

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **ANÁLISE ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE LEITE E SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL**

*Thaís de Souza Miranda<sup>1</sup>; Ricardo Tristão Porfirio<sup>2</sup>; Vanessa Romário de Paula<sup>3</sup>; Ellen de Almeida Moreira<sup>4</sup>; Rafael Gonçalves Tonucci<sup>5</sup>; Ricardo Guimarães Andrade<sup>6</sup>; Thierry Ribeiro Tomich<sup>7</sup>; & Samuel Rodrigues Castro<sup>8</sup>*

**Abstract:** Dairy farming is an activity of great economic and social relevance in Brazil, with an annual production of over 35 billion liters of milk, distributed in almost all municipalities in the country. Given its dependence on natural resources, especially water, understanding the relationship between dairy production and water security becomes essential to promote the sustainability of the activity. This study aimed to analyze the spatial overlap between milk production and water security levels in Brazil. Data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) regarding municipal milk production in 2022 were used, integrated with the Water Security Level Map of the National Water and Sanitation Agency (ANA). The spatial analysis was performed using geoprocessing techniques using *Python* language. The results indicate that most dairy production is concentrated in regions with medium to low water security, especially in the Southeast, South, and parts of the Center-West. On the other hand, regions with greater water availability, such as the North of the country, have lower production intensity. The results reinforce the importance of public policies and production practices that promote the efficient use of water, contributing to the resilience and sustainability of Brazilian dairy farming.

**Resumo:** A pecuária leiteira é uma atividade de grande relevância econômica e social no Brasil, com produção anual superior a 35 bilhões de litros de leite, distribuída em quase todos os municípios do país. Dada sua dependência de recursos naturais, especialmente da água, compreender a relação entre a produção leiteira e a segurança hídrica torna-se essencial para promover a sustentabilidade da atividade. Este estudo teve como objetivo analisar a sobreposição espacial entre a produção de leite e os níveis de segurança hídrica no Brasil. Foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes à produção de leite municipal em 2022, integrados ao Mapa do Grau de Segurança Hídrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A análise espacial foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento com o uso da linguagem Python. Os resultados indicam que a maior parte da produção leiteira está concentrada em regiões com segurança hídrica média a baixa, sobretudo no Sudeste, Sul e partes do Centro-Oeste. Por outro lado, regiões com maior disponibilidade hídrica,

1) Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora e Bolsista na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, thaismir92@gmail.com

2) Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora - MG, rtristaoporfirio@gmail.com

3) Analista na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, vanessa.paula@embrapa.br

4) Bolsista na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, ellen.almeida.moreira@hotmail.com

5) Pesquisador na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, rafael.tonucci@embrapa.br

6) Pesquisador na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, ricardo.andrade@embrapa.br

7) Pesquisador na Embrapa Gado de Leite, Av. Eugênio do Nascimento, 610 - Aeroporto, Juiz de Fora - MG, thierry.tomich@embrapa.br

8) Docente na Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora-MG, samuel.castro@ufjf.br

como o Norte do país, apresentam menor intensidade produtiva. Os resultados reforçam a importância de políticas públicas e práticas produtivas que promovam o uso eficiente da água, contribuindo para a resiliência e sustentabilidade da pecuária leiteira brasileira.

**Palavras-Chave** – Pecuária leiteira. Recursos hídricos. Sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é uma das atividades agropecuárias mais relevantes do Brasil, tanto do ponto de vista econômico quanto social. Com uma produção anual superior a 35 bilhões de litros, o país está entre os maiores produtores mundiais de leite, atividade presente em cerca de 98% dos municípios brasileiros. Predominante em pequenas e médias propriedades, a cadeia produtiva do leite envolve mais de 1 milhão de estabelecimentos e gera aproximadamente 4 milhões de empregos diretos e indiretos (MAPA, 2023; IBGE, 2023; USDA, 2025).

