Gerais, por exemplo, identificam diferentes níveis de vulnerabilidade às mudanças climáticas, demonstrando que exposição e capacidade de adaptação não se distribuem uniformemente mesmo dentro de uma mesma região (FREITAS; CALHEIROS; REIS, 2019).

Minas Gerais apresenta condições particularmente relevantes para a análise desses processos devido à sua diversidade ambiental e territorial. O estado possui extensa área territorial, diferentes formações vegetais, variações climáticas relacionadas à latitude, altitude e relevo e importantes sistemas hidrográficos. Seu território abrange áreas de contribuição de bacias hidrográficas de grande relevância nacional, como as dos rios São Francisco, Grande, Paranaíba, Doce, Jequitinhonha, Mucuri e Paraíba do Sul, que desempenham funções essenciais para o abastecimento humano, a agricultura, a indústria e a geração de energia. A diversidade ambiental mineira também se associa a diferentes formas de ocupação e utilização do território, incluindo atividades agropecuárias, industriais e minerárias, o que contribui para a existência de diferentes níveis de exposição e sensibilidade às alterações climáticas.

As projeções climáticas desenvolvidas para Minas Gerais indicam tendências de aumento das temperaturas e alterações na distribuição das precipitações, embora a magnitude e o comportamento dessas mudanças apresentem diferenças entre as regiões do estado. Reboita et al. (2018) ressaltam a necessidade de considerar os diferentes cenários climáticos projetados para Minas Gerais, enquanto estudos regionalizados demonstram que as

alterações futuras não devem ser interpretadas como uniformes para todo o território. Neres et al. (2025), ao analisarem os efeitos das mudanças climáticas no Norte de Minas Gerais, identificaram tendência de elevação das temperaturas máximas e mínimas e ampliação dos períodos de déficit hídrico em diferentes cenários climáticos. Entretanto, os autores também observaram que o comportamento das precipitações pode variar entre os cenários, demonstrando que a vulnerabilidade hídrica não está necessariamente associada apenas à redução do volume anual de chuvas, mas também à sua irregularidade e distribuição temporal.

Os recursos hídricos estão entre os componentes ambientais mais sensíveis às mudanças climáticas, pois sua disponibilidade está diretamente relacionada à dinâmica das precipitações, temperaturas, evaporação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial. Alterações nesses processos podem modificar os regimes de vazão, a recarga dos sistemas hídricos e a disponibilidade de água para diferentes usos. O aumento das temperaturas pode intensificar a evaporação e a evapotranspiração, elevando a demanda atmosférica por água e contribuindo para a redução da disponibilidade hídrica em determinadas condições. Quando associado a períodos prolongados de baixa precipitação, esse processo pode ampliar os déficits hídricos e aumentar a pressão sobre sistemas de abastecimento, agricultura, indústria e geração de energia. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico destaca a importância da disponibilidade e da gestão adequada dos recursos hídricos diante das pressões ambientais e das diferentes demandas existentes sobre as águas brasileiras (ANA, 2024).

A precipitação, por sua vez, deve ser analisada não somente a partir de seu volume total, mas também considerando sua distribuição temporal e espacial. A ocorrência de chuvas concentradas em períodos curtos pode favorecer o escoamento superficial, reduzir a infiltração e aumentar o transporte de sedimentos, enquanto períodos prolongados de estiagem podem reduzir a umidade do solo e a disponibilidade de água nos sistemas superficiais e subterrâneos. Dessa maneira, o aumento ou redução do volume anual de precipitação não constitui, isoladamente, indicador suficiente da disponibilidade hídrica. É necessário considerar a interação entre precipitação, temperatura, evapotranspiração, características das bacias hidrográficas, uso do território e demandas existentes. Estudos realizados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaguara, no Sul de Minas Gerais, demonstraram que alterações projetadas na temperatura e na precipitação podem repercutir sobre o comportamento hidrológico da bacia, evidenciando a sensibilidade dos sistemas hídricos às mudanças climáticas (ZÁKHIA et al., 2021).

A vulnerabilidade dos recursos hídricos também está relacionada às características socioeconômicas e institucionais dos territórios. Regiões que dependem fortemente da disponibilidade natural de água para o abastecimento ou para atividades produtivas podem apresentar maior sensibilidade diante de alterações na precipitação e na temperatura. No Norte de Minas Gerais, por exemplo, as características climáticas e a irregularidade histórica das chuvas tornam a disponibilidade hídrica um importante fator de vulnerabilidade. Os resultados apresentados por Neres et al. (2025) indicam que a ampliação dos períodos de déficit hídrico pode aumentar a pressão sobre os sistemas de abastecimento e sobre atividades produtivas dependentes das condições pluviométricas.

Nesse sentido, a segurança hídrica depende não apenas da quantidade de água disponível, mas também da capacidade de armazenamento, distribuição, gestão e planejamento dos recursos existentes.

Além dos recursos hídricos, os solos constituem componente ambiental diretamente influenciado pelas alterações climáticas. Sua dinâmica está relacionada à disponibilidade de água, cobertura vegetal, características físicas e químicas, relevo e formas de uso e ocupação. As mudanças nos regimes de precipitação podem interferir nos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão, enquanto períodos prolongados de estiagem podem reduzir a umidade do solo e comprometer a cobertura vegetal. Dessa forma, os impactos climáticos sobre os solos dependem tanto das características do fenômeno climático quanto das condições ambientais e das práticas de manejo existentes.

As chuvas intensas e concentradas constituem importante fator de pressão sobre os solos, principalmente em áreas de maior declividade ou que apresentam redução da cobertura vegetal. O aumento do escoamento superficial pode intensificar processos erosivos, promover o transporte de sedimentos e contribuir para o assoreamento dos corpos hídricos. No Sul de Minas Gerais, estudos relacionados à ocorrência de erosão e voçorocas demonstram que determinadas áreas apresentam condições preexistentes de vulnerabilidade associadas às características do solo, relevo e uso da terra (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011). Nesse contexto, alterações na frequência ou intensidade das precipitações podem atuar como fator adicional de pressão sobre sistemas ambientais já fragilizados.

