

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias - ICA

Leonardo Ferreira Dos Santos

**IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: análise dos estabelecimentos agropecuários do Norte de Minas Gerais,
Brasil.**

**Unai
2024**

Leonardo Ferreira Dos Santos

**IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: análise dos estabelecimentos agropecuários do Norte de Minas Gerais,
Brasil.**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro (a) Agrônomo (a).

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Elizângela Aparecida Dos Santos

**Unai
2024**

Leonardo Ferreira Dos Santos

**IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: análise dos estabelecimentos agropecuários do Norte de Minas Gerais,
Brasil.**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro (a) Agrônomo (a).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizângela Aparecida Dos Santos

Data de aprovação 08 /07/ 2024.

Prof^a. Dr^a. Elizângela Aparecida Dos Santos
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof^a. Dr^a. Luciane da Costa Barbé
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof. Dr. Hermes Soares da Rocha
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unai

DEDICATÓRIA

No decorrer deste tempo de graduação, não foi nada fácil escrever essa trajetória de 5 anos dedicados aos estudos. Devido às grandes dificuldades que é mudar de cidade e deixar a família e amigos para buscar um sonho de se tornar um Engenheiro Agrônomo, tive momentos de alegria, preocupação e superação, mesmo assim em nenhum momento pensei em desistir.

Apesar de tudo que aconteceu durante essa jornada acadêmica, sempre tem aquelas pessoas que são a base de seu esforço e dedicação. Aqui escrevendo essa dedicatória, me recordo do dia em que me mudei e deixei meus pais para buscar um sonho. Dedico este trabalho principalmente ao meu pai, José Vicente Barbosa dos Santos, à minha mãe, Edna Ribeiro Ferreira e a toda minha família que sempre ficaram do meu lado, me dando apoio e forças para seguir em frente, independente da situação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e sabedoria para me permitir desenvolver este trabalho de conclusão de curso, isso não seria possível sem a sua permissão. É com grande sorriso no rosto que agradeço ao meu pai, José Vicente Barbosa dos Santos, à minha mãe, Edna Ribeiro Ferreira, e às minhas irmãs. Vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Agradeço a todos os meus professores que passaram pela minha jornada acadêmica, pelos ensinamentos transmitidos, levarei estes conhecimentos adquiridos pelo resto da minha vida profissional, em especial meus sinceros agradecimentos a minha professora e orientadora Elizângela Aparecida dos Santos, que me ajudou nesta etapa tão importante que é o trabalho de conclusão de curso (TCC). E por fim, sou muito grato aos amigos, funcionários da Instituição, aos colegas de curso pela parceria, troca de ideias e apoio nos momentos difíceis. A amizade de vocês tornou essa caminhada muito mais prazerosa.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

A irrigação é uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas, pois permite que os agricultores mantenham a produtividade das culturas em face de variações imprevisíveis de precipitação e de temperaturas. A irrigação é uma ferramenta de grande importância para o desenvolvimento do setor agrícola, especialmente frente à crescente demanda por alimentos no Brasil e no mundo. No entanto, a adoção dessa prática depende de diversos fatores, desde climáticos, agronômicos e socioeconômicos. Este estudo tem como objetivo geral verificar se a adoção da irrigação nos estabelecimentos agropecuários localizados na mesorregião Norte de Minas Gerais, Brasil, caracteriza-se como uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Para tanto, foram definidos três objetivos específicos: analisar a área e os tipos de irrigação presentes nos estabelecimentos, averiguar as características climáticas, agronômicas e socioeconômicas dos irrigantes e não irrigantes e identificar os fatores que influenciam na adoção da irrigação. A pesquisa utilizou dados do Censo Agropecuário de 2017 para caracterizar os estabelecimentos agropecuários e variáveis climáticas do *Terrestrial Hydrology Research Group*. A metodologia *Probit* foi aplicada para analisar os fatores que influenciam na adoção da irrigação. Os principais resultados indicam que a irrigação emergiu como uma estratégia fundamental de adaptação às mudanças climáticas na região Norte de Minas Gerais. A região possui 101.021 estabelecimentos agropecuários em uma área de 7.386.444 hectares, com apenas 16% desses estabelecimentos utilizando algum tipo de irrigação. Os métodos mais comuns utilizados foram de irrigação localizada, aspersão e por superfície. Foram identificadas relações significativas entre fatores climáticos adversos, como baixa precipitação histórica e altas temperaturas, e a adoção de práticas de irrigação. Além dos aspectos climáticos, fatores agronômicos e socioeconômicos, como a presença de recursos hídricos adequados, potencial agrícola do solo, educação superior dos produtores, ter propriedade da terra e acesso a financiamento agrícola, influenciam significativamente a probabilidade de adoção de mecanismos de irrigação. Diante desses resultados, torna-se evidente a importância de políticas agrícolas eficazes para mitigar os impactos adversos das mudanças climáticas na região. Incentivos para a adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes e sustentáveis, apoio à gestão integrada de recursos hídricos e medidas para promover a resiliência climática entre os agricultores são essenciais para garantir a segurança alimentar e econômica dos estabelecimentos agropecuários.

Palavras-chave: precipitação; resiliência; sustentabilidade; recursos hídricos; agricultura irrigada.

ABSTRACT

Irrigation is a strategy for adapting to climate change as it enables farmers to maintain crop productivity in the face of unpredictable variations in precipitation and temperatures. Irrigation is a crucial tool for the development of the agricultural sector, especially given the growing demand for food in Brazil and worldwide. However, the adoption of this practice depends on various climatic, agronomic, and socioeconomic factors. This study aims to determine whether the adoption of irrigation in agricultural establishments located in the Northern region of Minas Gerais, Brazil, constitutes a strategy for adapting to climate change. Three specific objectives were defined: to analyse the area and types of irrigation present in the establishments, to investigate the climatic, agronomic, and socioeconomic characteristics of irrigators and non-irrigators, and to identify the factors influencing the adoption of irrigation. The research utilised data from the 2017 Agricultural Census to characterise agricultural establishments and climatic variables from the Terrestrial Hydrology Research Group. The Probit methodology was applied to analyze the factors that influence the adoption of irrigation. The main results indicate that irrigation has emerged as a fundamental strategy for adapting to climate change in the Northern region of Minas Gerais. The region has 101,021 agricultural establishments covering an area of 7,386,448 hectares, with only 16% of these establishments utilising some form of irrigation. The most commonly used methods were localised irrigation, sprinkling, and surface irrigation. Significant relationships were identified between adverse climatic factors, such as historically low precipitation and high temperatures, and the adoption of irrigation practices. In addition to climatic aspects, agronomic and socioeconomic factors, such as the availability of adequate water resources, agricultural potential of the soil, higher education of the producers, land ownership, and access to agricultural financing, significantly influence the likelihood of adopting irrigation mechanisms. Given these results, the importance of effective agricultural policies to mitigate the adverse impacts of climate change in the region becomes evident. Incentives for the adoption of more efficient and sustainable irrigation technologies, support for integrated water resource management and measures to promote climate resilience among farmers are essential to guarantee the food and economic security of agricultural establishments.

Keywords: precipitation; resilience; sustainability; water resource; irrigated agriculture.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivo específico.....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 Área de estudo.....	17
4.2 Fonte e tratamentos dos dados.....	18
4.3 Modelo <i>Probit</i>	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	35
ANEXOS	40

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas, principalmente por meio das emissões de gases de efeito estufa (GEE), têm sido a causa inegável do aquecimento global (*Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC, 2023*). De fato, a temperatura média da superfície global aumentou em 1,1°C em relação aos níveis pré-industriais (1850-1900) durante o período de 2011-2020. As emissões globais de GEE continuam a crescer, impulsionadas por padrões históricos e persistentes de uso insustentável de energia, manejo inadequado da terra, mudanças nos estilos de vida e padrões de consumo e produção (IPCC, 2023). Essas tendências manifestam-se de maneira heterogênea entre e dentro de regiões, países e até mesmo a níveis individuais. A modificação na superfície terrestre, impulsionada pelos GEE, torna-se cada vez mais evidente e preocupante, afetando diversas áreas do planeta (Oliveira *et al.*, 2009). Embora o clima sempre tenha passado por variações ao longo dos tempos, as alterações atuais são distintas das ocorridas no passado, pois são majoritariamente influenciadas pela atividade humana, especialmente nas últimas cinco décadas (Cope *et al.*, 2011; IPCC, 2023).

Mudanças rápidas e abrangentes estão ocorrendo na atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera. As alterações climáticas, desencadeadas pela atividade humana, já estão afetando muitos extremos meteorológicos e climáticos em todas as regiões do globo. Isso tem resultado em impactos adversos generalizados e em perdas e danos tanto para a natureza quanto para as pessoas. Os extremos climáticos causam migração, pobreza e morte (Painel Brasileiro De Mudanças Climáticas – PBMC, 2013). As comunidades vulneráveis que, historicamente contribuíram menos para as mudanças climáticas atuais, estão sendo desproporcionalmente afetadas (IPCC, 2023). O Brasil é um país onde a variabilidade climática natural se manifesta por meio de eventos climáticos fora do comum em diferentes épocas do ano. A escassez de chuvas e os períodos de seca impactam tanto áreas urbanas quanto rurais, causando dificuldades significativas para a população. O aquecimento global tem o potencial de intensificar esses eventos, destacando a necessidade urgente de intervenção humana por meio da adoção de estratégias de adaptação (Oliveira *et al.*, 2009).

As estratégias de adaptação são ferramentas utilizadas por comunidades e indivíduos para mitigar as consequências negativas esperadas de eventos climáticos e desastres. Elas consistem em ações de longo prazo voltadas para um perigo específico, sendo consideradas medidas preventivas (Dos Santos *et al.*, 2023). Assim, a capacidade de adaptação envolve mudanças e requer processos de reorganização (IPCC, 2014; Welle e Birkmann, 2015; Dos Santos *et al.*, 2023). Em outras palavras, as estratégias de adaptação

visam à combinação de forças, atributos e recursos disponíveis para um indivíduo ou comunidade que podem ser usados para se preparar e realizar ações para reduzir impactos adversos e minimizar os danos negativos da variação climática (IPCC, 2014). Especificamente na agricultura, algumas estratégias de adaptação incluem a contratação de seguro rural, a diversificação de culturas, a alteração das datas de plantio e práticas agrícolas, o desenvolvimento de cultivares resistentes ao calor e à seca, e a utilização de mecanismos de irrigação (*Organisation for Economic Cooperation and Development*– OCDE, 2009).