As regiões Sul e Sudeste concentram os maiores volumes produtivos, com destaque para Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul (CILEite, 2025). No entanto, apesar da ampla distribuição territorial, a variabilidade da produção leiteira está fortemente condicionada à disponibilidade de recursos naturais, em especial da água, sobretudo em um cenário marcado por desafios climáticos e pressões ambientais crescentes.

A água desempenha papel central na pecuária leiteira, sendo essencial para a dessedentação dos animais, limpeza das instalações, resfriamento do leite e irrigação de pastagens e lavouras destinadas à produção de alimentos. O consumo hídrico varia conforme as diferentes categorias animais de um sistema de produção (vacas secas, novilhas e vacas em lactação) e também em função dos níveis de produção de leite (litros por vaca por dia). Uma vaca no pico de lactação, por exemplo, pode ingerir até 150 litros de água por dia, dependendo de sua produtividade (Palhares, 2019).

A segurança hídrica é definida como a capacidade de garantir água em quantidade e qualidade para as demandas sociais, econômicas e ambientais. Para avaliar essa segurança, utiliza-se o Índice de Segurança Hídrica (ISH), um indicador que integra quatro dimensões — Humana, Econômica, Ecossistêmica e de Resiliência — consideradas de forma equilibrada. O ISH representa a média desses quatro componentes, oferecendo uma visão integrada da segurança hídrica. Complementarmente, o Grau de Segurança Hídrica (GSH) expressa o desempenho individual de cada uma dessas dimensões (ANA, 2019).

Esses indicadores variam consideravelmente ao longo do território nacional, impactando a viabilidade da produção agropecuária em diferentes regiões. Nesse contexto, observa-se um movimento crescente em direção à produção leiteira sustentável, com ênfase na valorização de práticas ambientalmente responsáveis e no bem-estar animal. Programas de certificação têm sido desenvolvidos como instrumentos de incentivo à adoção de boas práticas, contribuindo para a competitividade e a aceitação do leite brasileiro em mercados cada vez mais exigentes (Rocha *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender como a produção da pecuária leiteira se distribui espacialmente em relação à segurança hídrica, assim como ampliar a conscientização sobre os desafios relacionados ao uso da água, incentivando a adoção de práticas de manejo mais eficientes, como o reaproveitamento de água e o uso racional dos recursos hídricos em territórios mais vulneráveis.

O presente estudo tem como objetivo analisar a sobreposição espacial entre a produção de leite e os níveis de segurança hídrica no Brasil, com base em dados geoespaciais, visando identificar áreas críticas onde a atividade leiteira coincide com baixos graus de segurança hídrica.

## METODOLOGIA

Este estudo baseou-se na integração de dados secundários sobre produção leiteira e segurança hídrica no Brasil. Os dados de produção de leite foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao ano de 2022, representando o volume total de leite produzido por município.

Para a avaliação da segurança hídrica, foi utilizado o Mapa do GSH, elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que apresenta a situação para o ano de 2017 e uma projeção para 2035. Neste estudo, adotou-se a base referente a 2017, por representar o diagnóstico mais recente da situação observada, sem projeções futuras. O mapa classifica os municípios brasileiros em cinco categorias de segurança hídrica (mínimo, baixo, médio, alto e máximo) considerando fatores como disponibilidade hídrica, qualidade da água, variabilidade climática e demandas por diferentes usos.

A análise espacial foi conduzida em ambiente computacional com a linguagem *Python*, utilizando bibliotecas especializadas como *GeoPandas*, *matplotlib*, *pandas* e *geobr*. Inicialmente, foi realizado o processamento dos dados vetoriais relativos ao GSH para o ano de 2017. Para facilitar a visualização e a análise espacial, as categorias qualitativas de GSH definidas pela ANA foram reclassificadas em valores numéricos. Essa reclassificação seguiu os intervalos estabelecidos na Figura 1, onde o GSH varia de 1,00 a 5,00 e é dividido em cinco classes. Cada faixa foi associada a uma cor específica, permitindo a construção de um mapa temático com representação visual clara dos diferentes graus de segurança hídrica no território analisado. A seguir, os dados foram representados em mapa temático por classes. Em paralelo, dados de produção leiteira para o ano de 2022 foram obtidos diretamente da API do SIDRA/IBGE e preparados para análises de cruzamento espacial. O código-fonte completo está disponível em: [<https://github.com/ricardoporfirio/seguranca-hidrica>]

para fins de reproduzibilidade.