Por outro lado, temperaturas elevadas e períodos prolongados de estiagem podem reduzir a umidade do solo, comprometer a cobertura vegetal e ampliar a suscetibilidade à degradação. Essa situação apresenta particular relevância no Norte de Minas Gerais, onde determinadas áreas apresentam características climáticas mais secas e influência de condições semiáridas. A presença de áreas de Caatinga no território mineiro também insere a região no debate relacionado à degradação das terras e à desertificação. Souza, Artigas e Lima (2015) destacam que os processos de desertificação devem ser compreendidos a partir da interação entre condições ambientais, utilização dos recursos naturais e alterações na cobertura vegetal. Assim, não se pode afirmar que todo o Norte de Minas esteja submetido a processos de desertificação, mas a combinação entre condições semiáridas, irregularidade das precipitações, degradação da vegetação e pressão sobre os recursos naturais constitui importante elemento de vulnerabilidade ambiental.

A relação entre mudanças climáticas, recursos hídricos e solos torna-se ainda mais complexa quando considerada em conjunto com as diferentes formas de uso e ocupação do território. A redução da cobertura vegetal pode aumentar o escoamento superficial e diminuir a infiltração, contribuindo simultaneamente para a erosão dos solos e para alterações na dinâmica dos recursos hídricos. Da mesma forma, a redução da disponibilidade de água pode comprometer a vegetação e a capacidade produtiva dos solos, estabelecendo relações de interdependência entre diferentes componentes ambientais. Dessa maneira, a análise dos impactos climáticos exige uma perspectiva sistêmica, na qual os recursos naturais sejam compreendidos como elementos interdependentes.

Essa abordagem integrada é especialmente necessária em Minas Gerais em razão da diversidade de atividades econômicas e formas de ocupação existentes no território. No Sul do estado, a atividade agropecuária apresenta forte relação com a disponibilidade hídrica e as condições do solo. Alterações simultâneas na temperatura e na precipitação podem aumentar a necessidade de irrigação, modificar os períodos de cultivo e elevar os riscos associados à ocorrência de eventos extremos. Zákchia et al. (2021) demonstram que alterações climáticas projetadas para uma bacia hidrográfica do Sul de Minas podem produzir efeitos sobre o comportamento hidrológico, evidenciando a necessidade de incorporar os cenários climáticos ao planejamento dos recursos hídricos e das atividades produtivas.

Nas regiões marcadas pela atividade minerária, por sua vez, os impactos das mudanças climáticas devem ser analisados considerando a sobreposição entre eventos climáticos extremos e vulnerabilidades territoriais preexistentes. A mineração pode modificar a paisagem, alterar condições de drenagem, produzir áreas de solo exposto e demandar estruturas permanentes de monitoramento e gestão de riscos. Nessas condições, chuvas intensas podem favorecer processos de escoamento superficial, erosão, transporte de sedimentos e instabilidade em áreas suscetíveis. Entretanto, é importante evitar interpretações causais simplificadas, uma vez que a ocorrência de eventos climáticos extremos não determina isoladamente acidentes relacionados à mineração. Os riscos decorrem da interação entre condições climáticas, características técnicas e estruturais, formas de ocupação, processos de gestão e capacidade institucional de prevenção. Garcia, Viana e Lima (2023) destacam a importância da integração das dimensões ambiental, social e territorial na gestão de riscos associados aos eventos extremos.

A heterogeneidade territorial de Minas Gerais demonstra, portanto, que os efeitos das mudanças climáticas não podem ser generalizados para todo o estado. No Norte de Minas, a vulnerabilidade está fortemente associada à irregularidade das precipitações, aos períodos prolongados de déficit hídrico e às condições de maior restrição hídrica. No Sul de Minas, a relação entre recursos hídricos, atividade agropecuária, relevo e conservação dos solos assume maior importância. Nas áreas submetidas à atividade minerária, por outro lado, a análise deve incorporar a sobreposição entre eventos climáticos extremos, alterações da paisagem, infraestrutura e vulnerabilidades territoriais. Essa diferenciação reforça a necessidade de estratégias de adaptação territorializadas e compatíveis com as características específicas de cada região.

Nesse contexto, a capacidade adaptativa assume papel central na redução das vulnerabilidades. A capacidade de um território responder às mudanças climáticas está relacionada à existência de infraestrutura, recursos financeiros, conhecimento técnico, sistemas de monitoramento, instituições organizadas e instrumentos de planejamento. Assim, dois territórios submetidos a condições climáticas semelhantes podem apresentar níveis de impacto distintos em função de suas capacidades de prevenção, resposta e adaptação. O PBMC (2014) destaca justamente a importância de considerar a capacidade adaptativa na avaliação dos impactos e vulnerabilidades relacionados às mudanças climáticas.

Minas Gerais dispõe de instrumentos que podem contribuir para o fortalecimento dessa capacidade adaptativa. O Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais constitui uma ferramenta de planejamento territorial que reúne informações sobre

vulnerabilidade natural e potencialidade social, podendo subsidiar decisões relacionadas ao uso e ocupação do território (MINAS GERAIS, [s.d.]). A gestão dos recursos hídricos por bacias hidrográficas também representa importante mecanismo de planejamento, pois permite considerar as características e demandas específicas de diferentes territórios. No âmbito da política climática estadual, o Decreto nº 45.229, de 2009, estabeleceu medidas relacionadas ao combate às mudanças climáticas e à gestão das emissões de gases de efeito estufa, enquanto o Decreto nº 48.896, de 2024, instituiu o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima (MINAS GERAIS, 2009; MINAS GERAIS, 2024).

Entretanto, a existência de instrumentos legais e institucionais não significa, necessariamente, que todos os territórios apresentem elevada capacidade adaptativa. A efetividade das estratégias de adaptação depende da articulação institucional, disponibilidade de recursos, continuidade das políticas públicas, produção e utilização de informações científicas, monitoramento dos riscos e incorporação das especificidades locais aos processos decisórios. Dessa maneira, a adaptação climática deve ser compreendida como um processo permanente de planejamento, gestão e aprendizagem, e não apenas como resposta pontual após a ocorrência de eventos extremos.

A conservação dos recursos naturais constitui, nesse sentido, componente fundamental das estratégias de adaptação. A proteção de nascentes, recuperação de matas ciliares, manutenção da cobertura vegetal, manejo conservacionista dos solos, controle da erosão e monitoramento das bacias hidrográficas podem contribuir para reduzir a sensibilidade dos sistemas ambientais. Entretanto,

essas medidas apresentam maior potencial de efetividade quando articuladas a políticas públicas, planejamento territorial, participação institucional e monitoramento contínuo. A adaptação às mudanças climáticas, portanto, não deve ser compreendida apenas como adoção de medidas técnicas, mas como processo que envolve governança ambiental, capacidade institucional e integração entre diferentes setores.

