











Received:
March 24, 2026

Accepted:
May 31, 2026

Published:
May 31, 2026

Temporal Analysis of the Evolution of the Area Irrigated by Central Pivot Systems in the Municipality of Paracatu, Minas Gerais, Brazil

João Victor Oliveira Araújo¹ , Julia Rocha de Oliveira¹ , Mauricio Cezar Resende Leite Junior¹ , Luciane da Costa Barbe¹ , Leonardo Barros Dobbs¹ , Jefferson Luiz Antunes¹ , Lucas Santos Santana¹ , Denis Leocadio Teixeira¹ , Angelo Danilo Faceto¹ , Hermes Soares da Rocha¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí, Brasil.

Email address

joao-araujo.ja@ufvjm.edu.br (João Victor O. Araújo) – Corresponding author.
rocha.julia@ufvjm.edu.br (Júlia Rocha O. Rocha)
mauricio.leite@ufvjm.edu.br (Mauricio C. R. L. Junior)
leonardo.dobbs@ufvjm.edu.br (Leonardo B. Dobbs)
luciane.barbe@ufvjm.edu.br (Luciane D.B. Barbé)
jefferson.antunes@ufvjm.edu.br (Jefferson L. Antunes)
santana.santos@ufvjm.edu.br (Lucas S. Santana)
denis.teixeira@ufvjm.edu.br (Denis L. Teixeira)
angelo.faceto@ufvjm.edu.br (Ângelo D. Faceto)
hermes.rocha@ufvjm.edu.br (Hermes S.D. Rocha)

Abstract

Agriculture plays a crucial role in economic and social development, particularly in regions where irrigation is essential to ensure stable agricultural production. The availability and demand for water resources are critical factors for guaranteeing water security and promoting sustainable management of natural resources in agricultural environments. This study aimed to analyze the temporal evolution of the irrigated area using central pivot irrigation systems in the municipality of Paracatu, Minas Gerais, Brazil, between 2019 and 2023. Data collection involved hydrological information provided by the National Water Agency (ANA) and metadata on irrigation pivots available from the National Water Resources Information System (SNIRH). Satellite images obtained from Google Earth were used to perform a spatial and temporal analysis of irrigation expansion in the region. The results showed that in 2019 the municipality had approximately 837 central pivots, covering about 61,698.2 hectares of irrigated area. By 2023, the number increased to 1,140 pivots, covering 72,662.83 hectares. This represents a growth of approximately 17.75% in irrigated area and 36.23% in the number of pivots. The findings highlight the importance of irrigation for local agricultural development and reinforce the need for efficient water resource management to ensure environmental sustainability and support future agricultural expansion.

Keywords: Water Security, Water Resources, Geotechnologies, Central Pivot Irrigation.

1. Introdução

A agricultura tem desempenhado papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo responsável pela produção de alimentos, geração de empregos e fortalecimento das cadeias produtivas (FAO, 2002; FGV, 2016). A irrigação, considerada uma prática utilizada há milhares de anos no desenvolvimento agrícola, tem sido fundamental para o aumento da produtividade

das culturas, permitindo o cultivo em regiões onde a precipitação pluviométrica é insuficiente para suprir a demanda hídrica das plantas (Testezlaf, 2017; ANA, 2021). Em um contexto global, a agricultura irrigada destaca-se por sua elevada eficiência produtiva, sendo responsável por parcela significativa da produção de alimentos, mesmo ocupando uma menor proporção da área cultivada (FAO, 2002).

Em um contexto geral, a agricultura irrigada se beneficia de diversos métodos de irrigação (Testezlaf, 2017). Dentre eles, destaca-se o sistema de pivô central, amplamente utilizado na agricultura brasileira. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), a projeção para o Brasil é de aproximadamente 4,2 milhões de hectares irrigados por esse sistema até 2040. A versatilidade de uso em diversas culturas, a adaptação a diferentes tipos de solos e a possibilidade de automação tornam essa tecnologia uma opção altamente atrativa para os produtores, consolidando-se como um dos sistemas que mais têm crescido nos últimos anos (FGV, 2016).