Figura 1 – Intervalos do Grau de Segurança Hídrica

Símbolo	Intervalo	Grau
	1,00 - 1,5	Mínimo -1
	1,51 - 2,5	Baixo - 2
	2,51 - 3,5	Médio - 3
	3,51 - 4,5	Alto - 4
	4,51 - 5,0	Máximo - 5

Fonte: ANA, 2019.

A classificação do mapa resultante do cruzamento entre segurança hídrica e produção leiteira foi estruturada em cinco classes, definidas com base na distribuição dos valores compostos. Para isso, foi calculado um índice composto, obtido pela divisão do valor do GSH (um dado adimensional que varia de 1,0 a 5,0) pela quantidade de leite produzida, expressa em mil litros por ano. O resultado foi

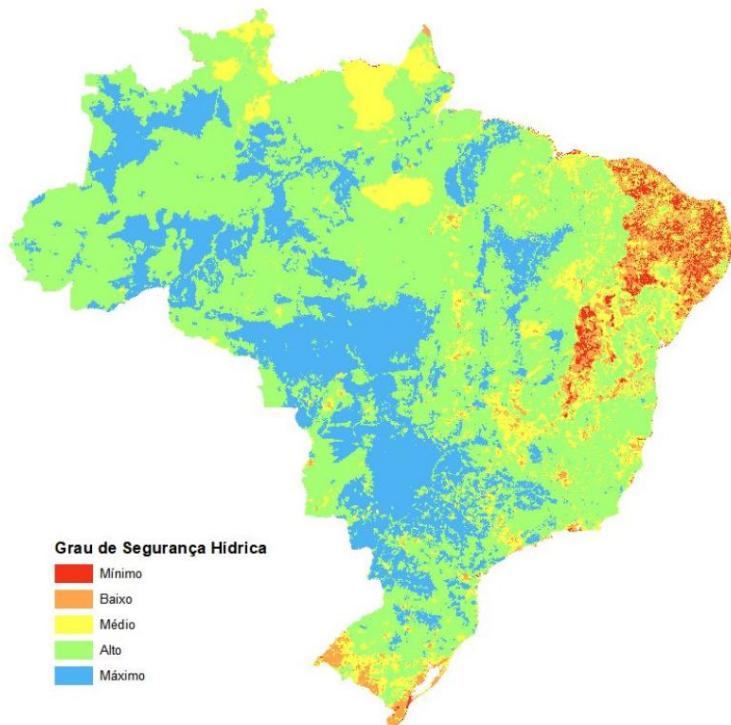
um indicador com unidade [GSH/mil L de leite], utilizado como base para classificar os municípios conforme o nível de equilíbrio entre disponibilidade hídrica e pressão da atividade leiteira.

A primeira classe, de 0 a 600, corresponde a áreas caracterizadas por alta segurança hídrica associada a baixos volumes de produção leiteira. A faixa de 600 a 1.200 representa uma condição intermediária, onde os municípios ainda apresentam boa segurança hídrica, porém já com um leve aumento na produção de leite. Na classe de 1.200 a 1.800, observam-se regiões com níveis médios tanto de segurança hídrica quanto de produção leiteira, indicando um equilíbrio relativo entre disponibilidade hídrica e atividade produtiva. A categoria seguinte, de 1.800 a 2.400, reflete uma situação de redução da segurança hídrica combinada a elevados volumes de produção leiteira. Por fim, a classe acima de 2.400 corresponde às áreas onde ocorre uma intensa atividade leiteira associada a baixos níveis de segurança hídrica, sinalizando zonas de maior pressão sobre os recursos hídricos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do mapa de segurança hídrica (Figura 2), elaborado pela ANA, evidencia uma ampla variabilidade espacial no GSH no Brasil.