A literatura analisada evidencia, portanto, que os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e os solos são resultado de relações complexas entre fatores climáticos, características ambientais, formas de uso e ocupação do território e capacidade adaptativa. O aumento das temperaturas, a alteração dos regimes de precipitação, a ocorrência de chuvas intensas e a prolongação dos períodos de estiagem podem produzir efeitos diferenciados sobre os sistemas ambientais. Nos recursos hídricos, destacam-se riscos relacionados à redução da disponibilidade, alterações de vazão, intensificação da evapotranspiração e aumento dos déficits hídricos. Nos solos, sobressaem processos relacionados à perda de umidade, erosão, degradação e redução da capacidade produtiva. A intensidade desses impactos, entretanto, depende das características de cada território e das condições existentes para prevenção e adaptação.

Dessa forma, a compreensão dos impactos das mudanças climáticas em Minas Gerais exige uma abordagem territorializada e integrada, capaz de considerar simultaneamente exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. A análise regional permite reconhecer que os riscos climáticos não se distribuem de forma homogênea e que as estratégias de enfrentamento precisam ser adequadas às características ambientais e socioeconômicas de cada região. Essa

perspectiva fundamenta a necessidade de articulação entre conhecimento científico, planejamento ambiental, gestão dos recursos hídricos, conservação dos solos e fortalecimento das instituições públicas. A construção de estratégias de adaptação mais efetivas depende, portanto, da capacidade de transformar as evidências científicas sobre os impactos climáticos em ações concretas de planejamento e gestão territorial.

Nesse sentido, a análise da vulnerabilidade ambiental em Minas Gerais deve considerar não apenas as alterações futuras projetadas para temperatura e precipitação, mas também as condições ambientais já existentes e os fatores que podem ampliar ou reduzir os impactos. A utilização de uma matriz qualitativa de sensibilidade, relacionando os fatores de estresse climático aos recursos hídricos e aos solos, constitui uma forma de sistematizar essas relações e identificar os componentes que apresentam maior sensibilidade em diferentes contextos territoriais. Tal abordagem não substitui análises quantitativas de risco, mas permite organizar as evidências disponíveis e estabelecer comparações entre diferentes fatores climáticos e componentes ambientais. Conforme demonstrado no estudo, essa perspectiva contribui para evitar generalizações e reforça a importância de considerar as especificidades regionais na formulação de estratégias de adaptação.

Assim, o referencial teórico sustenta a compreensão de que as mudanças climáticas representam um fenômeno multidimensional, cujos efeitos sobre os recursos hídricos e os solos dependem da interação entre fatores climáticos, características ambientais, uso do território e capacidade institucional. Em Minas Gerais, essa interação produz diferentes padrões de vulnerabilidade, justificando a adoção de estratégias territorializadas de adaptação. A integração entre

gestão ambiental, planejamento territorial, conservação dos recursos naturais e fortalecimento da capacidade adaptativa constitui, portanto, elemento essencial para reduzir os impactos potenciais das mudanças climáticas e promover maior resiliência dos sistemas ambientais e das populações que deles dependem.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório. Quanto aos procedimentos técnicos, configura-se como pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada na análise de dados secundários provenientes de publicações científicas, relatórios técnicos e documentos institucionais relacionados às mudanças climáticas, aos recursos hídricos, aos solos e à vulnerabilidade ambiental, com ênfase no território de Minas Gerais. A composição do corpus de análise considerou estudos nacionais e internacionais que apresentassem relação direta com os objetivos da pesquisa. Foram priorizados trabalhos que abordassem projeções de temperatura e precipitação, ocorrência de eventos climáticos extremos e seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica, os regimes de vazão, a umidade e a conservação dos solos. Também foram considerados documentos técnicos produzidos por instituições de referência na área climática e ambiental, como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC).

Como critérios de inclusão, foram considerados documentos que apresentassem aderência temática ao objeto de estudo,

informações relativas aos fatores climáticos investigados e evidências que permitissem relacionar as alterações do clima aos recursos hídricos ou aos solos. Para a análise regional, foram priorizados estudos referentes diretamente a Minas Gerais ou cujos resultados apresentassem aplicabilidade ao contexto climático e ambiental do estado. Foram desconsideradas publicações sem relação direta com os componentes ambientais investigados, trabalhos duplicados e documentos que não apresentassem elementos suficientes para identificação dos impactos ou tendências climáticas analisadas.

Após a seleção das fontes, procedeu-se à extração e à organização das informações em categorias previamente definidas. Para cada estudo foram identificados o recorte territorial, o cenário ou tendência climática analisada, o fator de estresse predominante, o componente ambiental afetado, os impactos indicados e, quando disponíveis, as medidas de adaptação propostas. Os fatores de estresse climático foram agrupados em quatro categorias principais, a saber, aumento da temperatura, redução das precipitações, ocorrência ou intensificação de chuvas extremas e prolongamento dos períodos de estiagem. Os componentes ambientais foram organizados em dois grandes grupos, que são recursos hídricos e solos. No componente recursos hídricos, foram considerados aspectos relacionados à disponibilidade de água, alterações nos regimes de vazão, processos de evaporação e evapotranspiração, recarga hídrica, ocorrência de estiagens, eventos de inundação e riscos de escassez. Para os solos, foram analisados os efeitos relacionados à perda de umidade, erosão, transporte de sedimentos, degradação, perda da capacidade produtiva e aumento da suscetibilidade a processos de instabilidade ambiental. A análise foi desenvolvida a partir da comparação entre as evidências

identificadas nas diferentes fontes, buscando-se reconhecer convergências, divergências e especificidades territoriais. Considerando a heterogeneidade socioambiental de Minas Gerais, os resultados também foram organizados segundo contextos regionais particularmente sensíveis às alterações climáticas, com destaque para o Norte de Minas e áreas de características semiáridas, o Sul de Minas e a Zona da Mata, associados à expressiva atividade agropecuária, e os territórios marcados pela atividade minerária. Essa regionalização permitiu evitar a generalização dos impactos para todo o estado e identificar diferentes formas de exposição e sensibilidade ambiental. Para sistematizar a comparação dos resultados, foi elaborada uma matriz qualitativa de sensibilidade ambiental, relacionando os dois componentes ambientais, recursos hídricos e solos, aos quatro fatores de estresse climático considerados no estudo. Cada combinação foi analisada a partir das evidências apresentadas pelas fontes consultadas e classificada em três níveis de impacto, que são eles baixo, médio ou alto. A classificação não corresponde a uma mensuração quantitativa do risco, mas a uma escala ordinal de síntese das evidências encontradas na literatura.