No que tange à irrigação, o emprego desta prática implica em uma demanda considerável de recursos hídricos. No entanto, seu uso apresenta uma série de benefícios significativos. Entre estes, destaca-se a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, o incremento na produção agrícola, a diversificação da oferta de alimentos, a melhoria na qualidade dos produtos, o aumento da renda dos agricultores e a promoção de uma maior segurança alimentar para a população (Agência Nacional de água e Saneamento Básico - ANA, 2021). A adoção das técnicas de irrigação na agricultura é influenciada por diversos fatores, incluindo características climáticas, socioeconômicas e agronômicas, como topografia do terreno e tipo de solo (Da Cunha *et al.*, 2011). A irrigação agrícola pode ser classificada em quatro modalidades principais: a irrigação por superfície, que é adequado para áreas com solos de textura fina a média e com certa declividade, utilizando a gravidade para distribuir a água; localizada, que visa otimizar o uso da água ao aplicá-la diretamente nas raízes das plantas, promovendo significativa economia hídrica; método subterrâneo, que, embora ainda seja pouco explorada, apresenta potencial relevante para determinadas culturas e condições; e a irrigação por aspersão, indicada tanto para áreas grandes ou menores, e simula o efeito da chuva com aplicação da água de maneira uniforme sobre a superfície do solo (ANA, 2021).

No Brasil, cerca de 502.379 estabelecimentos agropecuários¹ utilizam técnicas de irrigação, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). A irrigação é considerada um dos processos mais relevantes para o desenvolvimento da produção agrícola e tem se expandido significativamente no setor agrícola brasileiro. O Censo Agropecuário de 2017 registrou um aumento de mais de 51,0% no número de estabelecimentos agropecuários irrigados em comparação com 2006 (IBGE, 2019). Esse crescimento foi distribuído de

¹ Estabelecimento agropecuário é definido como toda unidade de produção ou exploração dedicada, total ou parcialmente, a atividades agropecuárias, florestais e aquícolas, sob responsabilidade de um produtor ou de uma organização, situada em uma única área ou em áreas separadas, desde que localizadas no mesmo município (IBGE, 2019).

formaheterogênea entre as grandes regiões do país: 201,8% na região Norte, 61,7% no Nordeste, 41,7% no Sudeste, 16,4% no Sul e 25,9% no Centro-Oeste.

O crescimento do uso de irrigação também foi evidente entre os estados brasileiros. Em Minas Gerais, por exemplo, houve um aumento de cerca de 33,5% no número de estabelecimentos agropecuários utilizando irrigação, com destaque para a região do Norte de Minas, que apresentou um acréscimo de 68% (IBGE, 2019). Este aumento é atribuído às adversidades climáticas enfrentadas pela região, que incluem baixos índices pluviométricos, níveis dos rios abaixo do esperado e chuvas irregulares, fatores que impactam diretamente a produção agrícola local (Abreu, 2019).

Considerada a maior mesorregião do estado em extensão territorial, a mesorregião Norte de Minas Gerais possui uma área de pouco mais de 128.389.904 km² e é composta por 89 municípios (IBGE, 2023). Grande parte desta região está localizada em uma área de transição para o clima semiárido do Brasil. Algumas cidades já estão situadas na região semiárida, caracterizada por precipitação de chuvas abaixo de 800 mm anuais, com períodos evidentes de escassez de chuvas em certos meses do ano (IBGE, 2022).

É importante ressaltar que aproximadamente um quarto dos municípios de Minas Gerais está localizado na região semiárida, onde há um aumento constante da temperatura e uma maior irregularidade nas chuvas (IBGE, 2022). Nesse contexto, uma das estratégias para mitigar os impactos climáticos na produção agrícola do Norte de Minas é o uso de sistemas de irrigação. No entanto, é fundamental proceder com cautela, dado que a disponibilidade de água é um desafio significativo nesta região. Além disso, os custos de implantação são elevados e o retorno financeiro pode demandar um período prolongado (Abreu, 2019).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal analisar a adoção de sistemas de irrigação nos estabelecimentos agropecuários da região Norte de Minas Gerais, Brasil. A pesquisa investigou as áreas irrigadas e a quantidade de estabelecimentos, buscando entender os fatores que influenciaram essa adoção. Além disso, foi examinado a relação entre as mudanças climáticas e o uso de irrigação como medida de adaptação. Para complementar, foi realizada uma análise das características climáticas, socioeconômicas e agronômicas dos municípios que adotaram ou não a irrigação. A hipótese principal é que a irrigação atua como uma ferramenta de adaptação às mudanças climáticas na região Norte de Minas Gerais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é verificar a adoção da irrigação no Norte de Minas Gerais, Brasil, como estratégia de adaptação às mudanças climáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analisar a área, número de estabelecimentos e o tipo de irrigação.
- 2) Analisar as características climáticas, agronômicas e socioeconômicas dos irrigantes e não irrigantes.
- 3) Verificar os fatores que influenciam na adoção da irrigação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A técnica da irrigação remonta aos tempos antigos e foi desenvolvida inicialmente em regiões como o Egito e a Mesopotâmia, conhecidas por seus climas mais áridos (ANA, 2021). A utilização da irrigação é especialmente prevalente em áreas onde as chuvas são insuficientes para atender às necessidades hídricas das culturas ou devido à distribuição irregular da precipitação ao longo do tempo e do espaço (ANA, 2021). No contexto brasileiro, a irrigação expandiu significativamente devido às condições físico-climáticas do país, tornando-se uma das principais estratégias de adaptação às adversidades climáticas. No entanto, as estratégias de adaptação às mudanças climáticas variam consideravelmente e são evidenciadas por meio de estudos realizados em diferentes regiões do Brasil (Cunha *et al.*, 2013; Dos Santos *et al.*, 2023).

O Brasil é um país de vasta extensão territorial, o que resulta em uma grande diversidade climática em suas diferentes regiões. Essas variações climáticas são influenciadas por uma série de fatores do clima, incluindo latitude, altitude, relevo, proximidade do oceano, entre outras. Além disso, as estações do ano também podem causar variações significativas no clima em diferentes partes do país. Portanto, as estratégias de adaptação adotadas pelos agricultores podem variar de acordo com as condições climáticas específicas de cada região (Matte *et al.*, 2022). Enquanto a irrigação pode ser uma estratégia mais relevante em áreas onde a irregularidade da chuva é um problema, em regiões com precipitação adequada, medidas de conservação do solo e da água podem ser consideradas mais importantes. Essa compreensão das diferenças climáticas regionais é crucial para desenvolver políticas e práticas agrícolas adaptadas às necessidades específicas de cada região do Brasil (Milhorance *et al.*, 2022).

Na região Sul do Brasil, por exemplo, as percepções dos agricultores sobre as mudanças climáticas foram fundamentais para a tomada de decisão sobre adaptar ou não (Dahmer, 2019). Os produtores locais perceberam as mudanças climáticas em suas propriedades e os impactos que essas mudanças têm em suas produções. Essas percepções são essenciais para compreender os desafios enfrentados pelos agricultores e desenvolver estratégias de adaptação eficazes para enfrentar as mudanças climáticas em curso (Dahmer, 2019). Nesse contexto, para a região Nordeste, a análise sobre a percepção das mudanças climáticas realizada por Carlos *et al.* (2019) revelou que os agricultores que possuem conhecimento sobre as mudanças climáticas tendem a ter uma maior predisposição para adotar medidas adaptativas. No entanto, constatou-se que nem sempre esse conhecimento se

traduz em ações práticas para lidar com o problema climático. Resultados semelhantes foram obtidos para a região Sul do Brasil (Dahmer, 2019). Ambos os estudos indicaram que são necessárias ações de políticas públicas para promover a implementação de medidas eficientes de adaptação às mudanças climáticas, garantindo que o conhecimento disponível seja utilizado de maneira eficaz para enfrentar os desafios impostos pelo clima em constante transformação (Carlos *et al.*, 2019; Dahmer, 2019).

Na região Vale do Rio Doce no estado de Minas Gerais, Brasil, Dos Santos *et al.*, (2022) investigaram a vulnerabilidade da agricultura familiar devido às mudanças climáticas. A pesquisa analisou a capacidade adaptativa, sensibilidade e exposição dos agricultores, utilizando dados socioeconômicos, demográficos e variáveis climáticas municipais. A análise proporcionou uma compreensão mais profunda dos desafios enfrentados pelos agricultores familiares em meio às transformações climáticas. O estudo revelou que a maioria dos municípios se encontrava em média vulnerabilidade, enquanto três estavam classificados como alta vulnerabilidade, não havendo nenhum município com baixa vulnerabilidade. Uma das principais descobertas foi que as limitações no acesso à irrigação aumentaram a vulnerabilidade dos agricultores. E isso foi exacerbado pela dificuldade de acesso ao crédito rural. Além disso, a região enfrenta aumento na exposição devido à grande variação na precipitação anual em relação às médias históricas. Esses fatores combinados destacam os desafios significativos enfrentados pela agricultura familiar na região do Rio Doce diante das mudanças climáticas.

A agricultura irrigada emerge como uma atividade fundamental para promover uma produção sustentável e reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas. Além de aumentar significativamente a produção anual em comparação com sistemas de cultivo de sequeiro, a irrigação também facilita uma distribuição mais equitativa dos alimentos ao longo do ano (Faccioli e Filho, 2021). Consequentemente é reconhecida como uma estratégia essencial para o desenvolvimento sustentável. Estudos recentes (Faccioli e Filho, 2021; Rodrigues *et al.*, 2022) têm destacado avanços significativos na agricultura irrigada, permitindo altas produções mesmo diante de desafios como as mudanças climáticas e a escassez de novas áreas agrícolas disponíveis. O potencial de crescimento da produção agrícola nacional pode ser plenamente explorado sem a necessidade de expansão para novas áreas, seguindo o conceito de "poupa terra". Neste contexto, a irrigação é enfatizada como uma tecnologia chave de adaptação, capaz de mitigar a vulnerabilidade da produção durante

períodos de seca e contribuir para o sucesso das propriedades agrícolas (Rodrigues *et al.*, 2022).