Figura 2 – Grau de Segurança Hídrica - 2017



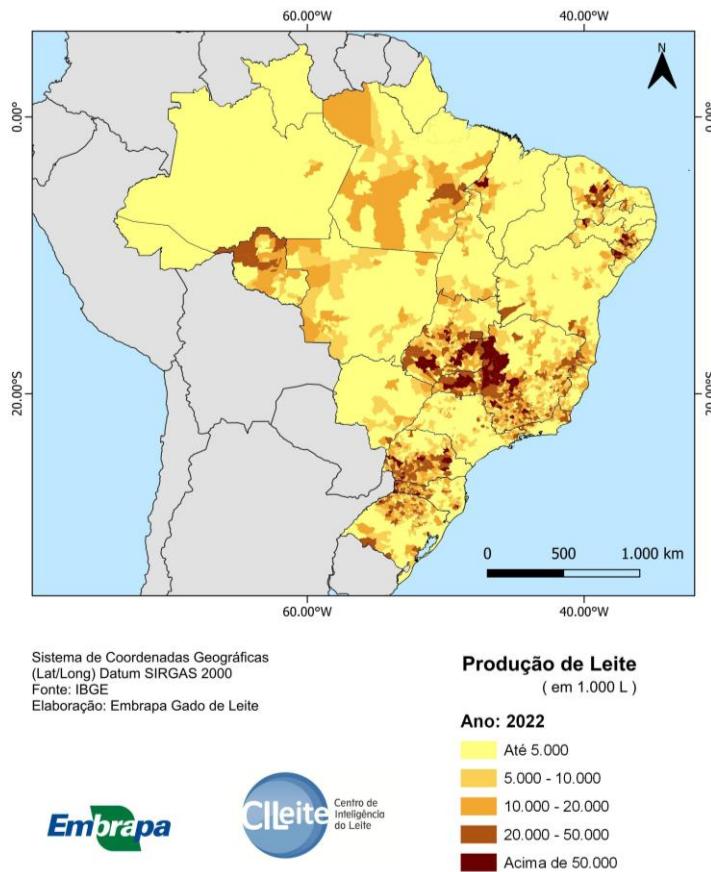
Fonte: ANA, 2019.

Observa-se que a maior parte do território brasileiro se encontra nas categorias de segurança hídrica média a alta, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, que de acordo com SNIS (2023) concentram municípios com melhores índices de disponibilidade hídrica, qualidade da água e infraestrutura de saneamento.

Entretanto, destacam-se áreas com grau mínimo ou baixo de segurança hídrica na região Nordeste, onde a escassez hídrica é crônica. Essa condição, segundo Castro (2022), está associada a fatores climáticos, como a elevada variabilidade das precipitações e longos períodos de estiagem. No Norte do país, embora com elevada disponibilidade hídrica, alguns municípios apresentam níveis intermediários ou baixos de segurança hídrica, sobretudo devido a desafios relacionados à qualidade da água e à infraestrutura de acesso (SNIS, 2023).

Conforme mostra a Figura 3, a produção de leite no Brasil em 2022 se concentrou, nas regiões Sudeste, Sul e partes do Centro-Oeste. Minas Gerais destaca-se como principal estado produtor de leite, seguido por Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Goiás.