Considerou-se baixo impacto quando os estudos indicaram efeitos localizados, limitados ou de menor repercussão sobre a funcionalidade do componente ambiental; médio impacto quando foram identificados efeitos relevantes e recorrentes, porém variáveis segundo as condições territoriais ou os cenários analisados; e alto impacto quando as evidências apontaram comprometimento expressivo do componente ambiental, com possibilidade de efeitos persistentes, recorrentes ou capazes de ampliar vulnerabilidades já existentes. Em todos os casos, a classificação foi vinculada às referências que fundamentaram a interpretação, permitindo

identificar a base documental de cada avaliação e reduzir o caráter subjetivo da análise.

Nos casos em que as projeções apresentaram resultados distintos entre estudos ou regiões, essas diferenças foram preservadas na análise, em vez de serem convertidas em uma tendência única. Esse procedimento permitiu considerar tanto a convergência das evidências quanto as incertezas associadas aos diferentes modelos, cenários climáticos e características territoriais.

Todos os resultados da matriz foram interpretados à luz do conceito de vulnerabilidade ambiental, considerando a interação entre exposição aos fatores de estresse climático, sensibilidade dos recursos hídricos e dos solos e capacidade adaptativa dos territórios. A síntese produzida serviu de base para a discussão dos impactos potenciais das mudanças climáticas em Minas Gerais e para a análise das estratégias institucionais, ambientais e territoriais capazes de reduzir as vulnerabilidades identificadas.

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O estado de Minas Gerais localiza-se na Região Sudeste do Brasil e ocupa uma área aproximada de 586 mil km², sendo uma das maiores unidades federativas do país em extensão territorial. Sua posição geográfica e suas características físicas conferem ao estado elevada diversidade ambiental, abrangendo diferentes formações vegetais, condições climáticas e sistemas hidrográficos. Essa diversidade faz com que Minas Gerais apresente importantes contrastes socioambientais e distintos níveis de vulnerabilidade frente aos impactos das mudanças climáticas. Do ponto de vista climático, o estado apresenta predominância do clima tropical, com

variações associadas à altitude, latitude e características do relevo. Em determinadas regiões, especialmente no Norte de Minas, observa-se influência de condições semiáridas, marcadas pela irregularidade das precipitações e pela ocorrência recorrente de períodos de estiagem. Em contrapartida, áreas localizadas nas porções Sul e Zona da Mata apresentam maiores índices pluviométricos e temperaturas mais amenas ao longo do ano (Neres et al., 2025). A rede hidrográfica mineira possui importância estratégica para o país. O território estadual abriga nascentes e áreas de contribuição de importantes bacias hidrográficas brasileiras, entre elas as dos rios São Francisco, Grande, Paranaíba, Doce, Jequitinhonha, Mucuri e Paraíba do Sul. Esses sistemas desempenham papel fundamental no abastecimento humano, na irrigação agrícola, na produção industrial e na geração de energia elétrica, constituindo recursos essenciais para o desenvolvimento econômico e social do estado. Além da relevância hídrica, Minas Gerais destaca-se pela expressiva participação das atividades agropecuárias e minerárias em sua economia. A dependência desses setores em relação às condições climáticas torna o estado particularmente sensível a alterações nos padrões de temperatura e precipitação. Estudos recentes apontam que cenários futuros de mudanças climáticas podem influenciar a disponibilidade hídrica, a produtividade agrícola e a estabilidade dos ecossistemas, ampliando desafios relacionados à gestão ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais (Castro, 2021). As projeções climáticas desenvolvidas para diferentes regiões de Minas Gerais indicam tendência de aumento das temperaturas médias e maior variabilidade na distribuição das chuvas ao longo das próximas décadas. Em algumas áreas, especialmente no Norte do estado, são projetados períodos mais prolongados de déficit hídrico, enquanto outras regiões poderão experimentar aumento na frequência de

eventos extremos de precipitação (Neres et al., 2025). Estudos realizados em bacias hidrográficas mineiras também apontam tendência de redução da precipitação e alterações nos regimes de vazão, fatores que podem comprometer a disponibilidade de recursos hídricos e intensificar processos de degradação ambiental (Zákhia et al., 2021). Considerando essas características, Minas Gerais constitui uma área de estudo relevante para a análise dos impactos potenciais das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e o solo. Sua diversidade ambiental, associada à importância econômica dos recursos naturais e à existência de projeções climáticas específicas para diferentes regiões do estado, oferece condições adequadas para a realização de uma avaliação de sensibilidade ambiental baseada em dados secundários e cenários climáticos já publicados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

A análise das evidências reunidas demonstra que os impactos potenciais das mudanças climáticas em Minas Gerais não podem ser interpretados de maneira homogênea. Embora as projeções apontem tendência de elevação das temperaturas e alterações na distribuição temporal e espacial das precipitações, a magnitude e a natureza dos efeitos dependem das características ambientais, hidrológicas e socioeconômicas de cada território. Essa heterogeneidade é particularmente relevante em um estado que reúne áreas semiáridas, regiões de agricultura intensiva, importantes sistemas hidrográficos e territórios fortemente modificados por atividades minerárias. Dessa forma, os resultados foram analisados a partir de diferentes contextos territoriais, buscando relacionar exposição climática, sensibilidade ambiental e capacidade de resposta. A temperatura apresenta tendência de elevação mais

consistente entre os cenários analisados, enquanto o comportamento da precipitação é mais variável. Essa diferença impede que se estabeleça uma única trajetória pluviométrica para todo o estado. Em algumas áreas e cenários, a principal questão está relacionada à redução ou irregularidade das precipitações; em outras, o problema pode decorrer da concentração das chuvas em períodos mais curtos, favorecendo eventos extremos. Portanto, mais do que considerar exclusivamente o volume anual precipitado, torna-se necessário observar sua distribuição ao longo do tempo e sua interação com o aumento da temperatura, a evapotranspiração, a disponibilidade hídrica e as características do solo.