O sistema de irrigação por pivô central ganhou destaque a partir do século XX, sendo caracterizado por uma estrutura circular móvel equipada com aspersores que gira em torno de um ponto central, promovendo a irrigação da área circundante. Esse sistema proporciona maior uniformidade na distribuição de água, redução de perdas e maior eficiência no uso dos recursos hídricos, além de possibilitar elevado grau de automação no manejo da irrigação.

O município de Paracatu, localizado na região noroeste do estado de Minas Gerais, destaca-se por sua expressiva extensão territorial, com aproximadamente 8.229 km² (IBGE, 2022), sendo um dos maiores municípios do estado. Possui uma população estimada de 98.397 habitantes (IBGE, 2024) e altitude média de 688 metros em relação ao nível do mar. O clima da região é classificado como tropical sazonal, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperaturas médias que variam entre 18,4 °C e 30,1 °C, além de precipitação média anual de aproximadamente 1.418,2 mm (INMET, 2023). O município está inserido no bioma Cerrado, com predominância da fitofisionomia de Cerrado sentido restrito.

Do ponto de vista econômico, Paracatu apresenta forte relevância tanto no setor agropecuário quanto no mineral. Na agricultura, destacam-se culturas como soja, milho e feijão, conduzidas em sistemas altamente mecanizados, com crescente adoção da irrigação por pivô central. Paralelamente, o município abriga uma das maiores operações de mineração de ouro a céu aberto do Brasil, exercendo papel significativo na economia regional (IBGE, 2022; Kinross, 2023).

Nesse cenário, Paracatu se destaca como o município com a maior área irrigada por pivôs

centrais no Brasil, com aproximadamente 86.292 hectares irrigados (ANA, 2022). A expansão dessas áreas tem ocorrido de forma significativa nos últimos anos, intensificando a demanda por recursos hídricos e evidenciando a necessidade de monitoramento e planejamento adequado do uso da água.

Diante disso, o conhecimento a respeito dos recursos hídricos e de sua utilização torna-se fundamental para subsidiar políticas de gestão e promover o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada. O uso de geotecnologias, como o geoprocessamento e a análise de imagens de satélite, tem se consolidado como uma ferramenta eficiente para o monitoramento espacial e temporal dessas áreas, permitindo a identificação de padrões de expansão e auxiliando na tomada de decisão.

A compreensão detalhada do panorama hídrico regional e de suas dinâmicas de consumo é indispensável para subsidiar estratégias de governança e alavancar a expansão do setor irrigado, promovendo a harmonia entre a sustentabilidade ecológica e a produção do campo. O município de Unaí, vizinho a Paracatu, consolida-se como um polo estratégico, ocupando a segunda posição nacional em extensão de terras atendidas por pivôs centrais, totalizando aproximadamente 71.573 hectares, o que exerce impacto direto na regularidade e no crescimento do abastecimento alimentar brasileiro (Guimarães e Landau, 2020). Trabalho desenvolvido por Sousa et al. (2022) demonstrou que houve um crescimento de 105% na área irrigada por pivô central na sub-bacia do Rio Paracatu.

Nesse contexto, a compreensão da evolução temporal e dos padrões de uso da área irrigada por pivô central em Paracatu ainda apresenta lacunas, o que justifica a realização de estudos mais aprofundados sobre o tema. Dessa forma, objetivou-se analisar se houve expansão ou retração da área irrigada por sistema de pivô central no município de Paracatu/MG, no período de 2019 e 2023, utilizando técnicas de geoprocessamento e imagens de satélite.

2. Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem quantitativa, fundamentada na verificação empírica e demonstração apoiada em ferramentas estatísticas e lógica computacional

(Aragão e Neta, 2017). O delineamento técnico configurou-se como um estudo de caso descritivo e exploratório (Zambello et al., 2018), cujo propósito central foi mapear e compreender a evolução espacial e temporal dos sistemas de irrigação por pivô central no município de Paracatu, Minas Gerais, compreendendo o recorte temporal entre os anos de 2019 e 2023.