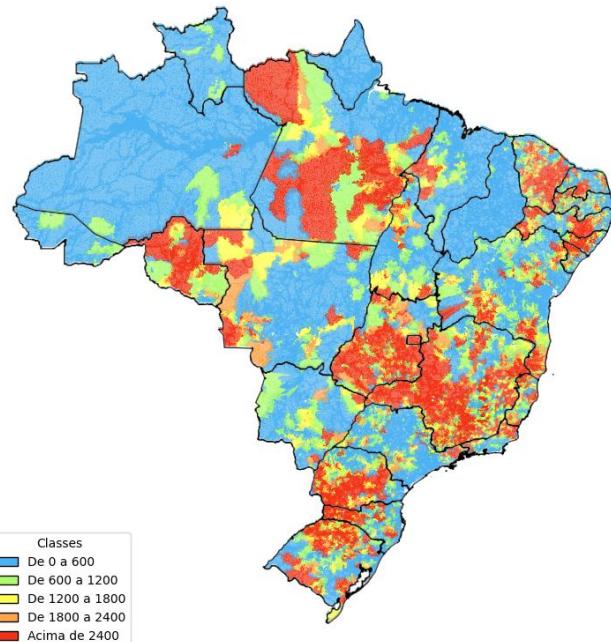
Figura 3 – Produção de leite no Brasil - 2022



Os municípios com maior volume de produção (acima de 50.000 mil litros) estão localizados, sobretudo, na região do Triângulo Mineiro, Sul de Minas, Sudoeste Goiano e Oeste do Paraná. Regiões do Norte e grande parte do Nordeste apresentam baixos volumes de produção.

A Figura 4 sintetiza a intersecção espacial entre os dados de produção leiteira e segurança hídrica, classificando os municípios conforme a intensidade da produção de leite em relação aos níveis de segurança hídrica.

Figura 4 – Relação da Produção de leite no Brasil em 2022 com o Grau de Segurança Hídrica



Na Região Norte, observa-se alta segurança hídrica e uma baixa produção de leite. Exceções a esse padrão podem ser identificadas em porções do sul do estado do Pará, onde a expansão da fronteira agropecuária descrita por Capoane (2022), impulsiona a produção leiteira em áreas de segurança hídrica moderada a baixa. Destaca-se ainda o estado de Rondônia, que vem se consolidando como o principal polo leiteiro do Norte, combinando uma produção expressiva com níveis de segurança hídrica favoráveis para o desenvolvimento da atividade.

De modo geral, a Região Norte caracteriza-se pela expressiva disponibilidade de recursos hídricos, enquanto o setor leiteiro ocupa uma posição sem expansão. Segundo Costa e Quintanilha (2024), esses territórios desempenham um papel essencial na preservação dos biomas amazônicos e na manutenção dos serviços ecossistêmicos, especialmente na regulação do ciclo hidrológico. Nesse contexto, sob os aspectos ambiental e legal, torna-se inviável a expansão significativa da pecuária leiteira sobre grande parte do território da região.

A Região Nordeste apresenta uma configuração mais diversificada, com a presença de áreas em todas as faixas de classificação. Destacam-se, especialmente no agreste e semiárido, zonas onde há produção leiteira significativa em contextos de segurança hídrica mais limitada. Esse cenário reflete a importância socioeconômica da pecuária leiteira na região, bem como a necessidade de contínua adequação das práticas produtivas às condições hidroclimáticas locais (Lemos *et al.*, 2022). Segundo Oliveira *et al.* (2023a), a produtividade leiteira no Nordeste tem apresentado crescimento acima da média nacional, evidenciando o dinamismo da região tanto na adoção de inovações tecnológicas quanto na melhoria da gestão das propriedades. Nesse contexto, a gestão eficiente dos recursos hídricos é um fator fundamental para assegurar a sustentabilidade da atividade, especialmente em territórios historicamente marcados pela escassez de água.