4.1. Norte de Minas e Semiárido: Déficit Hídrico e Intensificação das Vulnerabilidades

O Norte de Minas constitui um dos contextos em que a regionalização dos impactos climáticos se mostra mais necessária. Parte expressiva da região apresenta características semiáridas e elevada irregularidade das precipitações, condições que historicamente influenciam a disponibilidade de água e aumentam a sensibilidade das atividades econômicas dependentes dos recursos naturais. Estudos anteriores também identificam diferentes níveis de vulnerabilidade climática na mesorregião Norte de Minas, reforçando que exposição e capacidade de adaptação não se distribuem uniformemente pelo território (Freitas; Calheiros; Reis, 2019).

Os resultados apresentados por Neres et al. (2025) acrescentam elementos relevantes a essa análise. Utilizando cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 para o período entre 2021 e 2060, os autores identificaram tendência de aumento das temperaturas máximas e mínimas e

ampliação dos períodos de déficit hídrico nas localidades analisadas no Norte de Minas. Um aspecto particularmente importante é que os resultados não autorizam uma interpretação simplificada segundo a qual a região necessariamente receberá menos precipitação em todos os cenários. O estudo também identificou aumento dos volumes de precipitação em determinadas projeções, acompanhado, entretanto, por maior variabilidade e crescimento do déficit hídrico. Isso demonstra que disponibilidade de água e quantidade anual de chuva não constituem variáveis equivalentes, especialmente em um contexto de temperaturas mais elevadas e maior demanda atmosférica por água. Essa constatação modifica a maneira de interpretar a vulnerabilidade hídrica regional. O problema não se resume à possibilidade de diminuição das chuvas, mas envolve mudanças na regularidade da precipitação, prolongamento de períodos secos e intensificação das perdas de água por processos associados às temperaturas mais elevadas. Para o abastecimento humano e para as atividades produtivas, isso significa maior pressão sobre sistemas de armazenamento e gestão hídrica, principalmente nos municípios em que a disponibilidade de água já apresenta limitações sazonais.

No meio rural, tais alterações adquirem especial relevância para sistemas produtivos diretamente dependentes das condições pluviométricas. Por inferência a partir do aumento do déficit hídrico identificado por Neres et al. (2025), culturas com elevada dependência da precipitação e sistemas de produção de sequeiro tornam-se mais expostos às irregularidades climáticas, sobretudo quando não dispõem de estruturas adequadas de armazenamento ou alternativas de abastecimento. O impacto, portanto, não decorre exclusivamente do aumento da temperatura, mas da interação entre

temperatura, distribuição das chuvas, demanda hídrica e capacidade local de adaptação.

Outra questão que merece atenção é a suscetibilidade à degradação das terras. A presença de áreas de Caatinga no Norte de Minas insere parte desse território no debate brasileiro sobre desertificação. Souza, Artigas e Lima (2015) discutem a relação entre Caatinga, uso dos recursos naturais e processos de desertificação, incluindo a ocorrência desse bioma no Norte de Minas Gerais. Isso não significa afirmar que todo o Norte mineiro esteja em processo de desertificação, mas demonstra que a combinação entre condições semiáridas, degradação da cobertura vegetal, pressões sobre os solos e intensificação de déficits hídricos constitui um fator de vulnerabilidade que necessita ser considerado no planejamento territorial.

Nesse contexto, estratégias de adaptação para o Norte de Minas precisam considerar as particularidades do semiárido. A proteção das fontes de abastecimento, o manejo adequado do solo, a conservação da vegetação e o aperfeiçoamento dos sistemas de armazenamento e gestão da água assumem importância diante de um cenário em que períodos de déficit hídrico podem se prolongar. A adaptação, portanto, não deve ser baseada apenas na reação a episódios de seca, mas na incorporação permanente do risco climático ao planejamento regional.

4.2. Sul de Minas e Zona da Mata: Recursos Hídricos, Agricultura e Sensibilidade dos Solos

A situação observada no Sul de Minas apresenta características distintas daquelas identificadas no Norte do estado. Nesse caso, as

evidências disponíveis no corpus analisado são particularmente consistentes para os recursos hídricos. Zákha et al. (2021), ao estudarem a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaguara, no Sul de Minas Gerais, utilizaram cenários climáticos RCP4.5 e RCP8.5 e identificaram predominância de redução da precipitação ao longo do século XXI, além de aumento da temperatura média nos modelos analisados. As alterações climáticas projetadas produziram repercussões sobre o comportamento hidrológico da bacia, indicando que mudanças no clima podem modificar a disponibilidade de água mesmo em regiões que historicamente apresentam condições pluviométricas distintas das áreas semiáridas do estado.

Esses resultados assumem relevância diante da importância das atividades agropecuárias no Sul de Minas. A dependência da produção agrícola em relação à disponibilidade de água faz com que alterações combinadas de temperatura, precipitação e vazão representem uma pressão adicional sobre os sistemas produtivos. Estudos recentes realizados na Bacia do Rio Verde, também no Sul de Minas, destacam a importância regional da produção de café e mostram que a avaliação de secas meteorológicas e hidrológicas constitui elemento relevante para compreender os impactos climáticos sobre a região (OLIVEIRA et al., 2024).

A vulnerabilidade regional não deve, contudo, ser analisada apenas em função da escassez hídrica. Mudanças na distribuição temporal das precipitações também podem produzir episódios de chuva concentrada, elevando o escoamento superficial e aumentando a pressão sobre solos suscetíveis à erosão. Essa questão é particularmente importante em terrenos de maior declividade e em áreas onde a cobertura do solo foi reduzida ou modificada pelas

atividades produtivas. Estudos realizados no Sul de Minas já registraram áreas comprometidas por erosão hídrica e voçorocas, demonstrando que a vulnerabilidade dos solos constitui um problema ambiental preexistente sobre o qual alterações no regime das chuvas podem atuar (Gomide; Silva; Soares, 2011).

A relação entre chuva e erosão também evidencia a necessidade de evitar interpretações lineares. A ocorrência de maior precipitação não representa necessariamente melhoria das condições hídricas quando a chuva ocorre de forma concentrada e produz elevado escoamento superficial. Nessas condições, parte da água deixa de infiltrar no solo, aumenta o transporte de sedimentos e pode contribuir para o assoreamento dos corpos hídricos. Ao mesmo tempo, intervalos secos prolongados podem diminuir a umidade do solo e aumentar a demanda por irrigação. Assim, a variabilidade temporal das chuvas pode ser tão importante quanto a alteração do volume anual precipitado.