O procedimento metodológico foi estruturado em três etapas consecutivas:

1. Levantamento e Aquisição de Dados Secundários: Coleta de dados cartográficos, metadados de pivôs centrais e informações hidrológicas de bancos de dados governamentais para fornecer o embasamento numérico e espacial inicial do município.
2. Processamento e Sensoriamento Remoto: Utilização da plataforma de visualização geoespacial *Google Earth* para a importação de imagens de satélite de alta resolução correspondentes aos anos do estudo (2019 e 2023).

3. Interpretação Visual e Vetorização: Identificação manual e sistemática de cada estrutura de irrigação com base no padrão geométrico circular característico dos pivôs centrais. A partir desse padrão, foi realizada a delimitação visual e poligonal das áreas para o cálculo da extensão em hectares (ha) e contagem quantitativa absoluta dos equipamentos.

A validação das tendências observadas deu-se por meio do cruzamento e confrontação dos dados finais computados com os mapeamentos de séries temporais disponibilizados pela Coleção 8 da plataforma MapBiomas para os respectivos anos.

2.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Paracatu (Figura 1), localizado no Noroeste de Minas Gerais, no bioma Cerrado. Possui 8.231,03 km² de unidade territorial e população estimada em 98.397 habitantes no ano de 2024 (IBGE, 2024).

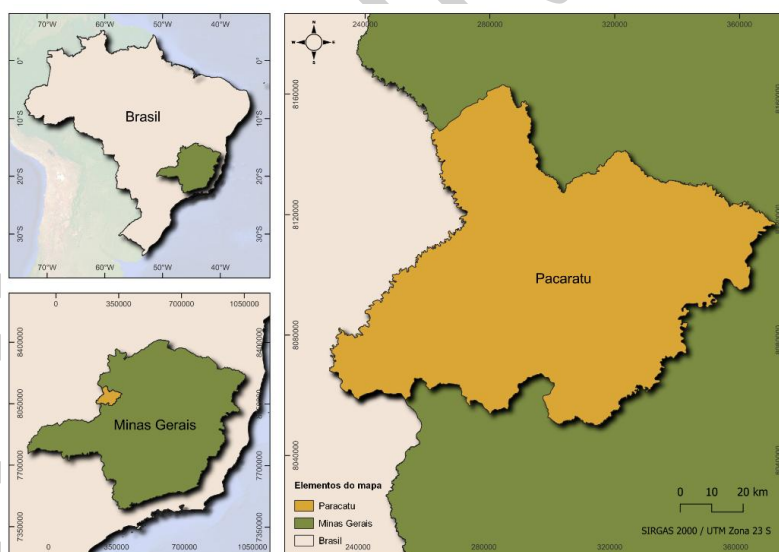


Figura 1 – Mapa de localização geográfica do município de Paracatu, Minas Gerais. Indicações espaciais em múltiplos níveis inserindo a área de estudo no contexto da América Latina (esquerda acima), do território da República Federativa do Brasil (esquerda abaixo) e a respectiva delimitação político-administrativa dentro do estado de Minas Gerais (direita).

Seu clima, segundo Köppen (1948), é do tipo Aw, que corresponde ao clima tropical chuvoso, clima de savana, com predomínio de invernos secos. As temperaturas médias anuais oscilam entre 31°C, máxima, e 15°C, mínima. O regime pluviométrico da região caracteriza-se por um período chuvoso de outubro a março, com o período seco prolongando-se por cinco meses, de

maio a setembro. A precipitação média anual está entre 1.200 e 1.500 mm (EPAMIG, 2014).

2.1.1. Determinação da área irrigada

Para a execução da análise espaço-temporal, os dados foram obtidos a partir de diferentes provedores institucionais e categorizados de

acordo com sua finalidade técnica. Os dados regulatórios e de infraestrutura hídrica foram integralmente extraídos da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Essas fontes forneceram os metadados oficiais sobre os cadastros de pivôs centrais, outorgas emitidas e o panorama estatístico histórico do uso da água na agricultura irrigada regional.