O estudo conduzido por Dos Santos *et al.* (2022) concentrou-se na estratégia específica de adaptação através da irrigação. No entanto, devido ao acesso limitado a essa tecnologia, os produtores tornaram-se mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Em contraste, Dahmer (2019) investigou uma ampla gama de estratégias de adaptação às mudanças climáticas, entrevistando produtores locais. As respostas indicaram que práticas como conservação do solo com rotação de culturas, preservação de Áreas de Preservação Permanente (APP), e proteção e conservação dos recursos hídricos foram consideradas as principais estratégias pelos entrevistados. A implantação ou adaptação de sistemas de irrigação foi mencionada como uma das estratégias menos adotadas, possivelmente devido a restrições de acesso ou diferentes prioridades dos agricultores na região (Dahmer, 2019). Essas escolhas de estratégias podem ser atribuídas às especificidades das áreas de estudo, uma na região do Rio Doce, em Minas Gerais (Dos Santos *et al.*, 2022), e outra no Norte do Rio Grande do Sul (Dahmer, 2019). A seleção das estratégias de adaptação é influenciada pelas condições climáticas distintas ao longo do ano e pelas características geográficas específicas de cada região do país (Ambrizzi *et al.*, 2021).

No cerrado brasileiro, as mudanças climáticas têm um impacto direto no ciclo das culturas e na vegetação, aumentando a necessidade de irrigação (Assad *et al.*, 2020). Em contraste, na região semiárida do país, caracterizada por altas temperaturas e longos períodos de seca, Fonseca e Santos (2020) investigaram os efeitos da seca na população local. Os resultados revelaram que os moradores demonstram uma certa resiliência ao lidar com as dificuldades impostas pela seca, mas alguns optam por migrar para outras regiões em busca de melhores oportunidades de vida. Portanto, a migração emerge como uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro (Fonseca e Santos, 2020).

As mudanças climáticas, caracterizadas por transformações de longo prazo, têm sido objeto de estudo ao longo das últimas décadas, analisando variações climáticas futuras por meio de diversas variáveis climáticas. Essas mudanças são distintas de acordo com as diferenças sazonais observadas em diferentes regiões, tanto no Brasil quanto internacionalmente (Ambrizzi *et al.*, 2021). No Quênia, Narita *et al.* (2020) realizaram um estudo de caso sobre o desenvolvimento da irrigação. Apesar da disponibilidade limitada de dados climáticos, os pesquisadores utilizaram previsões de rendimento, simulações de cenários e avaliações socioeconômicas locais para investigar o potencial da irrigação em

mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas futuras. Considerando que as mudanças climáticas são uma tendência que geralmente reduz a produtividade agrícola, o estudo sugere que o desenvolvimento da irrigação pode ser uma resposta eficaz e viável como meio de adaptação a essas alterações climáticas (Narita *et al.*, 2020).

Diante das complexidades decorrentes das mudanças climáticas, Assad (2021) destaca os impactos significativos do clima na agricultura e pecuária brasileira. O aumento das temperaturas tem afetado atividades agrícolas e pecuárias fundamentais no país, resultando em perdas nas culturas do café, feijão e laranja, além de problemas em animais prenhes como vacas e porcos, e mortalidade precoce de aves. Para mitigar esses impactos adversos, o autor menciona esforços de adaptação, como a adoção de novas práticas de cultivo e o uso de biotecnologias no aprimoramento dos sistemas de produção (Assad, 2021).

Enfim, todas essas práticas de adaptação climática, incluindo a irrigação, já estão sendo implementadas no Brasil, por meio do projeto governamental denominado ABC+, que está em sua segunda fase. O ABC+ é o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com o objetivo de reduzir os impactos das mudanças climáticas no setor agropecuário no período de 2020 a 2030. Os pontos-chave desta segunda etapa incluem uma Abordagem Integrada da Paisagem, estímulo à adoção e manutenção de Sistemas, Práticas, Produtos e Processos de Produção Sustentáveis, a mitigação de gases de efeito estufa (GEE) e adaptação (Brasil, 2021).

O plano ABC+ influencia na irrigação ao promover a adoção e manutenção de práticas sustentáveis de produção agrícola. Dentro desse contexto, a irrigação desempenha um papel crucial como uma das principais estratégias de adaptação às mudanças climáticas no setor agropecuário. O plano ABC+ busca incentivar os agricultores a adotarem sistemas de irrigação mais eficientes e sustentáveis, visando minimizar os impactos das mudanças climáticas e aumentar a resiliência da produção agrícola. Por meio do ABC+, os agricultores podem ter acesso a recursos financeiros, assistência técnica e tecnologias inovadoras para melhorar a eficiência do uso da água na irrigação (Brasil, 2021).

Além disso, o plano ABC+ pode oferecer suporte para a implementação de práticas de manejo integrado de água e solo, visando conservar os recursos hídricos e melhorar a retenção de umidade no solo. Isso pode incluir a adoção de técnicas de irrigação inteligente, como a programação baseada na demanda das culturas e o uso de sensores para monitorar as condições do solo e da planta (Brasil, 2021). No entanto, para que os produtores rurais optem pela adoção da irrigação, é necessário entender os fatores determinantes que

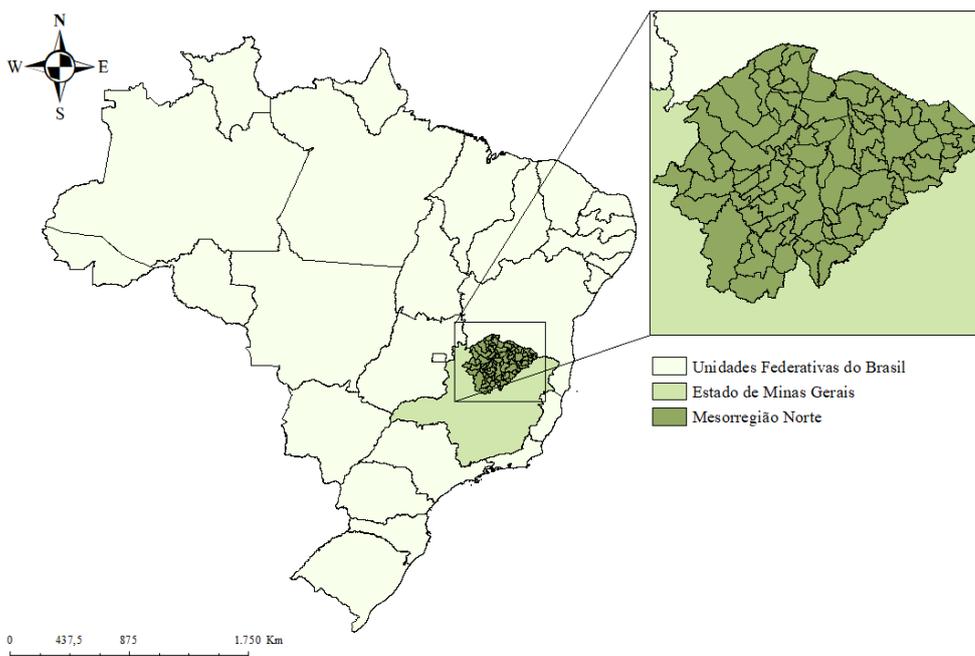
influenciam nessa escolha, que podem variar desde questões econômicas, agronômicas, sociodemográficas e climáticos (Cunha *et al.*, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a mesorregião Norte de Minas, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil. Considerada a maior mesorregião do estado, abrange 89 municípios em uma área próxima a 128.389.904 km² (IBGE, 2023). Ferreira *et al.* (2022) descrevem essa região como caracterizada por um clima variável entre semiárido e semiúmido, marcado por estações distintas ao longo do ano e eventos climáticos extremos, como secas frequentes associadas a anos de altas temperaturas, o que representa desafios significativos para as atividades industriais, agrícolas e sociais, impactando diretamente a economia local. Além disso, o Norte de Minas está inserido parcialmente na região semiárida do Brasil, com algumas médias anuais de precipitação pluviométrica inferiores a 800 milímetros (IBGE, 2022). A região apresenta uma paisagem dominada por vegetação de Cerrado, além de Caatinga, floresta perenifólia de várzea e campos de várzea, com uma flora diversificada que inclui gramíneas, plantas espinhosas e árvores de pequeno a grande porte. Essa diversidade é impulsionada pelas características do clima, vegetação, relevo, solo e cursos d'água (Instituto Estadual de Florestas – IEF, 2023). A figura 1 abaixo ilustra a localização da mesorregião Norte de Minas.

Figura 1–Localização da mesorregião Norte de Minas Gerais, Brasil



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2019).

A área de estudo é atravessada por três importantes bacias hidrográficas: Rio São Francisco, Rio Pardo e Rio Jequitinhonha, com destaque para a bacia do Rio São Francisco, uma das principais da região e do Brasil, que percorre o Norte de Minas de sul a norte, em direção à Bahia, antes de desaguar no Oceano Atlântico (Castro e Pereira, 2019). Em relação às atividades econômicas desenvolvidas na área de estudo Mesquita e De Araújo (2021), indentificaram variações dentro da mesorregião, destacando cinco categorias regionais na mesorregião: polos industriais, destacando-se por indústrias geradoras de empregos e potencial para industrialização; região do vale do rio São Francisco, com concentração de barraqueiros e pescadores da agricultura familiar; área ao redor do rio Pardo, caracterizada pela exploração agroextrativista; faixa de riquezas naturais, com mineração e turismo como atividades principais; e o vale das águas, onde grandes projetos agrícolas impulsionam a economia com cultivo agrícola irrigado.

Segundo o Censo Agropecuário de 2017, a receita dos estabelecimentos agropecuários em Minas Gerais ultrapassou 62.752.000 reais por ano, com o Norte de Minas contribuindo com mais de 4.076.000 reais anualmente, destacando-se cinco municípios: Jaíba, Buritizeiro, Janaúba, Montes Claros e Francisco Sá, respectivamente.

4.2 Fonte e tratamento dos dados

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foram empregadas diferentes fontes de dados e metodologias de tratamento. No que diz respeito às condições climáticas da região, foram utilizados dados históricos de temperatura e precipitação com média de 1949 a 2016. A escolha por essa série temporal se justifica pela necessidade de compreender as variações históricas das variáveis climáticas ao longo do tempo. Foram construídas seis variáveis distintas: Precipitação e Temperatura de Verão, representando as médias dos meses da estação de verão brasileira; Precipitação e Temperatura de Inverno, médias dos meses da estação de inverno brasileira; e Temperatura e Precipitação Médias, que correspondem à média anual dos 12 meses. É importante ressaltar que os estudos de Seo e Mendelsohn (2008), bem como os de Seo (2010; 2011), embasaram a decisão de considerar apenas as temperaturas e precipitações do verão e do inverno, ao invés das quatro estações do ano. Segundo esses pesquisadores, essa abordagem é mais adequada para análises na América do Sul, onde as quatro estações não são tão distintas quanto no hemisfério Norte, permitindo uma melhor captura dos efeitos das mudanças climáticas.