No caso da Zona da Mata, é necessário manter maior cautela interpretativa. Embora suas características de uso da terra, atividade agrícola e relevo justifiquem sua inclusão na análise de vulnerabilidade, os estudos específicos utilizados nesta pesquisa oferecem evidências climáticas mais diretas para o Sul de Minas do que para a Zona da Mata. Por essa razão, os resultados obtidos para bacias do Sul não devem ser automaticamente extrapolados para toda a Zona da Mata. Essa distinção é metodologicamente importante e demonstra a necessidade de ampliar, em estudos futuros, o número de projeções regionalizadas destinadas especificamente a essa porção do estado.

Portanto, para o Sul de Minas e para as áreas agrícolas sujeitas a condições semelhantes, o desafio adaptativo envolve simultaneamente segurança hídrica e conservação dos solos. Sistemas de armazenamento de água, práticas conservacionistas, manutenção da cobertura vegetal, controle da erosão e gestão das demandas de irrigação tornam-se medidas relevantes diante de cenários marcados pela combinação entre aquecimento, períodos de deficiência hídrica e possibilidade de maior irregularidade das precipitações.

4.3. Regiões com Atividade Minerária: Sobreposição Entre Vulnerabilidades Territoriais e Eventos Extremos

A análise das mudanças climáticas em Minas Gerais também precisa considerar territórios profundamente modificados pelas atividades minerárias. A mineração altera a paisagem, modifica condições de drenagem, produz áreas de solo exposto e está associada à presença de estruturas e depósitos de materiais que demandam sistemas permanentes de gestão e monitoramento de riscos. Essas características fazem com que determinados territórios minerários apresentem vulnerabilidades específicas que não podem ser compreendidas somente a partir das variáveis climáticas.

Nesse contexto, a intensificação ou maior concentração de eventos pluviométricos extremos constitui um fator adicional de pressão ambiental. Chuvas intensas favorecem escoamento superficial, transporte de sedimentos, erosão e processos de instabilidade em áreas suscetíveis. Quando esses fenômenos ocorrem em paisagens intensamente modificadas, seus efeitos dependem da combinação entre características naturais, formas de ocupação, infraestrutura

instalada, qualidade da gestão ambiental e capacidade institucional de prevenção.

É importante, entretanto, estabelecer uma distinção causal. A existência de eventos climáticos extremos não permite atribuir automaticamente a eles rompimentos de barragens ou outros acidentes minerários. Eventos dessa natureza envolvem fatores técnicos, estruturais, operacionais e institucionais que exigem análise específica. A contribuição da perspectiva climática consiste em reconhecer que a ocorrência de precipitações extremas pode se sobrepor a vulnerabilidades já existentes e, por isso, precisa integrar os processos de planejamento, licenciamento, monitoramento e gestão de riscos em áreas minerárias.

Essa abordagem está de acordo com a perspectiva segundo a qual risco ambiental não resulta unicamente da existência de uma ameaça, mas da interação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade. Estudos sobre gestão de risco na Região Metropolitana de Belo Horizonte evidenciam justamente a importância de incorporar vulnerabilidades ambientais, sociais e territoriais à análise dos eventos extremos e à gestão metropolitana (Garcia; Viana; Lima, 2023).

A especificidade das regiões minerárias demonstra, portanto, por que uma análise estadual excessivamente generalizada seria insuficiente. Enquanto no Norte mineiro a preocupação central recai sobre a ampliação do déficit hídrico e a recorrência das secas, e no Sul destaca-se a interação entre disponibilidade hídrica, atividade agrícola e erosão, nos territórios minerários o debate deve incorporar a sobreposição entre eventos climáticos extremos, alteração da

paisagem, infraestrutura e gestão do risco. Essa diferenciação reforça a necessidade de estratégias territoriais de adaptação.

4.4. Síntese da Sensibilidade dos Recursos Hídricos e dos Solos

A comparação dos resultados possibilitou sistematizar a relação entre os principais fatores de estresse climático e os componentes ambientais analisados. A classificação apresentada na Tabela 1 possui caráter qualitativo e ordinal, não correspondendo a uma medida probabilística do risco. Os níveis representam a intensidade predominante dos impactos identificados na literatura analisada, considerando a recorrência das evidências, a magnitude potencial dos efeitos e sua capacidade de comprometer as funções ambientais dos recursos hídricos e dos solos.

Tabela 1. Matriz qualitativa de sensibilidade ambiental aos fatores de estresse climático em Minas Gerais

Componente ambiental	Aumento da temperatura	Redução das precipitações	Chuvas extremas	Períodos prolongados de estiagem
Recursos hídricos	Alto – intensificação da evapotranspiração e aumento da pressão sobre a disponibilidade hídrica (Neres et al., 2025; Zákchia et al., 2021)	Alto – possibilidade de redução da disponibilidade hídrica, das vazões e da recarga em cenários específicos (Zákchia et al., 2021)	Médio – aumento do escoamento superficial, transporte de sedimentos e pressão sobre os corpos hídricos, com intensidade variável conforme as características territoriais	Alto – intensificação do déficit hídrico e maior pressão sobre o abastecimento e os diferentes usos da água (Neres et al., 2025; Freitas;

			(Garcia; Viana; Lima, 2023; Gomide; Silva; Soares, 2011)	Calheiros; Reis, 2019)
Solos	Médio – aumento da perda de umidade e maior sensibilidade e à degradação em áreas vulneráveis (Neres et al., 2025; Souza; Artigas; Lima, 2015)	Médio – redução da umidade do solo e pressão sobre a cobertura vegetal e a capacidade produtiva (Neres et al., 2025; Souza; Artigas; Lima, 2015)	Alto – intensificação do escoamento superficial, das erosões e de processos de instabilidade em áreas suscetíveis (Gomide; Silva; Soares, 2011; Garcia; Viana; Lima, 2023)	Médio – perda de umidade, redução da cobertura vegetal e ampliação da suscetibilidade à degradação das terras (Souza; Artigas; Lima, 2015; Neres et al., 2025)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir da literatura analisada.