Os dados geográficos e ambientais complementares foram obtidos de outras plataformas: os limites político-administrativos, a malha municipal, dados demográficos e altitudes médias originaram-se do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ; as informações sobre o comportamento climático local, temperaturas e índices de precipitação média anual foram extraídas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ; e os dados de validação de cobertura e uso da terra foram obtidos do Projeto MapBiomas. Por fim, o imageamento orbital de alta resolução espacial utilizado para a vetorização visual e identificação geométrica

individualizada das estruturas foi obtido via plataforma Google Earth.

4. Resultados e discussões

Diante da necessidade de otimizar os recursos naturais e compreender a dinâmica da ocupação do solo, o uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto tem se tornado indispensável para o monitoramento e o planejamento estratégico das atividades do campo. Nesse contexto, a análise espacial da agricultura irrigada no município de Paracatu permite compreender a distribuição e a intensidade do uso dos sistemas de irrigação ao longo do território, evidenciando a relevância dessa prática para o desenvolvimento agrícola regional. Na Figura (2), observa-se a região de Paracatu no ano de 2019, destacando-se as áreas irrigadas por pivô central distribuídas ao longo do território municipal. A imagem evidencia a expressiva presença desse sistema de irrigação na região, reforçando o papel estratégico da agricultura irrigada para a produção agrícola local.



Figura 2 – Região de Paracatu-MG em 2019 com destaque das áreas irrigadas por pivô central.

A delimitação territorial do município de Paracatu é apresentada na Figura 3A, fornecendo o arcabouço geográfico e administrativo necessário para a contextualização espacial das áreas irrigadas. Complementarmente, a Figura 3B descortina o panorama do território municipal no ano de 2023, viabilizando uma análise integrada da distribuição espacial dos sistemas de irrigação por

pivô central. O exame comparativo entre os cenários temporais de 2019 e 2023 evidencia uma expressiva expansão horizontal da agricultura irrigada na região. Essa dinâmica espaço-temporal observada visualmente ratifica e valida os dados quantitativos obtidos no levantamento sistemático realizado neste estudo.