Este método de construção das variáveis climáticas proporcionou uma base sólida para investigar como as mudanças climáticas afetam a região estudada, oferecendo *insights* valiosos para a pesquisa científica sobre adaptação e mitigação dos impactos ambientais na agricultura e em outras atividades econômicas locais. Os dados climáticos utilizados foram disponibilizados pelo grupo da *Terrestrial Hydrology Research Group* (THRG) da Princeton University.

Para as características agrônômicas e socioeconômicas dos municípios, foram considerados os dados primários obtidos principalmente por meio do Censo Agropecuário Brasileiro de 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este censo fornece informações detalhadas sobre a estrutura agrícola e pecuária dos estabelecimentos agropecuários em todo o país, incluindo características específicas sobre o uso de irrigação pelos agricultores. O Censo Agropecuário é reconhecido como uma das mais importantes e abrangentes pesquisas no Brasil, dedicada à caracterização da produção agropecuária. Seu objetivo principal é fornecer informações detalhadas sobre o setor, incluindo análises econômicas, perfil das propriedades e seus proprietários, condições de trabalho e avaliação sociodemográfica (IBGE, 2019).

Todas as variáveis foram agregadas por municípios pertencentes ao Norte de Minas Gerais. As variáveis utilizadas e as descrições das fontes estão dispostas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Descrição das variáveis utilizadas e fonte dos dados

Variáveis	Descrição	Fonte
Condições Climáticas		
Precipitação verão	Precipitação média de verão (mm) (1949-2016)	<i>Terrestrial Hydrology Research Group (THRG)</i>
Precipitação Inverno	Precipitação média de inverno (mm) (1949-2016)	
Temperatura média verão	Temperatura média de verão (°C) (1949-2016)	
Temperatura média inverno	Temperatura média de inverno (°C) (1949-2016)	
Temperatura média	Temperatura média (°C) (1949-2016)	
Precipitação média	Precipitação média (mm) (1949-2016)	
Condições Agronômicas		
Recursos hídricos	Número de estabelecimentos agropecuários que possuem recursos hídricos.	Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019)
Alto Potencial Agrícola	Maior predominância do solo no município, classificados em A1 (muito boa), A2 (boa) e B (moderada).	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Potencialidade agrícola natural das terras (IBGE, 2022).
Baixo Potencial Agrícola	Maior predominância do solo no município classificados em C (restrita) e D (fortemente restrita).	
Condições Socioeconômicas		
Acesso à internet	Número de estabelecimentos agropecuários com acesso à internet.	Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019).
Ensino Superior	Número de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possui curso superior.	
Proprietário	Número de estabelecimentos agropecuários cuja condição do produtor com relação às terras é de proprietário.	
Financiamento	Número de estabelecimentos agropecuários que tem acesso ao financiamento.	
Associados	Número de estabelecimentos agropecuários em que o proprietário tem algum vínculo que o caracteriza como associado.	

Fonte: Adaptado de Cunha *et al.*, 2013.

As variáveis climáticas, temperatura e precipitação, foram mensuradas em graus Celsius (°C) e milímetros (mm) de chuva média mensal, respectivamente. As variáveis relacionadas às potencialidades do solo foram construídas com base em uma variável dummy, onde solos classificados como de alto potencial agrícola assumiram o valor 1, e solos de baixo potencial, o valor 0. As demais variáveis, mensuradas pelo número de estabelecimentos, foram agregadas por município.

Para alcançar o objetivo 1 da pesquisa, os dados do Censo Agropecuário foram agregados ao nível de município identificando a área total de terra irrigada na região, o número de estabelecimentos que adotam práticas de irrigação e o tipo específico de sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores.

Para analisar as características climáticas, agronômicas e socioeconômicas dos irrigantes e não irrigantes, conforme delineado no objetivo 2 os municípios foram divididos em dois grupos distintos: irrigantes e não irrigantes. Os municípios foram categorizados como irrigantes se possuíam uma proporção de estabelecimentos agropecuários com algum tipo de irrigação igual ou superior à média estadual de Minas Gerais, que foi de 10,67% em 2017. Caso contrário, foram considerados não irrigantes. Essa abordagem permitiu uma análise comparativa entre os grupos para identificar fatores determinantes na adoção de irrigação na região estudada². Esses fatores correspondem ao objetivo 3 da pesquisa e foram estimados com base na metodologia *Probit*, detalhada a seguir:

4.3 Modelo *Probit*

Nesta seção é detalhado o modelo *Probit* para analisar a adoção de irrigação como uma escolha binária, utilizando características climáticas, agronômicas e socioeconômicas como variáveis independentes.

O modelo *Probit* é uma técnica de regressão utilizada para modelar variáveis dependentes binárias, onde a variável de interesse assume dois possíveis valores, geralmente codificados como 0 e 1 (Burton *et al.*, 2019; Cameron e Trivedi, 2005). No contexto da adoção de irrigação, assumiu-se que a variável dependente Y_i é binária, com $Y_i = 1$ indicando que o agricultor adotou a prática de irrigação e $Y_i = 0$ caso contrário (Cameron e Trivedi, 2005; Wooldridge, 2013).

² Uma análise ideal seria realizada caso os dados do censo agropecuário estivessem disponíveis a nível de produtor, no entanto, o IBGE não disponibiliza-os, a princípio, como uma forma de preservar a privacidade destes. Assim, não é possível atribuir valores para grupos de produtores (Cunha *et al.*, 2013).

A probabilidade de um agricultor adotar a irrigação pode ser modelada pela função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão (função *Probit*). A forma funcional do modelo *Probit* é dada por:

$$P(Y_i = 1|X_i) = \Phi(X_i \beta) \quad (1)$$

Em que:

$P(Y_i = 1|X_i)$ é a probabilidade condicional de adoção de irrigação para o agricultor i ,

X_i é um vetor de variáveis independentes para o agricultor i ,

β é um vetor de parâmetros a serem estimados,

Φ é a função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão.

As variáveis independentes X_i incluem características das como: condições climáticas, agronômicas e socioeconômicas que são teoricamente relevantes para explicar a adoção de irrigação. Assim, o vetor X_i para o agricultor i é composto por $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik})$ onde k é o número de variáveis independentes descritas no Quadro 1 acima.

Os parâmetros do modelo β são estimados usando técnicas de máxima verossimilhança, buscando maximizar a função de verossimilhança dada pelos dados observados (Cameron e Trivedi, 2005; Wooldridge, 2013). Os coeficientes estimados β fornecem informações sobre a direção do efeito das variáveis independentes na probabilidade de adoção de irrigação. Um coeficiente positivo indica que um aumento na variável correspondente aumenta a probabilidade de adoção de irrigação, enquanto um coeficiente negativo indica o efeito oposto.

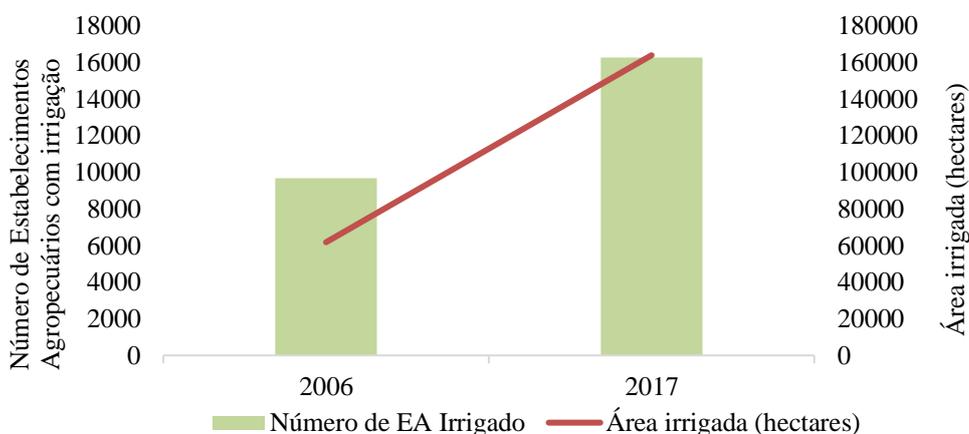
O modelo *Probit* é uma abordagem estatística importante para investigar fatores determinantes na adoção de práticas agrícolas como a irrigação. Ele permite não apenas quantificar a influência de variáveis climáticas, agronômicas e socioeconômicas, mas também avaliar a significância estatística de suas relações com a variável dependente binária (Cunha *et al.*, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos, primeiramente, os resultados referentes à área irrigada, número de estabelecimentos que adotaram a irrigação e tipo de irrigação adotado na mesorregião do Norte de Minas Gerais no ano de 2017, com uma comparação das áreas e número de estabelecimentos com uso de irrigação do censo de 2006. Em seguida, são analisadas as características climáticas, agronômicas e socioeconômicas dos municípios irrigantes e não irrigantes, proporcionando uma compreensão detalhada das diferenças e semelhanças entre esses grupos. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados da estimativa do modelo *Probit*, o qual identifica os fatores determinantes na adoção da irrigação, considerando as variáveis climáticas, agronômicas e socioeconômicas.

A partir dos dados extraídos do Censo Agropecuário de 2017, os resultados indicam que a região do Norte de Minas Gerais possui 101.021 estabelecimentos agropecuários, ocupando uma área total de 7.386.444 hectares. A análise revelou que todos os municípios da região de estudo utilizam algum tipo de irrigação em suas propriedades. Especificamente, 16.258 estabelecimentos adotam práticas de irrigação, correspondendo a 16,09% do total de estabelecimentos, com uma área irrigada de 163.889 hectares, representando 2,2% da área total. É relevante destacar que, em comparação com os resultados do Censo Agropecuário de 2006, houve um aumento substancial de mais de 165,0% na área irrigada em hectarese 68,0% no número de estabelecimentos irrigados na áreas (Figura 2).

Figura 2 – Evolução da área irrigada e no número de estabelecimentos agropecuários do Norte de Minas Gerais com algum tipo de irrigação.



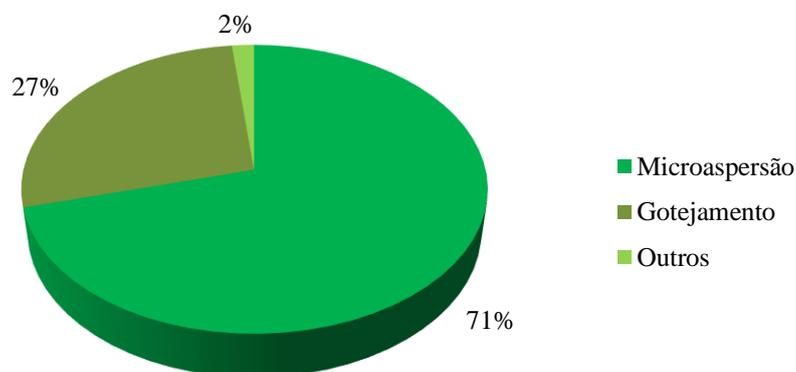
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006; 2019).