A matriz evidencia que a disponibilidade hídrica apresenta elevada sensibilidade sobretudo à elevação das temperaturas, à redução das precipitações e ao prolongamento das estiagens. Os resultados de Neres et al. (2025) reforçam a importância do déficit hídrico no Norte de Minas, enquanto Zákha et al. (2021) demonstram que, no Sul, mudanças na precipitação e na temperatura podem repercutir diretamente sobre o comportamento hidrológico das bacias.

Em relação aos solos, as chuvas extremas assumem especial importância devido à capacidade de intensificar o escoamento superficial e os processos erosivos, principalmente quando associadas a declividade elevada, redução da cobertura vegetal ou

formas intensivas de uso da terra. Por outro lado, temperaturas elevadas e estiagens prolongadas interferem na umidade e na cobertura do solo, ampliando sua sensibilidade a processos de degradação.

A matriz também demonstra que o nível de impacto não deve ser interpretado isoladamente do território. Um mesmo fator climático pode apresentar consequências distintas conforme a região considerada. O prolongamento da estiagem, por exemplo, assume relevância particularmente elevada em áreas semiáridas do Norte de Minas, enquanto episódios intensos de precipitação podem produzir impactos mais significativos em áreas de declive acentuado ou submetidas a intensa modificação do uso da terra. A classificação, portanto, constitui instrumento de síntese e comparação, e não substitui a interpretação regional apresentada anteriormente.

4.5. Capacidade Adaptativa e Desafios para a Gestão Ambiental

Os resultados demonstram ainda que a vulnerabilidade climática não depende somente da exposição às alterações de temperatura e precipitação. A capacidade de antecipar riscos, planejar intervenções e implementar medidas de adaptação interfere diretamente na magnitude dos impactos. Nesse sentido, duas áreas submetidas a estresses climáticos semelhantes podem apresentar resultados distintos em função da infraestrutura disponível, da organização institucional, da capacidade financeira e dos instrumentos de gestão ambiental existentes.

Minas Gerais dispõe de mecanismos de planejamento que podem contribuir para essa resposta. O Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG), por exemplo, articula informações sobre

vulnerabilidade natural e potencialidade social, permitindo apoiar decisões territoriais. Da mesma forma, a organização da gestão hídrica por bacias e unidades de planejamento possibilita que problemas relacionados à disponibilidade de água sejam tratados a partir de recortes territoriais mais compatíveis com a dinâmica dos recursos hídricos.

No âmbito climático, Minas Gerais possui medidas governamentais direcionadas ao enfrentamento das mudanças climáticas e à gestão de emissões desde o Decreto Estadual nº 45.229/2009. Mais recentemente, o Decreto nº 48.896/2024 instituiu o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima, com atribuições relacionadas à elaboração e ao acompanhamento de ações e políticas públicas sobre mudança do clima no Poder Executivo estadual.

A existência desses instrumentos, contudo, não deve ser tomada automaticamente como evidência de elevada capacidade adaptativa. A simples presença formal de planos, zoneamentos, comitês e normas não permite concluir que sua implementação seja suficiente ou igualmente efetiva em todas as regiões. A capacidade adaptativa depende da articulação entre esses instrumentos, da disponibilidade de informações atualizadas, da continuidade do monitoramento, da existência de recursos para implementação e da incorporação das especificidades regionais ao planejamento.

Essa constatação é particularmente relevante diante das diferenças identificadas ao longo deste estudo. O Norte de Minas demanda respostas fortemente orientadas à segurança hídrica e à convivência com períodos prolongados de déficit de água; o Sul requer articulação entre gestão hídrica, agricultura e conservação dos solos;

e as áreas minerárias necessitam integrar variáveis climáticas aos sistemas de prevenção e gestão de riscos. Portanto, políticas uniformes tendem a apresentar menor capacidade de resposta do que estratégias territorializadas.

Desse modo, o principal desafio da adaptação em Minas Gerais não consiste apenas em ampliar o número de medidas ambientais, mas em estabelecer conexão entre o risco identificado e a resposta institucional correspondente. A proteção de nascentes, recuperação de matas ciliares, conservação dos solos e monitoramento das bacias hidrográficas permanecem relevantes, mas sua efetividade depende de planejamento, implementação, acompanhamento e articulação com as vulnerabilidades específicas de cada território. Essa perspectiva desloca a adaptação de uma simples relação de boas práticas para uma discussão sobre governança, capacidade institucional e planejamento ambiental de longo prazo.

5. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida permitiu compreender que os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e os solos em Minas Gerais não se distribuem de forma homogênea no território. Embora os cenários considerados indiquem tendência de elevação das temperaturas e alterações na distribuição das precipitações, a intensidade e as consequências desses processos variam de acordo com as características ambientais, hidrológicas, econômicas e institucionais de cada região.

A regionalização dos resultados evidenciou diferentes contextos de vulnerabilidade. No Norte de Minas, as condições semiáridas e a irregularidade das precipitações tornam especialmente relevante a

ampliação dos períodos de déficit hídrico e seus efeitos sobre a disponibilidade de água, os sistemas produtivos dependentes das chuvas e a conservação dos solos. No Sul de Minas, destacam-se as possíveis repercussões das alterações de temperatura e precipitação sobre o comportamento hidrológico das bacias, a agricultura e os processos erosivos. Nas áreas marcadas pela atividade minerária, a análise demonstrou a importância de considerar a sobreposição entre eventos pluviométricos extremos, modificações da paisagem e condições territoriais preexistentes de vulnerabilidade. A matriz qualitativa de sensibilidade ambiental permitiu sistematizar essas evidências e demonstrou que os recursos hídricos apresentam elevada sensibilidade ao aumento da temperatura, à redução das precipitações e ao prolongamento das estiagens. Em relação aos solos, as chuvas extremas assumem especial relevância devido ao potencial de intensificar o escoamento superficial, a erosão e processos de instabilidade em áreas suscetíveis. Os resultados também indicaram que uma mesma pressão climática pode produzir efeitos distintos conforme as características do território, reforçando a necessidade de evitar generalizações para todo o estado. A vulnerabilidade climática, entretanto, não resulta apenas da exposição aos eventos e tendências climáticas ou da sensibilidade dos componentes ambientais. A capacidade adaptativa interfere diretamente na magnitude dos impactos e depende de fatores como infraestrutura, organização institucional, disponibilidade de recursos, planejamento e instrumentos de gestão ambiental. Nesse sentido, mecanismos como o Zoneamento Ecológico-Econômico, a gestão dos recursos hídricos por bacias e as políticas estaduais voltadas às mudanças climáticas podem contribuir para o enfrentamento dos riscos, desde que sua implementação considere as especificidades territoriais e seja acompanhada de capacidade institucional efetiva. Os resultados