No Centro-Oeste, estados como Mato Grosso e Goiás concentram áreas significativas nas faixas intermediárias e superiores, revelando zonas de elevada produção de leite em relação à disponibilidade hídrica. O Mato Grosso do Sul apresenta um padrão mais heterogêneo, com áreas

variando entre faixas de segurança hídrica elevada e outras de maior intensidade produtiva. Essa região, destacada como polo produtivo leiteiro, enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade hídrica, sobretudo nas áreas de Cerrado, onde a expansão agrícola e pecuária tem avançado (Buainain *et al.*, 2024). Valle & Nascimento (2022), apontam que como o estado de Goiás tem se destacado no setor agrícola, houve um aumento expressivo nas outorgas para irrigação e dessedentação animal, contabilizando 67% das autorizações registradas até o momento do estudo.

Na Região Sudeste, predominam áreas classificadas nas faixas mais elevadas do cruzamento entre segurança hídrica e produção leiteira, especialmente em Minas Gerais. São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo também apresentam fragmentação espacial com ocorrência de zonas de alta produção e baixa segurança hídrica, reforçando a relevância da gestão eficiente dos recursos naturais na sustentação da atividade pecuária regional.

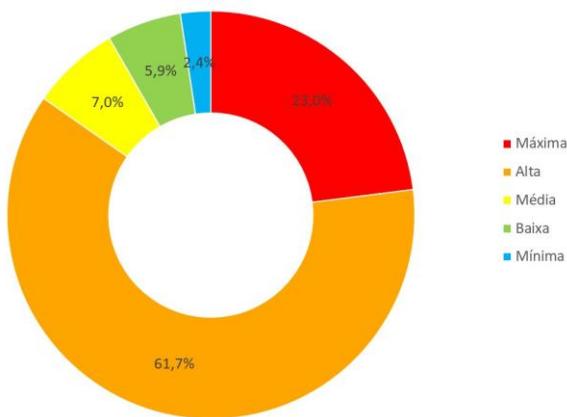
Esse cenário está associado à expansão da atividade agropecuária, que, embora relevante economicamente, com destaque para Minas Gerais, cujo valor de produção bruto (VBP) cresceu mais de 20% na última década (MAPA, 2023), também tem contribuído para impactos ambientais, como supressão da vegetação nativa, erosão do solo e pressão sobre os recursos hídricos (Felema e Spolador, 2023; Saath & Fachinello, 2023). O aumento da produtividade, quando acompanhado de práticas de conservação de solos e água, permite a manutenção ou melhoria dos indicadores ambientais (Tomich *et al.*, 2016).

Na Região Sul, tradicionalmente reconhecida como uma das principais regiões leiteiras do Brasil, predominam áreas nas faixas de maior risco. Em 2022, os estados da Região Sul foram responsáveis por 40,1% do leite industrializado no Brasil, destacando a relevância econômica e produtiva do setor na região (Oliveira *et al.*, 2023b). A região combina sistemas produtivos altamente especializados e sistemas mais extensivos com diferentes condições de disponibilidade hídrica, corroborando com a necessidade de práticas de manejo adaptadas às especificidades locais.

De forma geral, os resultados mostram um padrão recorrente em que as regiões de maior produtividade leiteira coincidem com áreas de menor segurança hídrica. Vale ressaltar que a produção de alimentos destinados à alimentação dos rebanhos nem sempre ocorre na própria propriedade leiteira, sendo comum a aquisição de insumos, especialmente alimentos (milho e derivados da soja) provenientes de outras regiões. Essa dinâmica pode reduzir a pressão sobre os recursos hídricos locais associados à produção de forragem, mas não elimina a necessidade de água para outras finalidades essenciais na atividade leiteira, como a dessedentação dos animais e a limpeza de ambientes. Assim, mesmo em sistemas produtivos que dependem de alimentação externa, a disponibilidade e a gestão eficiente da água são fatores críticos para a sustentabilidade e o desempenho das propriedades.

Complementando a análise espacial, foi elaborado um resumo quantitativo da distribuição dos principais municípios produtores de leite no Brasil em relação ao GSH (Figura 5). Identificaram-se 1.485 municípios com os maiores volumes de produção leiteira, cuja distribuição foi avaliada segundo as diferentes faixas do GSH.