Nota: EA: Estabelecimento Agropecuário.

Estes resultados mostram o avanço das áreas irrigadas na região Norte de Minas e a expansão no número de estabelecimentos que adotaram a irrigação. Tais achados se assemelham com as demais regiões brasileiras. Carvalho *et al.* (2020) constataram aumento nas áreas irrigadas em todas as regiões geográficas do Brasil. Em 2017, a área irrigada totalizou 6.902.960 hectares, representando uma expansão de 51,9% em relação a 2006. Além disso, conforme destacado por Da Silva *et al.* (2020), em uma pesquisa voltada para o semiárido brasileiro, espera-se que haja uma correlação direta entre a área do estabelecimento agropecuário e o acesso aos recursos hídricos, impactando significativamente o uso da irrigação, que é fundamental para adaptação da região. Por outro lado, Dos Santos *et al.* (2022) destacam que as grandes limitações ao acesso à irrigação aumentam a vulnerabilidade dos agricultores às mudanças climáticas.

A irrigação pode ser classificada em quatro métodos principais: localizada, aspersão, superfície e subterrânea (ANA, 2021). Cada método engloba um ou mais sistemas que podem ser aplicados conforme as necessidades específicas de cada irrigante (ANA, 2021). Na região Norte de Minas, os destaques são para os métodos de irrigação localizada, aspersão e de superfície. Se tratando especificamente do método de irrigação localizada, observa-se na Figura 3 que o sistema de irrigação por microaspersão é o mais adotado, representando aproximadamente 71% das unidades. Em seguida, o de gotejamento é utilizado por 27% dos estabelecimentos agropecuários, enquanto outros sistemas correspondem a apenas 2%. No total, 8.882 estabelecimentos agropecuários utilizam algum tipo de sistema de irrigação localizada, destacando a prevalência dos sistemas que proporcionam maior eficiência e economia no uso da água.

Figura 3– Proporção de Estabelecimentos Agropecuários utilizando métodos de irrigação localizada

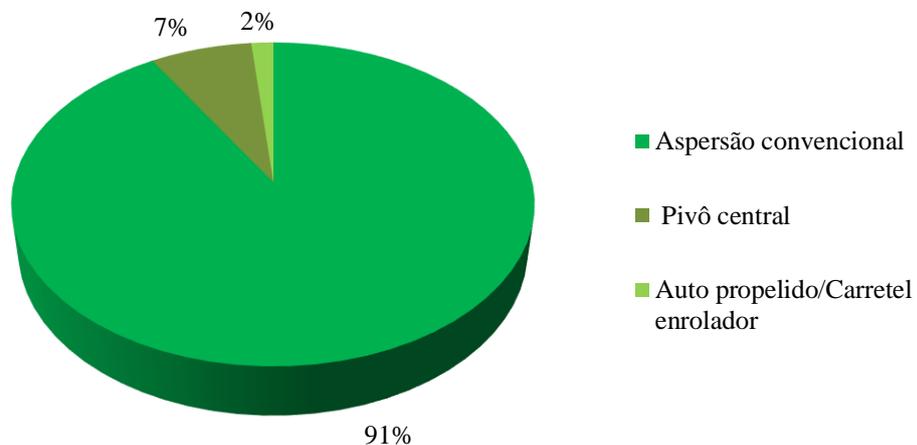


Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019).

As variações nos sistemas de irrigação são evidentes, pois cada propriedade dentro dos municípios utiliza um sistema que melhor se adapta à sua área, buscando eficiência e custo-benefício. O método de suprir a demanda hídrica da cultura com maior economia no uso da água é fundamental para a região. Os sistemas de irrigação localizada, destacam-se nas propriedades devido à sua alta frequência de aplicação de água em baixos volumes, operando com precisão diretamente na planta (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR, 2019).

O método de irrigação por aspersão é o segundo mais empregado na região Norte de Minas, com cerca de 4.942 estabelecimentos agropecuários utilizando-o. O sistema de aspersão convencional é o mais predominante, presente em 4.530 estabelecimentos, representando mais de 91% do total. Em seguida, o sistema de pivô central, amplamente usado no Brasil, é utilizado por 335 estabelecimentos, correspondendo a 7%. Por fim, o sistema autopropelido é o menos empregado, com apenas 77 estabelecimentos agropecuários, refletindo 2% do uso total. Essas informações são detalhadas na Figura 4.

Figura 4 – Proporção de Estabelecimentos Agropecuários utilizando métodos de irrigação por aspersão.



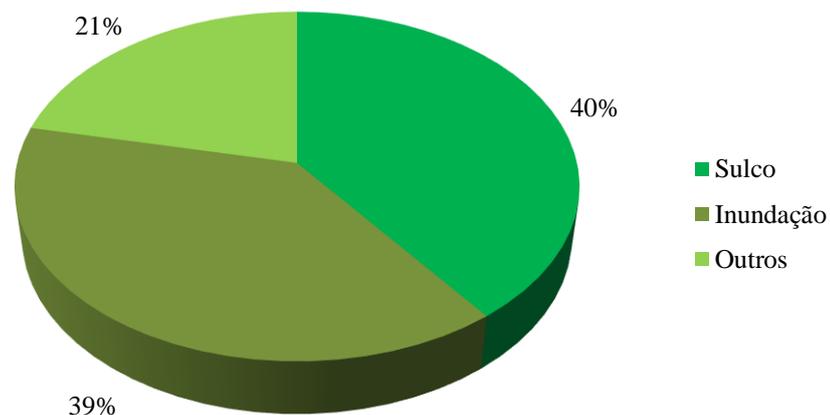
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019).

Minas Gerais é o estado que mais apresentou aumento nas áreas irrigadas nos últimos anos, especialmente devido à expansão agrícola no cerrado para a produção de cereais, mediante o uso do sistema de pivô central (Carvalho *et al.*, 2020). A irrigação por aspersão, que inclui tanto o pivô central quanto a aspersão convencional, tem sido fundamental para essa expansão. Esse método é apreciado por sua capacidade de simular a chuva, distribuindo água de forma uniforme sobre grandes áreas, o que é ideal para culturas

de alta densidade. No entanto, a velocidade do vento é uma das grandes preocupações na distribuição da lâmina de água. Estudos de Hass (2022) concluíram que Minas Gerais enfrentam menos limitações devido às altas velocidades dos ventos em comparação com estados como Goiás, Rio Grande do Sul e São Paulo, facilitando a adoção eficiente da irrigação por aspersão. Essa menor interferência dos ventos permite uma aplicação mais precisa e eficiente da água, o que é ideal para manter a produtividade agrícola e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Essa vantagem climática, aliada ao investimento em tecnologia de irrigação, tem impulsionado Minas Gerais como um líder em irrigação eficiente e expansão agrícola (Siqueira, 2019).

Quanto ao método de irrigação por superfície, a Figura 5 mostra uma distribuição equilibrada entre os sistemas de sulco e de inundação nos estabelecimentos agropecuários. O sistema de sulco é o mais utilizado, presente em 121 propriedades, representando 40% do uso total. Em seguida, o sistema de inundação é adotado por 118 propriedades, correspondendo a 39%. Outros métodos de irrigação por superfície são utilizados em 66 propriedades, refletindo 21% do total (Figura 5).

Figura 5 – Proporção de Estabelecimentos Agropecuários utilizando métodos de irrigação de superfície.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019).

O método de irrigação por superfície é amplamente utilizado no Brasil, destacando-se em quase todas as regiões do país devido à sua simplicidade e baixo custo, tornando-o acessível para pequenos e médios agricultores. No Sul do Brasil, o sistema de inundação é predominante, especialmente para o cultivo de arroz, enquanto no Nordeste, o sistema de sulco é mais comum, sendo eficaz para culturas em fileiras como a cana-de-açúcar.

A irrigação por superfície permite uma distribuição uniforme da água, reduz perdas por evaporação e ajuda no controle da erosão do solo. Além de ter uma simplicidade operacional, esse método é fundamental para a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico das regiões onde é implementado contribuindo para a estabilidade das colheitas e a sustentabilidade das atividades agrícolas (Carvalho *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que na região Norte de Minas, cerca de 3.740 estabelecimentos agropecuários utilizam outros métodos de irrigação, como a irrigação por molhação e a subsuperficial. A irrigação por molhação, que envolve a aplicação direta de água na superfície do solo através do uso de mangueiras, baldes, regadores, entre outros. É eficaz para hortaliças e pequenos cultivos, oferecendo simplicidade e baixo custo. A irrigação subsuperficial, que distribui água diretamente nas raízes através de sistemas enterrados, é valorizada pela eficiência no uso da água e pela redução de perdas por evaporação. Esses métodos complementam o uso da aspersão e do pivô central, proporcionando alternativas adaptáveis às diversas condições climáticas e de cultivo da região (Carvalho *et al.*, 2020; Da Silva *et al.*, 2020). A diversidade de métodos de irrigação adotados reflete a busca por técnicas que otimizem a produção agrícola e promovam o uso sustentável dos recursos hídricos.

Dado que o segundo objetivo da pesquisa é analisar as características dos irrigantes em relação aos não irrigantes, seguindo os passos metodológicos descritos na seção 4, este estudo considera 50 municípios do Norte de Minas como irrigantes, enquanto 39 foram classificados como não irrigantes, conforme descrito na Tabela A1 em anexo. A Tabela 1 abaixo apresenta a estatística descritiva das principais características climáticas, agrônômicas e socioeconômicas de cada grupo.