reforçam, portanto, que estratégias de adaptação não devem se limitar à adoção isolada de medidas técnicas. A proteção das fontes de abastecimento, a conservação dos solos e da cobertura vegetal, o monitoramento das bacias hidrográficas e a gestão dos riscos precisam estar articulados a instrumentos de planejamento e governança capazes de responder às diferentes formas de vulnerabilidade identificadas no território mineiro. Na realidade, a redução dos impactos potenciais das mudanças climáticas em Minas Gerais depende de uma abordagem integrada, que articule conhecimento científico, gestão ambiental, planejamento territorial e fortalecimento da capacidade adaptativa. A incorporação das particularidades regionais às políticas e aos instrumentos de gestão constitui condição importante para que as respostas às mudanças climáticas sejam mais coerentes com os riscos e as necessidades de cada território. Ao mesmo tempo, as limitações identificadas, especialmente quanto à disponibilidade desigual de estudos regionalizados, indicam a necessidade de ampliar pesquisas capazes de aprofundar a compreensão dos impactos climáticos em diferentes áreas do estado e subsidiar estratégias de adaptação de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2024. Brasília, DF: ANA, 2024. 154 p. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/106160. Acesso em: 11 ago. 2026.

CASTRO, Ana Gabriela Pena de. Avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa às mudanças climáticas das cidades da

Região dos Inconfidentes - Minas Gerais. 2021. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3474>. Acesso em: 19 ago. 2026.

FREITAS, Letícia Oliveira; CALHEIROS, Tomás; REIS, Ruibran Januário dos. Vulnerabilidade da mesorregião Norte de Minas Gerais face às mudanças climáticas. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 29, n. 56, p. 134-155, 2019. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2019v29n56p134. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/19340>. Acesso em: 11 ago. 2026.

GARCIA, Letícia Clipes; VIANA, Juliana Nazaré Luquez; LIMA, Carolina Maria Soares. Gestão de risco, vulnerabilidade ambiental e a questão climática na gestão metropolitana. Cadernos Metrópole, São Paulo, v. 25, n. 58, p. 875-897, 2023. DOI: 10.1590/2236-9996.2023-5805. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/metropole/article/view/60572>. Acesso em: 11 ago. 2026.

GOMIDE, Plínio Henrique Oliveira; SILVA, Marx Leandro Naves; SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 2, p. 567-577, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200026. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/m9WKVZpMMGtFxjG7btvD3H/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Projeções Climáticas no Brasil. São José dos Campos: INPE, [s.d.]. Disponível

em: <https://pclima.inpe.br/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

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. DOI: 10.1017/9781009157896. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

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. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.229, de 3 de dezembro de 2009. Regulamenta medidas do Poder Público do Estado de Minas Gerais referentes ao combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/45229/2009/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

MINAS GERAIS. Decreto nº 48.896, de 18 de setembro de 2024. Institui o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48896/2024/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE-MG). Belo Horizonte: SEMAD, [s.d.]. Disponível em: <https://meioambiente.mg.gov.br/w/zoneamento-ecologico-economico>. Acesso em: 11 ago. 2026.

NERES, Douglas Roberto; SANTOS, João Paulo Pereira; VICENTE, Marcelo Rossi; SANTOS, Ronaldo Medeiros dos; LUCAS, Patricia de Oliveira e. Efeitos das mudanças climáticas na região norte de Minas Gerais. Revista Mineira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 6, e025001, 2025. DOI: 10.59824/rmrh.v6.329. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/329>. Acesso em: 11 ago. 2026.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. São José dos Campos, SP: Rede CLIMA/INPE, 2012. 44 p. ISBN 978-85-17-00064-5.

OLIVEIRA, Conceição de Maria Marques de; ALVARENGA, Livia Alves; SILVA, Vinicius Oliveira; CARVALHO, Vinicius Siqueira Oliveira; CAMINHA, Alice Raquel; MELO, Pâmela Aparecida. Projeção dos eventos de seca meteorológica e hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Verde. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 39, e39240059, 2024. DOI: 10.1590/0102-7786390059. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/VGRxtp9CDLMz9HRRB8H8s8t/>. Acesso em: 19 ago. 2026.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças

Climáticas. ASSAD, Eduardo Delgado; MAGALHÃES, Antônio Rocha (ed.). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2014. 414 p.

REBOITA, Michelle Simões; MARRAFON, Vitor Hugo de Almeida; LLOPART, Marta; ROCHA, Rosmeri Porfírio da. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, p. 110-128, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60524. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60524>. Acesso em: 11 ago. 2026.

SOUZA, Bartolomeu Israel de; ARTIGAS, Rafael Cámara; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Caatinga e desertificação. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1401.0009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/zxZxXjPfrx9HjpNj8PLVn4B/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

ZÁKHIA, Estefânia Maria Sousa; ALVARENGA, Lívia Alves; TOMASELLA, Javier; MARTINS, Minella Alves; SANTOS, Ana Carolina Nascimento; MELO, Pâmela Aparecida. Impactos das mudanças climáticas em uma bacia hidrográfica no Sul do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 4, p. 667-681, 2021. DOI: 10.1590/0102-7786360002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3BvYBhwstx3PpbP56VGnWfv/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

¹ Mestranda em Meio Ambiente e Saúde. Centro Universitário Vale do Rio Verde – UNINCOR. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8862-9971>

- ² Mestrando em Meio Ambiente e Saúde. Centro Universitário Vale do Rio Verde – UNINCOR. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0546-4592>.
- ³ Mestranda em Meio Ambiente e Saúde. Centro Universitário Vale do Rio Verde – UNINCOR. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#) ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4897-2257>
- ⁴ Mestranda em Meio Ambiente e Saúde. Centro Universitário Vale do Rio Verde – UNINCOR. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID. <https://orcid.org/0009-0000-2667-4343>
- ⁵ Mestranda em Meio Ambiente e Saúde. Centro Universitário Vale do Rio Verde – UNINCOR. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0357-7137>
- ⁶ Professor Doutor. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2902-1038>.