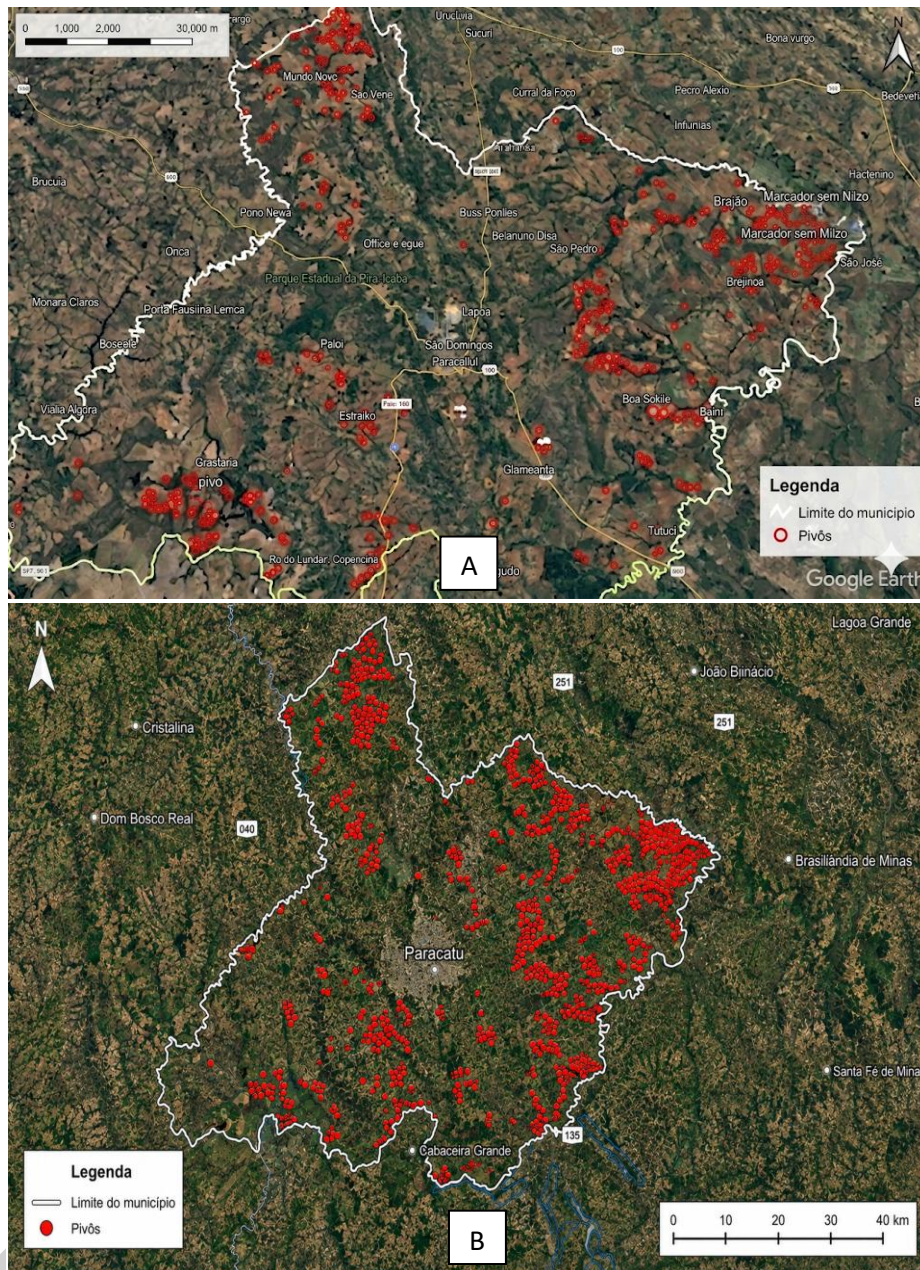


Figura 3 – Dinâmica espacial da agricultura irrigada no município de Paracatu (MG). (A) Delimitação territorial e áreas irrigadas por pivô central em 2019. (B) Visão geral da distribuição dos sistemas de irrigação no território municipal em 2023.

Para além da compreensão da dinâmica macroespacial do município, torna-se imprescindível investigar os setores onde o adensamento da infraestrutura hídrica ocorre de maneira mais acentuada. A análise segregada de sub-regiões ou recortes específicos da área de estudo permite identificar padrões de aglomeração espacial que, frequentemente, respondem a condicionantes biofísicos e socioeconômicos locais. Essa abordagem de detalhe é fundamental para decifrar os vetores de indução da agricultura irrigada, explicitando como a paisagem é reconfigurada a partir de vetores geográficos específicos. Desse modo, ao direcionar a escala de análise para as áreas de maior densidade de

implantação tecnológica, viabiliza-se a identificação dos fatores locais que estruturam a atividade no território. A Figura 4, apresenta uma área com elevada concentração de pivôs centrais no ano de 2019, evidenciando a predominância desse sistema em determinadas regiões agrícolas. Essa concentração espacial pode estar associada a fatores como a disponibilidade de recursos hídricos, condições topográficas favoráveis, características edafoclimáticas adequadas e a presença de infraestrutura agrícola que favorece a adoção de tecnologias de irrigação em larga escala. Ao comparar as imagens referentes aos anos analisados, observa-se uma alteração significativa na paisagem agrícola.