Tabela 1– Estatísticas descritivas das principais variáveis por grupo irrigantes e não irrigantes

Variáveis	Irigante			Não irrigante		
	Obs.	Média	Desvio Padrão	Obs.	Média	Desvio Padrão
Condições climáticas						
Temperatura média Verão °C	50	24,65	1,16	39	24,54	1,10
Precipitação média Verão (mm)	50	184,27	47,29	39	197,29	44,75
Temperatura média °C	50	21,22	1,87	39	21,49	1,97
Precipitação média inverno (mm)	50	10,07	9,79	39	9,59	9,27
Temperatura média inverno °C	50	23,30	1,59	39	23,52	1,59
Precipitação média °(mm)	50	92,52	23,33	39	97,79	22,39
Condições agrônômicas						
Recursos Hídricos (EA)	50	996,04	802,90	39	832,56	604,15
Alto Potencial Agrícola (%)	50	76	0,43	39	74	0,44
Baixo Potencial Agrícola (%)	50	24	0,43	39	26	0,44
Condições socioeconômicas						

Acesso a Internet (EA)	50	117,04	102,41	39	75,79	85,79
Ensino Superior (EA)	50	51,84	60,718	39	31,02	25,35
Proprietário (EA)	50	1049,94	894,48	39	938,07	733,95
Financiamento (EA)	50	292,04	251,00	39	221,48	177,34
Associado (EA)	50	812,90	762,70	39	681,35	476,02

Fonte: Elaboração própria com bases nos dados do IBGE e *Terrestrial Hydrology Research*, seguindo os passos metodológicos da seção 4. Notas: Obs = Observação. EA = Estabelecimentos Agropecuários. Temperatura em °C de 1949-2016 e Precipitação em mm de 1949-2016.

Na Tabela 1, observa-se que os municípios classificados como irrigantes apresentam uma temperatura média verão histórica levemente superior aos não irrigantes. Além disso, tanto a precipitação média de verão quanto a precipitação anual são menores nos irrigantes em comparação aos não irrigantes. Embora haja uma leve diferença a favor dos irrigantes na precipitação média no inverno, essa disparidade apresentada é muito baixa. Na média, os irrigantes recebem menor volume de chuvas. Esses resultados sugerem que a irrigação desempenha um papel relevante como medida de adaptação às mudanças climáticas.

A relação entre precipitação, temperatura e adoção de irrigação é fundamental para entender a sustentabilidade agrícola frente às mudanças climáticas. Estudos como o de Narita *et al.* (2020) destacam que as alterações climáticas podem reduzir as áreas cultiváveis, e a adoção de sistemas de irrigação emerge como uma estratégia fundamental para mitigar esses impactos negativos. Em contextos com grandes variações de precipitação, como na África Subsariana, onde 90% das áreas agrícolas dependem de sistemas de sequeiro, a insuficiência de chuvas para suprir a demanda hídrica das culturas é uma realidade frequente, levando os agricultores a buscarem alternativas de conservação de água no solo (Lamprey, 2021).

Analisando os resultados, as médias das variáveis de temperatura no verão e inverno não demonstram variações significativas entre os grupos estudados. No entanto, conforme observado por Narita *et al.* (2020), o aumento da temperatura devido às mudanças climáticas podem comprometer a qualidade e a produção de culturas como o arroz na região do Quênia. Portanto, a adoção de práticas de irrigação eficientes não apenas auxilia na adaptação às variações climáticas, mas também sustenta a segurança alimentar.

No que se refere aos aspectos agrônômicos, observa-se que os municípios classificados como irrigantes apresentam médias superiores de acesso aos recursos hídricos e de potencialidade agrícola do solo. Em contraste, os municípios não irrigantes têm uma proporção maior de áreas com baixo potencial agrícola. Esses dados evidenciam uma forte ligação entre a adoção de irrigação e a disponibilidade de recursos hídricos. Quando há acesso a recursos hídricos e o solo possui um potencial agrícola médio ou alto, os produtores estão

mais inclinados a investir em sistemas de irrigação. Isso aumenta significativamente as chances de sucesso nas colheitas e, conseqüentemente, de alcançar retornos lucrativos (Cunha *et al.*, 2013).

Walczak (2021) em seu estudo sobre a exploração dos recursos hídricos globais para a agricultura, destaca a importância do uso racional da irrigação e propõe métodos para avaliar a eficiência dessa prática. A disponibilidade de recursos hídricos é fundamental na decisão dos agricultores de adotar a irrigação, influenciando diretamente na produtividade e na sustentabilidade dos cultivos. Por outro lado, Kariznovi (2021) ressalta a necessidade de aumentar a conscientização dos produtores sobre a gestão eficiente dos recursos hídricos. Ele argumenta que uma boa gestão na propriedade não só reduz os custos de produção, comparado às terras não geridas, mas também contribui para a conservação dos recursos hídricos e para a sustentabilidade ambiental. A adoção de sistemas de irrigação está intimamente ligada ao potencial agrícola do solo; áreas com um potencial mais alto frequentemente incentivam os agricultores a investirem em práticas que maximizem o rendimento das colheitas e minimizem os riscos climáticos (Walczak, 2021; Kariznovi, 2021).

Em relação ao conjunto de variáveis socioeconômicas, conforme apresentado na Tabela 1, observa-se uma significativa disparidade no acesso à internet entre os irrigantes e os não irrigantes. Em média, 117 estabelecimentos classificados como irrigantes possuem acesso à internet, enquanto pouco mais de 75 unidades rurais não irrigantes desfrutam dessa facilidade. Essa diferença destaca não apenas a infraestrutura digital mais desenvolvida nas áreas com irrigação, mas também implica em potenciais vantagens para os agricultores em termos de acesso a informações, comunicação e tecnologia que podem beneficiar a gestão e produtividade agrícola.

O acesso à informação, especialmente por meio da internet, desempenha um papel relevante na decisão dos agricultores de adotar sistemas de irrigação. Como destacado na Tabela 1, os irrigantes apresentam uma clara vantagem nesse aspecto em comparação com os não irrigantes. Esse maior acesso à informação permite aos agricultores obterem conhecimentos técnicos, melhores práticas agrícolas, previsões meteorológicas e mercados, que são essenciais para uma gestão mais eficiente das atividades agrícolas e para a tomada de decisões informadas (Conceição e Schneider, 2019). A crescente importância do acesso à informação na zona rural amplia as oportunidades para os agricultores, possibilitando a diversificação de conhecimentos e práticas, e reduzindo a dependência de perspectivas limitadas ao ambiente rural imediato. Isso não apenas aumenta a eficiência na utilização de

recursos como a água, mas também fortalece a resiliência das práticas agrícolas frente às mudanças climáticas e aos desafios econômicos (Conceição e Schneider, 2019).

Para as variáveis de ensino superior, proprietário do estabelecimento, financiamento e associação, as médias são mais elevadas nos grupos de irrigantes em comparação aos não irrigantes. Nota-se que um número significativamente maior de estabelecimentos irrigantes é gerido por indivíduos com ensino superior, com uma diferença de pouco mais de 20 propriedades agrícolas. Este fator é relevante não apenas na decisão de adotar sistemas de irrigação, mas também na gestão eficiente das operações no campo. Ser proprietário do estabelecimento também mostra uma disparidade considerável, com mais de 1049 estabelecimentos sendo de proprietários irrigantes em comparação com 938 não irrigantes. Isso reflete a tendência dos proprietários que estão diretamente envolvidos nas operações diárias a perceberem oportunidades de investimento em seus estabelecimentos. Em relação ao financiamento, novamente observa-se um maior número de estabelecimentos irrigantes cujos proprietários têm acesso a algum tipo de financiamento. Da mesma forma, o número de estabelecimentos associados a alguma entidade é significativamente maior entre os irrigantes em comparação aos não irrigantes. Essas diferenças sublinham a importância desses fatores socioeconômicos na adoção e na implementação eficaz de práticas de irrigação.

Agricultores com formação superior tendem a estar mais bem preparados para entender e implementar tecnologias avançadas de irrigação, o que pode aumentar a eficiência hídrica e melhorar a produtividade agrícola (Búrigo *et al.*, 2021). Além disso, o fato de ser proprietário da propriedade está fortemente correlacionado com a decisão de investir em irrigação, pois os proprietários têm maior autonomia e interesse em maximizar o retorno sobre seus investimentos, incluindo a adoção de práticas que aumentem a resiliência agrícola. A disponibilidade de financiamento também desempenha um papel importante. Muitos desses financiamentos são direcionados para custeio agrícola, tanto para aquisição de insumos quanto para investimentos em infraestrutura de irrigação, o que pode reduzir os custos de produção e aumentar a sustentabilidade econômica das operações agrícolas (Búrigo *et al.*, 2021). Da mesma forma, a associação a entidades agrícolas é mais comum entre os agricultores irrigantes, uma vez que isso permite acessar recursos, informações e oportunidades de mercado que podem fortalecer a posição competitiva no setor (De Souza e Alcantara, 2019). Essas medidas não apenas demonstram a adaptação às demandas contemporâneas da agricultura, mas também proporcionam vantagens significativas na gestão e na viabilidade econômica das atividades rurais.

Visando investigar fatores determinantes na adoção de irrigação no Norte de Minas, a Tabela 2 abaixo apresenta os resultados estimados da regressão por meio do modelo *Probit*.

Tabela 2 – Estimação do modelo *Probit*

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão
Condições climáticas		
Temperatura Verão °C	-29,9416*	14,02
Temperatura Verão ² °C	0,625163**	0,29
Precipitação Verão (mm)	0,057299	0,03
Temperatura Inverno °C	13,40647**	5,98
Temperatura Inverno ² °C	-0,26438	0,11
Precipitação Inverno (mm)	-0,10361*	0,05
Temperatura média °C	3,35301	4,20
Precipitação média (mm)	-0,16525*	0,09
Condições agrônômicas		
Recursos Hídricos (EA)	0,002526**	0,00
Alto Potencial Agrícola (%)	0,183317*	0,36
Condições socioeconômicas		
Acesso Internet (EA)	0,004514	0,00
Ensino Superior (EA)	0,013525*	0,00
Proprietário (EA)	0,002978***	0,00
Financiamento (EA)	0,003299*	0,00
Associado (EA)	0,000724	0,00
Constante	274,4168**	134,07

Fonte: Resultados da pesquisa, com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019) e do *Terrestrial Hydrology Research*, seguindo os passos metodológicos descritos na seção 4. Nota: (***), (**) e (*) indicam significância a 1%, 5% e 10%, respectivamente. As estimativas foram realizadas por meio do Stata 15.

Observa-se que a temperatura média no verão demonstrou uma relação significativa e inversa com a adoção de irrigação nos municípios. Constatou-se que quanto maior a temperatura no verão, menor é a probabilidade de adotar sistemas de irrigação. No entanto, ao considerar a temperatura de verão ao quadrado, os resultados indicaram um padrão oposto: à medida que a temperatura aumenta, inicialmente a probabilidade de adoção de irrigação diminui, mas atinge um ponto onde, a partir deste valor, a probabilidade aumenta novamente. Além disso, para a variável temperatura média de inverno, as estimativas foram significativas e positivas, sugerindo que quanto mais alta a temperatura média no inverno, maior é a probabilidade de adoção de irrigação. Para a variável temperatura média as estimativas não foram significativas.