Figura 5 – Distribuição por classe dos municípios com alta produção de leite no Brasil



Os dados mostram que 2,4% (35 municípios) dos maiores produtores de leite estão em regiões com mínima segurança hídrica, e 5,9% (88 municípios) em áreas de baixa segurança hídrica. A faixa de segurança hídrica média abrange 7,0% (104 municípios).

A maior parte dos municípios produtores de leite concentra-se em regiões com condições hídricas mais favoráveis. As classes de alta e máxima segurança hídrica representam 61,7% (916 municípios) e 23,0% (342 municípios), respectivamente. Embora cerca de 85% dos grandes produtores de leite do Brasil estejam em áreas com segurança hídrica média a alta, uma parcela significativa ainda opera em contextos hídricos moderados a baixos. Essa realidade destaca a importância de uma gestão hídrica sustentável com estratégias específicas para cada local.

A intensificação na agropecuária brasileira, aponta para a necessidade de incorporação de critérios ambientais nos processos de tomada de decisão (Martins *et al.*, 2025). A integração de dados espaciais sobre disponibilidade hídrica e produção agropecuária, como feito neste estudo, é fundamental para o planejamento de políticas públicas voltadas à segurança alimentar e hídrica.

Além disso, os resultados reforçam a necessidade de promover práticas mais eficientes no uso da água na pecuária leiteira, como a adoção de tratamento de águas residuárias e tecnologias de irrigação e fertirrigação de precisão (Frigilio *et al.*, 2024). A gestão adequada dos recursos hídricos no setor leiteiro deve considerar tanto a eficiência local quanto a redistribuição espacial da produção, com vistas à resiliência frente aos efeitos das mudanças climáticas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram a necessidade da gestão hídrica regional associada às atividades produtivas e alerta a diversidade de situações existentes no país, com regiões de alta produção em diferentes níveis de segurança hídrica, refletindo a complexidade e a adaptabilidade dos sistemas produtivos frente às condições ambientais. A gestão da segurança hídrica é um componente essencial para a sustentabilidade da produção agropecuária, especialmente em contextos de diversidade climática e escassez hídrica. Além disso, o uso racional de água é fundamental para equilibrar a oferta e a demanda hídrica, garantindo a continuidade da produção agrícola e pecuária sem comprometer os ecossistemas.

A integração dos dados geoespaciais permitiu identificar áreas que concentram elevada atividade produtiva em cenários com diferentes níveis de segurança hídrica, oferecendo subsídios

relevantes para políticas públicas voltadas ao uso eficiente da água e ao fortalecimento de sistemas produtivos sustentáveis.

Este trabalho contribui para o debate sobre a segurança hídrica na agropecuária brasileira, oferecendo subsídios técnicos e espaciais para orientar ações de gestão territorial e promover a sustentabilidade da pecuária leiteira no Brasil. Estudos futuros poderão aprofundar essa abordagem, incorporando indicadores de eficiência hídrica, práticas de manejo e variabilidade climática em nível de propriedade.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO - ANA (2019). “*Plano Nacional de Segurança Hídrica*”. Brasília-DF, 112 p.

BUAINAIN, A.M.; AQUINO, F. de G.; ASSAD, E.D.; GARCIA, J. R.; FONSECA, M.G.; VALENTIM, J.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; GIULIO, G.M.; VIEIRA-JUNIOR, P.A.; COUTINHO, J.G.E. (2024). “*Capítulo 2. Trajetória histórica e panorama atual das relações entre agricultura, biodiversidade e serviços ecossistêmicos*”. In: Relatório Temático sobre Agricultura, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES). 1ª Ed. Campinas: Ed. dos Autores. p. 52-72.

CAPOANE, V. (2022). “*Expansão da fronteira agrícola no Estado de Mato Grosso entre os anos de 1988 E 2018*”. Caderno Prudentino De Geografia, 1(44), 73–98.