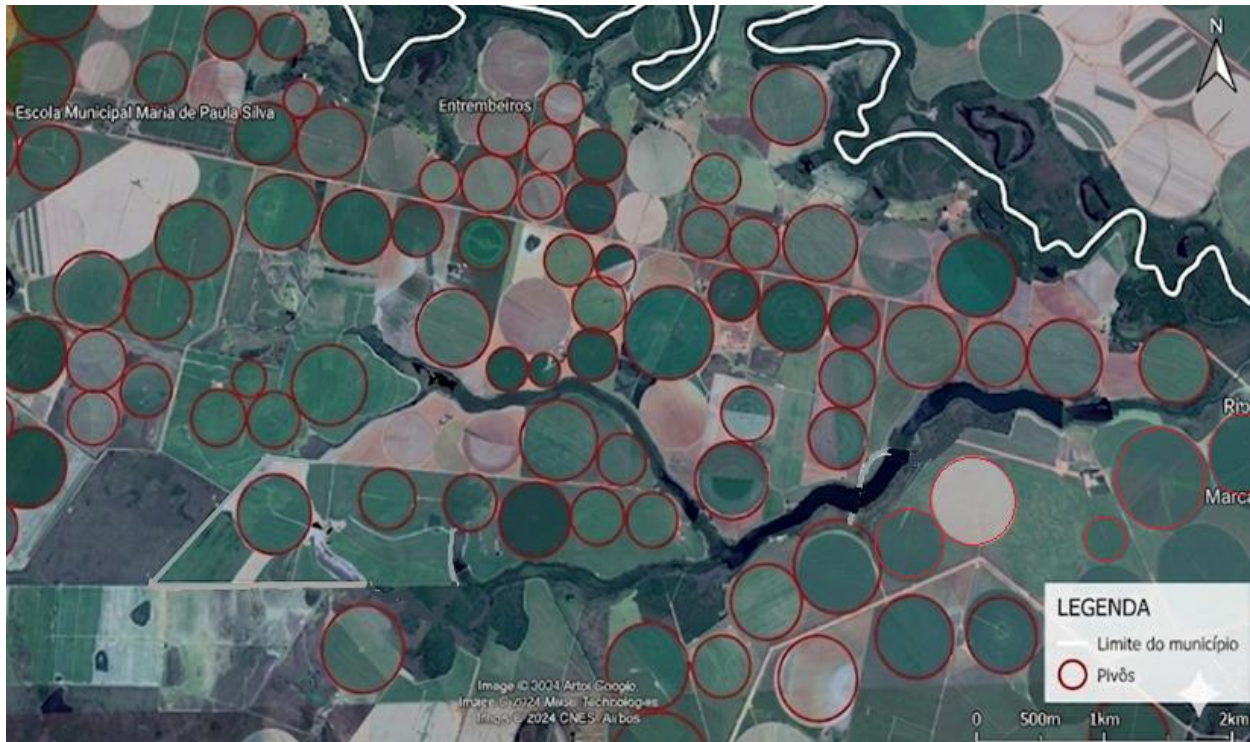


Figura 4 - Área com maior concentração de pivôs centrais de Paracatu em 2019.

A análise comparativa intertemporal é um recurso metodológico crucial para compreender a velocidade e a direção das transformações na paisagem do campo. Ela permite distinguir áreas de consolidação tecnológica de novas frentes de ocupação. A Figura 5, referente ao ano de 2023, evidencia um aumento expressivo na densidade de pivôs centrais nas áreas previamente identificadas

como polos de irrigação, além da expansão desse sistema para novas áreas agrícolas. Esse crescimento pode ser interpretado como resultado da intensificação da atividade agrícola na região, impulsionada pela busca por maior estabilidade produtiva, aumento da eficiência no uso da água e redução dos riscos associados à variabilidade climática.