Em relação à influência da temperatura de verão na adoção de irrigação, estudos como o de Almeida *et al.* (2018) destacam que em Minas Gerais há um aumento na precipitação nesta estação, devido à permanência da massa de ar continental sobre a região, o que poderia sugerir uma menor necessidade de irrigação. No entanto, conforme observado por Freitas *et al.* (2019) em projeções de médio (2041-2070) e longo prazo (2071-2100) para o

Norte de Minas, espera-se um cenário de aumento de temperatura e chuvas intensas no verão. Essas condições, típicas do clima tropical, tornam as atividades agrícolas desafiadoras devido ao clima seco e às altas temperaturas, o que aumenta a demanda por irrigação (Jardim e Moura, 2018). Por outro lado, as temperaturas de inverno mostraram um padrão oposto.

O sinal positivo associado à variável de temperatura de inverno indica uma maior probabilidade de adoção de irrigação pelos municípios. Isso se explica pela redução na temperatura e na umidade durante o inverno em Minas Gerais, o que marca o início de uma estação seca na região (Almeida, 2018). Essa previsão é corroborada pelas projeções de Freitas *et al.* (2019) e nas análises de Cunha *et al.* (2013), reforçando a necessidade de medidas de adaptação, como a irrigação, para enfrentar os desafios climáticos sazonais e sustentar a produção agrícola na região. Esses estudos evidenciam a complexidade das decisões de manejo agrícola em resposta às variações climáticas sazonais, destacando a importância da irrigação como uma estratégia essencial para mitigar os efeitos adversos do clima e garantir a segurança alimentar e econômica dos estabelecimentos.

Para a precipitação, as variáveis precipitação média de inverno e precipitação média foram significativas e com sinais negativos. Ou seja, o maior nível médio de precipitação diminui a probabilidade de se optar pelo emprego da irrigação. Ao abordar fenômenos naturais sujeitos a variações e mudanças abruptas, como destacado por De Araújo (2021), é possível justificar o efeito observado de maior precipitação resultando em menor probabilidade de adotar irrigação. No contexto específico da pesquisa, conforme definido pelo IBGE (2022), a área de estudo abrange uma extensa região semiárida do país, caracterizada por uma precipitação pluviométrica média inferior em comparação a outras localidades. Essa condição aumenta significativamente a necessidade e, conseqüentemente, a probabilidade de adotar práticas de irrigação para garantir a viabilidade das atividades agrícolas. Esses dados sublinham a importância de considerar as condições climáticas locais ao planejar estratégias de manejo hídrico nas áreas semiáridas, onde a irrigação não apenas melhora a resiliência das culturas às variações climáticas, mas também sustenta a produção e a economia das comunidades agrícolas (De Araújo, 2021; IBGE, 2022).

Em relação às condições agronômicas na área de estudo, observa-se que as variáveis de recursos hídricos e potencialidade agrícola do solo apresentam sinais significativos e positivos. A disponibilidade de recursos hídricos e a presença de solos com alto potencial agrícola aumentam substancialmente a probabilidade de adoção de sistemas de irrigação. Esses resultados destacam a importância desses fatores na tomada de decisão dos

agricultores quanto à implementação de práticas de manejo hídrico. Áreas com esses atributos acabam contribuindo para o uso da irrigação nas propriedades. Com uma pesquisa voltada para o norte mineiro, Neto *et al.*, (2018) confirmam que na maioria da parte da região apresenta limitações voltadas para a fertilidade, questões hídricas e físicas dos solos, propondo uma exploração mais sustentável para conservação dos recursos naturais.

Em relação ao conjunto de variáveis socioeconômicas, todas mostraram tendência favorável à adoção da prática de irrigação, porém apenas Ensino Superior, Propriedade e Financiamento apresentaram significância estatística. Essas variáveis destacam-se como determinantes importantes na decisão dos agricultores em adotar sistemas de irrigação, indicando que maior educação superior, a condição de proprietário da terra e acesso a financiamento são fatores críticos que influenciam positivamente a implementação de práticas de manejo hídrico mais eficiente.

Estabelecimentos agropecuários onde os gestores ou proprietários possuem ensino superior apresentam uma maior propensão para adotar práticas de irrigação. De acordo com o censo agropecuário de 2017, cerca de 3% dos estabelecimentos na região de estudo são coordenados por produtores com ensino superior, sugerindo que esse grupo representa uma minoria significativa com maior capacidade de implementar tecnologias avançadas como a irrigação. Projetos de financiamento, conforme destacado por Búrigo *et al.* (2021), experimentaram um crescimento substancial entre 2003 e 2014, impulsionando significativamente a capacidade de investimento dos agricultores. A presença de financiamento está associada a uma maior probabilidade de adotar irrigação, refletindo a importância do suporte financeiro na viabilização de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. A área de estudo abrange mais de 101.000 estabelecimentos agropecuários, onde mais de 88% são de propriedade dos produtores, conforme dados do IBGE (2019). Essa condição de proprietário está positivamente correlacionada com uma maior probabilidade de adotar irrigação, alinhando-se com as descobertas de Cunha *et al.*, (2013). Esses resultados enfatizam que o status de proprietário proporciona uma base sólida para investimentos em tecnologias como a irrigação, essenciais para melhorar a eficiência e a produtividade agrícola.

Os principais resultados desta pesquisa destacam que a irrigação emergiu como uma estratégia fundamental de adaptação às mudanças climáticas na região Norte de Minas. A análise revelou um significativo aumento na área irrigada e no número de estabelecimentos agropecuários que adotaram sistemas de irrigação entre 2006 e 2017. Este achado é sustentado pela correlação observada entre fatores climáticos adversos, como baixa

precipitação histórica e altas temperaturas, e a adoção de práticas de irrigação. Além dos aspectos climáticos, fatores agronômicos e socioeconômicos também influenciaram significativamente a probabilidade de adoção de mecanismos de irrigação. A presença de recursos hídricos e o potencial agrícola do solo foram determinantes nesse processo, junto com a educação superior dos produtores e o acesso a financiamento agrícola.

Diante desses resultados, torna-se evidente a importância de políticas agrícolas eficazes para mitigar os impactos adversos das mudanças climáticas na região Norte de Minas. Incentivos para a adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes e sustentáveis, apoio à gestão integrada de recursos hídricos e medidas para promover a resiliência climática entre os agricultores são essenciais para garantir a segurança alimentar e econômica dos estabelecimentos agropecuários.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou as complexidades e atributos da irrigação na região do Norte de Minas, Minas Gerais, Brasil, considerando as variações climáticas históricas. Diante dessas variações, os agricultores têm buscado alternativas para mitigar os impactos adversos, destacando-se o uso da irrigação como uma estratégia adaptativa eficaz. Utilizando majoritariamente dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE, foram analisados cerca de 101.021 estabelecimentos agropecuários na região, totalizando 7.386.444 hectares. Apenas 16% dos estabelecimentos adotaram algum tipo de irrigação, com predominância dos métodos de irrigação localizada, aspersão e por superfície.

Os resultados indicam que condições climáticas históricas, características agronômicas e socioeconômicas têm influência na adoção de mecanismos de irrigação. As médias das variáveis socioeconômicas foram consistentemente superiores nas áreas consideradas irrigadas, assim como as condições agronômicas, caracterizadas pelo alto potencial agrícola e disponibilidade de recursos hídricos. Por outro lado, as áreas consideradas não irrigadas mostraram médias mais altas de precipitação. A análise utilizando o modelo *Probit* evidenciou que a probabilidade de adoção de sistemas de irrigação está associada à qualidade do solo e à disponibilidade de água, além das condições socioeconômicas favoráveis. Os aspectos climáticos, especificamente a precipitação e temperatura, mostraram-se decisivos na adoção de irrigação.

Os resultados desta pesquisa são baseados em dados abertos e acessíveis, oferecendo *insights* valiosos que podem ser aplicados a outras regiões do Brasil. A necessidade de políticas agrícolas eficazes para promover práticas sustentáveis de irrigação e mitigar os efeitos das mudanças climáticas é de suma importância. Recomenda-se investigações futuras mais detalhadas na região para aprofundar o entendimento desses fatores e promover uma agricultura mais resiliente e adaptada às condições climáticas variáveis. Esta análise sublinha a importância estratégica da irrigação como uma ferramenta adaptativa essencial para enfrentar os desafios climáticos na agricultura, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico dos estabelecimentos agropecuários no Norte de Minas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A força do agronegócio de em Minas Gerais. **Diário do comércio**. 2019. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/opiniaio/a-forca-do-agronegocio-em-minas-gerais/#gref>. Acesso em: 19 de jan. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. ANA, Brasília- DF, 2021.
- ALMEIDA, Rafael Alvarenga.; COELHO, Gilberto.; ALMEIDA, Isabela Alvarenga.; COSTA, Jéfferson de Oliveira. Geoestatística aplicada na estimativa de chuvas máximas diárias no estado de Minas Gerais. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 675-680, 2018.
- AMBRIZZI, Tércio.; LÍVIA, Amanda Rehbein.; DUTRA Márcia Mosso.; CRESPO, Natália Machado. Mudanças climáticas e a sociedade. **São Paulo: IAG**, 2021.
- ASSAD, Eduardo Delgado. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 35-40, 2021.
- ASSAD, Eduardo Delgado.; VICTORIA, Daniel de Castro.; CUADRA, Santiago Vianna.; PUGLIERE, Vanessa Silva.; ZABETTI, Marília Ribeiro. **Dinâmica agrícola no cerrado: Efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado**. Brasília- DF: Embrapa, 2020. v 1., cap. 7, p. 213-227.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária 2020-2030: plano operacional. MAPA, Brasília DF, 2021.
- BÚRIGO, Fábio Luiz.; JUNIOR, Valdemar João Wesz.; CAPELLESSO, Adinor José.; CAZELA, Ademir Antônio. O Sistema Nacional de Crédito Rural no Brasil: principais continuidades e descontinuidades no período 2003-2014. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 635-668, 2021.
- BURTON, Michael.; RIGBY , Dan.; FILHO, Hildo M. de Souza. Adoção de tecnologias sustentáveis no Paraná. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 4, p. 71-94, 2019.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. Regression analysis of count data. New York: Cambridge University Press, 2005.
- CARLOS, Sabrina de Matos.; CUNHA, Dênis Antônio da.; PIRES, Marcel Viana. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 455-471, 2019.
- CARVALHO Daniel F. de.; MARTINS, Rosária, CF.; SANTOS, Jaqueline, JS dos Santos.; TELES, Gean T.; OLIVEIRA, Marcelo S de. Evolução e cenário atual da área irrigada no Brasil: Análise sistemática dos dados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 505-511, 2020.
- CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Histórico. **Diagnóstico e Desafios**, 2019.