CASTRO, C.N. (2022). “*Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica*”. Rio de Janeiro: IPEA, 281 p.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO LEITE (CILeite) (2025). “*Leite em Números*”. Embrapa Gado de Leite: Juiz de Fora-MG.

FELEMA, J.; SPOLADOR, H.F.S. (2023). “*Dependência espacial na Agropecuária Brasileira e seus efeitos sobre a produção e a produtividade da terra e do Trabalho*”. Nova Economia. v. 32, p. 743-774.

FONSECA, L.L.M.; MOURA, M.M.A.; CARVALHO, C.C.S.; SANTOS, K.F.A.; FONSECA, S.M.R.; SANTOS, J.A.; MENDES, A.K.F.; COSTA, R.F.; RIBEIRO, J.C.; SANTOS, L.C.S.; COUTINHO, J.S.; SOARES, R.B.; LAFETÁ NETO, O.V.; DIAS JÚNIOR, C.A.; MENDES, L.R. (2024). “*Bem-estar na bovinocultura leiteira: revisão de literatura*”. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v.7, n.4, p.1-15.

FRIGULIO, M.A.P.; SANTOS, F.A.; FORTI, J.C. (2024). “*Capítulo 3 - Águas residuais agroindustriais: um dos desafios do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6*”. In: Agronegócio, desenvolvimento e a agenda 2030: contribuições interdisciplinares. São Paulo: Cultura Acadêmica. p. 77-96.

LEMOS, J.J.S.; PAIVA, E.C.; COSTA FILHO, J.; HOLANDA, F.J.C. (2022). “*Interação entre as instabilidades espacial e temporal da pluviometria na produção de leite no Ceará*”. Revista de Economia e Agronegócio, v. 20, n. 1, p. 1-22.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA) (2023). *"MAPA DO LEITE: Políticas Públicas e Privadas para o Leite"*. Brasília - DF.

OLIVEIRA, L.A.A.; OLIVEIRA, S.J.M.; SPIES, A. (2023b). *"Leite de Santa Catarina: escala, tecnologia e retorno econômico"*. In: Anuário do Leite 2024: Leite Baixo Carbono. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 34-36.

OLIVEIRA, S.J.M.; MARTINS, P.C.; CARNEIRO, A.V. (2023a). *"Leite no Nordeste: novas práticas elevam a produção na região"*. In: Anuário do Leite 2024: Leite Baixo Carbono. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 30-32.

PALHARES, J.C.P. (2019). *"Consumo de água na produção animal brasileira"*. In: Produção animal e recursos hídricos: Tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. Embrapa-DF, p. 53-78.

ROCHA D.T.; CARVALHO, G.R.; RESENDE, J.C. (2020). *"Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária"*. Embrapa: Juiz de Fora-MG.

SAATH, K.C.O.de.; FACHINELLO, A.L. (2018). *"Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil"*. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 56, p. 195-212.

SANTOS, G.R.; KUWAJIMA, J.I.; SANTANA, A.S. (2020). *"Regulação e investimentos no setor de saneamento no Brasil trajetórias, desafios e incertezas"*. Rio de Janeiro: IPEA.

TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R.; PAIVA, C.A.V. (2016). *"Avanços tecnológicos para a redução do impacto da pecuária no meio ambiente"*. In: Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa, p. 383-400.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA (2025). Production - Fluid Milk.

VALLE, K.C.; NASCIMENTO, M.S.V. (2022). *"A outorga de direito de uso de água no Brasil: uma análise da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, Estado de Goiás"*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, n. 22, p. 591-600.

## AGRADECIMENTOS

Às empresas Nestlé, Lactalis, Danone e Sooro Rener Nutrição S/A pelo apoio institucional no âmbito do acordo de cooperação técnica com a Embrapa Gado de Leite, que forneceu suporte técnico e científico à pesquisa.