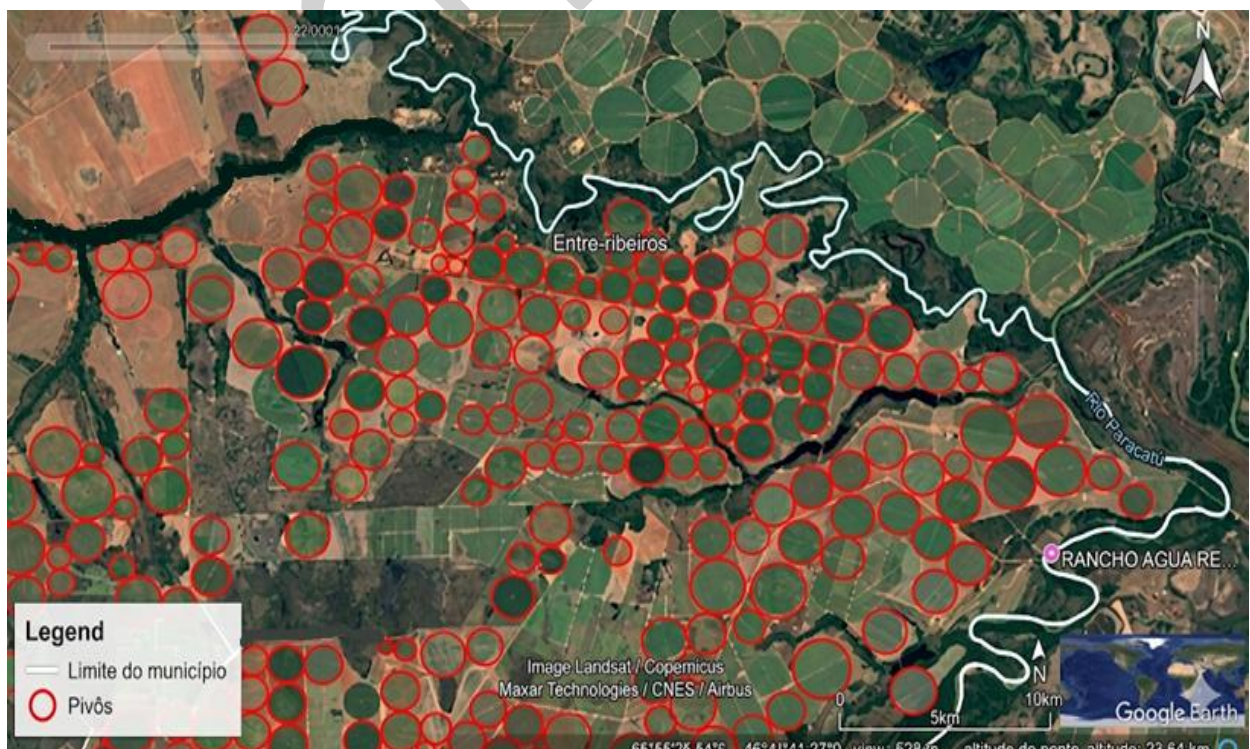


Figura 5 - Área com maior concentração de pivôs centrais de Paracatu em 2023.

De maneira geral, a análise espacial das imagens de satélite confirma a tendência de expansão da irrigação por pivô central no município de Paracatu/MG entre os anos de 2019 e 2023. Esse crescimento está diretamente associado à intensificação da produção agrícola e à ampliação do uso de tecnologias voltadas ao aumento da produtividade e da eficiência no uso dos recursos naturais.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a área irrigada evoluiu de aproximadamente 61.698,2 hectares em 2019 para 72.662,83 hectares em 2023, correspondendo a um incremento de 17,75% no período analisado. Quando confrontados com os dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomias, que estimam áreas de 65.762 hectares em 2019 (MapBiomias, 2019), e 78.799 hectares em 2023 (MapBiomias, 2023), observa-se uma convergência quanto à tendência de expansão da irrigação no município, embora com diferenças nos valores absolutos.

As divergências observadas entre os resultados podem ser atribuídas, sobretudo, às distintas abordagens metodológicas empregadas. O estudo baseou-se predominantemente na interpretação visual de imagens de alta resolução obtidas via Google Earth, enquanto o MapBiomias utiliza métodos automatizados de classificação de séries temporais de imagens de satélite, apoiados em algoritmos de aprendizado de máquina e procedimentos padronizados em larga escala. Adicionalmente, aspectos como a resolução espacial das imagens, os critérios adotados para identificação dos pivôs centrais, a presença de equipamentos móveis e possíveis variações na delimitação das áreas irrigadas também podem influenciar os resultados obtidos.

Apesar dessas diferenças, a consistência entre os padrões identificados reforça a robustez dos resultados apresentados e valida a metodologia adotada neste estudo para análises espaço-temporais da irrigação. Do ponto de vista analítico, a concordância entre os dados evidencia um processo consolidado de expansão da agricultura irrigada em Paracatu/MG, refletindo a crescente incorporação de tecnologias no setor agrícola e a intensificação do uso da irrigação como estratégia de mitigação dos riscos climáticos.