CONCEIÇÃO, Ariane Ferrenades da.; SCHNEIDER, Sergio. Internet e agricultura familiar: algumas percepções sobre as mudanças no meio rural. **Margens**, 2019.

COPE, Karen Silverwood Oliveira de.; VILLARROEL, Larisa Carolina Loureiro.; SERKEIS, Anaís Pinheiro Machado.; KAMBER, Alex V. Mudanças Climáticas. Brasília, MMA, 2011.

CUNHA, Dênis Antônio da. **Efeitos das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira: análise da irrigação como estratégia adaptativa**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa - UFV.

CUNHA, Dênis Antônio da.; COELHO, Alexandre, Bragança.; FÉRES, José, Gustavo.; BRAGA, Marcelo José.; DE SOUZA, Elvanio, Costa. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, p. 369-386, 2013.

DA SILVA, Roberto Marinho Alves.; AQUINO, Joacir Rufino de.; COSTA, Fernando Bastos.; NUNES Emanuel Márcio. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no semiárido brasileiro: evidências do censo agropecuário 2017. 2020.

DAHMER, Isabel. Percepções de agricultores sobre mudanças climáticas e estratégias de adaptação. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim, 2019.

DE ARAÚJO, Sérgio Murilo Santos. As secas e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro. **Revista de geociências do Nordeste**, v. 7, n. 1, p. 52-58, 2021.

DE SOUSA, Lisboa, Acssuel.; DE ALCANTARA, Fernanda Viana. O associativismo rural como estratégia de desenvolvimento para a agricultura familiar. **Para Onde!?**, v. 11, n. 1, p. 17-28, 2019.

DOS SANTOS, E.A; FORTINI, R. M. F; CARDOSO, L. C. B; ZANÚNCIO, J.C. Climatechange in Brazilianagriculture: vulnerabilityandadaptation assessment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04730-7>.

DOS SANTOS, Elizângela Aparecida.; DE ANDRADE, Álvaro Antônio Xavier.; DA CUNHA, Dênis Antônio. Mudanças climáticas e vulnerabilidade na agricultura familiar da região Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Geosul**, v. 37, n. 81, p. 229-251, 2022.

FACCIOLI, Gregorio Guirado.; FILHO, Raimundo Rodrigues Gomes. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico**. Índice de sustentabilidade: contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada. Piracicaba, 2021. cap. 32, p. 549-565.

FERREIRA, Gustavo Henrique Cepolini; COSTA, Luis Ricardo Fernandes da (orgs.). A Geografia do Norte de Minas Gerais: reflexões e proposições. São Paulo: Entremares, 2022.

FONSECA, Gildette Soares; SANTOS, Maria Ribeiro dos. Impactos da seca em municípios

de minas gerais. **Humboldt-Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, p. 1-18, 2020.

FREITAS, Letícia Oliveira.; CALHEIROS, Tomás.; DOS REIS, Rui Bran Januário. Vulnerabilidade da mesorregião Norte de Minas Gerais face às mudanças climáticas. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 56, p. 134-155, 2019.

GUIMARÃES, Daniel Pereira.; DOS REIS, Rui Bran Januário.; LANDAU, Elena Charlotte. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2010.

HAAS, Joelson Nadiel. Risco de velocidade do vento limitante à irrigação por aspersão no Brasil. Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**. IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>. Acesso em: 19 de jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006, Segunda Apuração**, IBGE, 2009. Disponível em: <HTTPS://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 25 de jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**, IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/primeiros-resultados-populacao-e-domicilios>. Acesso em: 25 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido Brasileiro**. IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html>. Acesso em: 19 de jan. 2024.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. IEF, 2023. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 14 de mar. 2024.

INTERGOVERNAMENTAL PAINEL CLIMATE CHANGE – IPCC, 2014 – Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II Página 15 de 15 and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Geneva: IPCC).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2023: Sections. In: 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 and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

JARDIM, Carlos Henrique.; MOURA, Felipe Pereira. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

KARIZNOVI, Ali.; JAFARI, Hamid.; ALIZADEH, Katayoun. O Papel da Gestão dos Recursos Hídricos na Redução dos Custos de Produção de Produtos Agrícolas. **Propósitos e Representações**, p. e953-e953, 2021.

LAMPTEY, S. Práticas agronômicas na gestão da água do solo para a produção agrícola sustentável sob agricultura de sequeiro em terras áridas na África Subsaariana. **Revista Africana de Pesquisa Agrícola**, v. 1, pág. 18-26, 2022.

MATTE, Alessandra.; VILLWOCK, Paula Schervinski.; FORNAZIER, Armando.; SIVA, Danielle Wagner.; FOSSÁ, Juliano Luiz. Agricultura familiar e desenvolvimento rural: cenários contemporâneos e questões em debate. **Revista Grifos**, v. 31, n. 57, p. 01-09, 2022.

MESQUITA, Virgínia AN; ARAUJO, Vanessa M. O Mosaico Norte Mineiro: uma proposta de caracterização regional (Brasil). **Revista Espacios**, v. 43, n. 01, p. 88-104, 2022.

MILHORANCE, Carolina.; SABOURIN, Eric.; CHECHI, Leticia.; MENDES, Priscylla. A política de adaptação às mudanças climáticas no Brasil: enquadramentos e resultados políticos para o setor rural. **Política Ambiental**, v. 31, n. 2, pág. 183-204, 2022.

NARITA, Daiju.; SATO, Ichiro.; OGAWADA, Daikichi.; MATSUMURA, Akiko. Integrating economic measures of adaptation effectiveness into climate change interventions: A case study of irrigation development in Mwea, Kenya. *Plosone*, v. 15, n. 12, p. e0243779, 2020.

NETO, Carvalho Eduardo Silva.; SOUZA, Andressa Fabiane Faria de.; JÚNIO, Marcondes Geraldo Coelho.; CORDEIRO, Ana Amélia dos Santos.; OLIVEIRA, Athila Leandro de. Aplicação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT) em solos do norte de Minas Gerais. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 09, 2018.

OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de; SILVA, Néilton Fidelis da; HENRIQUES, Rachel. Mudanças climáticas: ensinamentos fundamental e médio. 2009.

ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT – OCDE, 2009. “Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation: Policy Guidance”. Paris, 195 pp. www.sourceoecd.org/development/9789264054769.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC, 2013. Contribuição do Grupo. Ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil**, p. 28, 2013.

RODRIGUES, Lineu Neiva; OLIVEIRA, Alessandra, Duarte de; PIRES, Gabriella Ferreira. **Embrapa cerrados**, 2022. Artigo - Qual o papel da agricultura irrigada no contexto de mitigação/adaptação das mudanças climáticas?. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/68100870/artigo---qual-o-papel-da-agricultura-irrigada-no-contexto-de-mitigacaoadaptacao-das-mudancas-climaticas#:~:text=O%20papel%20da%20agricultura%20irrigada%20C3%A9%20contribuir%20para%20reduzir%20a,clim%3%A1ticas%20como%20tecnologia%20de%20adapta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 15 de mar. 2024.

SEO, N. A microeconomic analysis of adapting portfolios to climate change: adoption of agricultural systems in Latin America. *Applied Economic Perspectives and Policy*, v. 32, n. 3, p. 489-514, 2010.

SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. *Ecological Economics*, v. 70, n. 4, p. 825-834, 2011.

SEO, N. e MENDELSON, R. A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. *Chilean Journal Of Agricultural Research*, v. 68, n.1, p. 69-79, 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR, 2019 Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado. Brasília DF.

SIQUEIRA, Carvalho João Paulo. Os Programas de Desenvolvimento Agrícola para Incorporação do Cerrado no Processo Produtivo do Brasil. **Revista de Economia da UEG**, v. 15, n. 1, 2019.

TERRESTRIAL HYDROLOGY RESEARCH GROUP – THRG. Disponível em <http://hydrology.princeton.edu/data.php>. Acesso em: 30 de nov. de 2023.

VIEIRA, Danielle Wagner.; FOSSÁ Juliano. Agricultura familiar e desenvolvimento rural: cenários contemporâneos e questões em debate. **Revista Grifos**, v. 31, n. 57, p. 01-09, 2022.

WALCZAK, Amadeusz. A utilização dos recursos hídricos mundiais na irrigação de culturas agrícolas. **Revista de Engenharia Ecológica**, v. 22, n. 4, 2021.

WELLE, T.; BIRKMANN, J. The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale. **Journal of Extreme Events**, v. 02, No. 01, 2015. <https://doi.org/10.1142/S234573761550003>.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Introductory econometrics: A modern approach (Fifth Edit)*. South-Western, Cengage Learning, 2013.

ANEXOS

Tabela A1 - Municípios considerados irrigantes e não irrigantes

Municípios Irrigantes	Municípios não Irrigantes
Águas Vermelhas Berizal Bocaiúva Capitão Enéas Claro dos Poções Coração de Jesus Cristália Curral de Dentro Engenheiro Navarro Espinosa Francisco Dumont Francisco Sá Gameleiras Glaucilândia Ibiaí Ibiracatu Indaiabira Itacambira Itacarambi Jaíba Janaúba Jequitaiá Josenópolis Juramento Juvenília Lassance Lontra Manga Matias Cardoso Mato Verde Montalvânia Monte Azul Montes Claros Nova Porteirinha Novorizonte Olhos d'Água Pirapora Porteirinha Riacho dos Machados Rio Pardo de Minas Salinas Santo Antônio do Retiro São João da Ponte São João do Paraíso Serranópolis de Minas Taiobeiras Vargem Grande do Rio Pardo Várzea da Palma Varzelândia Verdelândia	Bonito de Minas Botumirim Brasília de Minas Buritizeiro Campo Azul Catuti Chapada Gaúcha Cônego Marinho Divisa Alegre Fruta de Leite Grão Mogol Guaraciama Icaraí de Minas Januária Japonvar Lagoa dos Patos Luislândia Mamonas Mirabela Miravânia Montezuma Ninheira Padre Carvalho Pai Pedro Patis Pedras de Maria da Cruz Pintópolis Ponto Chique Riachinho Rubelita Santa Cruz de Salinas Santa Fé de Minas São Francisco São João da Lagoa São João das Missões São João do Pacuí São Romão Ubaí Urucuia

Fonte: Resultados da pesquisa, com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019).