Entretanto, a expansão observada também impõe desafios relevantes à gestão dos recursos hídricos, uma vez que o aumento da área irrigada pode intensificar a pressão sobre os mananciais

locais. Nesse contexto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias integradas de monitoramento e gestão, capazes de conciliar o crescimento da produção agrícola com a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos hídricos.

Nesse contexto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias integradas de monitoramento e gestão, capazes de conciliar o crescimento da produção agrícola com a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos hídricos, sob pena de se comprometer a segurança hídrica das futuras safras na região.

4. Conclusão

Os resultados demonstram que a aplicação de técnicas de geoprocessamento associadas à análise de imagens de satélite constitui uma abordagem robusta e eficiente para a caracterização e o monitoramento da dinâmica da agricultura irrigada em escala regional. O estudo evidenciou uma expansão significativa das áreas irrigadas por pivô central no município de Paracatu/MG entre 2019 e 2023, com incremento de 17,75% na área irrigada e de 36,23% no número de pivôs.

Esse crescimento reflete a intensificação das atividades agrícolas e a crescente adoção de tecnologias de irrigação como estratégia para garantir estabilidade produtiva e maior eficiência no uso do solo e da água. Além disso, a convergência entre os resultados obtidos neste estudo e dados de bases secundárias reforça a confiabilidade da metodologia adotada.

5. Considerações Finais

Apesar dos benefícios associados à expansão da agricultura irrigada, os resultados também evidenciam desafios relevantes relacionados à gestão dos recursos hídricos. O aumento das áreas irrigadas pode intensificar a pressão sobre os mananciais locais, especialmente em cenários de variabilidade climática e limitação da disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, as geotecnologias assumem papel fundamental no monitoramento contínuo das transformações no uso e ocupação do solo, subsidiando o planejamento territorial e a tomada de decisão. Recomenda-se, para estudos futuros, a integração entre análises espaciais da expansão da irrigação e avaliações hidrológicas mais

detalhadas, considerando a relação entre oferta e demanda hídrica, a fim de promover o uso sustentável dos recursos naturais.

7. Referencias

ANA – Agência Nacional de Águas, 2019. *Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985–2017)*. Brasília: ANA.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. 2nd ed. Brasília: ANA.

ANA – Agência Nacional de Águas, 2022. *Levantamento da irrigação por pivôs centrais no Brasil*. Brasília: ANA.

Aragão, J.W.M. and Neta, M.A.H.M., 2017. *Metodologia científica*. Salvador: UFBA.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2014. *Solos e avaliação do potencial agrossilvipastoril das microrregiões Paracatu e Unai – Minas Gerais*. Belo Horizonte: EPAMIG.

FAO – Food and Agriculture Organization, 2002. *Agriculture and water development*. Rome: FAO.

FGV – Fundação Getúlio Vargas, 2016. *Estudo sobre eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global*. Sumário Executivo. São Paulo: FGV GV Agro Centro de Estudos do Agronegócio.

Guimarães, D.P. and Landau, E.C., 2020. *Mapeamento das áreas irrigadas por pivô central no município de Unai-MG*. Brasília: Embrapa.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. *Cidades e Estados: Paracatu (MG)*. Available at: IBGE [Accessed 23 March 2026].

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. *Estimativa populacional*. Rio de Janeiro: IBGE.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2023. *Normais climatológicas do Brasil*. Brasília: INMET.

Kinross Gold Corporation, 2023. *Relatórios operacionais – Mina Paracatu*.

MapBiomass, 2023. *Coleção 8: mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil*. Available at: MapBiomass [Accessed 23 March 2026].

Sousa, J.S. et al., 2022. *Expansão da irrigação por pivô central na sub-bacia do Rio Paracatu*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 16(4), pp.1–12.

Testezlaf, R., 2017. *Irrigação: métodos, sistemas e aplicações*. Campinas: UNICAMP/FEAGRI.

Zambello, A.V. et al., 2018. *Metodologia da pesquisa e do trabalho científico*. Penápolis: FUNEPE.