

Submitted: Feb 16th, 2024

Approved: Mar 22th, 2024

Análise geográfica para implementação de tecnologias e Inteligência Artificial na agricultura de regiões rurais: região sul de Itapeva, São Paulo

Geographical analysis for the implementation of technologies and Artificial Intelligence in agriculture in rural regions: southern region of Itapeva, São Paulo

Análisis geográfico para la implementación de tecnologías e Inteligencia Artificial en la agricultura en áreas rurales: región sur de Itapeva, São Paulo

Wesley Roberto dos Santos

Bacharelado em Engenharia da Computação pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: wesley01939@unifatecpr.com.br

Marjori Naele Mocelin Klinczak

Mestre em Computação Aplicada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: marjori.klinczak@unifatec.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta um projeto de análise geográfica de terreno para implementação de tecnologias e técnicas de Inteligência Artificial (IA) na agricultura de regiões rurais, tendo como base a região sul de Itapeva, São Paulo. Utilizando uma base de dados geográficos do Sistema Nacional do Cadastro Ambiental Rural (SICAR), onde notam-se áreas propícias para investimento agrícola, destacando a alta densidade de nascentes e rios na região. Assim, tem-se como objetivo geral do trabalho realizar uma análise geográfica de locais propícios para utilização de tecnologias, como irrigações automáticas e sensores para otimizar a produção agrícola na região sul de Itapeva, São Paulo. Os resultados teóricos obtidos incluem a atenção no uso de recursos hídricos, assim como sua distribuição de espaço geográfico e este estudo ressalta a importância da análise geográfica antes da implementação de tecnologias na agricultura, além de apontar para futuras pesquisas que podem validar os resultados obtidos.

Palavras-chave: SICAR, Itapeva, geoprocessamento, sensores.

ABSTRACT

This article presents a geographic terrain analysis project for the implementation of Artificial Intelligence (AI) technologies and techniques in agriculture in rural regions, based on the southern region of Itapeva, São Paulo. Using a geographic database from the National Rural Environmental Registry System (SICAR), which shows areas favourable for agricultural investment, highlighting the high density of springs and rivers in the region. The general aim of this work is to carry out a geographical analysis of locations that are suitable for using technologies such as automatic irrigation and sensors to optimise agricultural production in the southern region of Itapeva, São Paulo. The theoretical results obtained include attention to the use of water resources, as well as their distribution in geographical space and this study highlights the importance of geographical analysis before implementing technologies in agriculture, as well as pointing to future research that can validate the results obtained.

Keywords: SICAR, Itapeva, geoprocessing, sensors.

RESUMEN

Este artículo presenta un proyecto de análisis geográfico del terreno para la implementación de tecnologías y técnicas de Inteligencia Artificial (IA) en agricultura en regiones rurales, basado en la región sur de Itapeva, São Paulo. Se utiliza una base de datos geográfica del Sistema Nacional de Registro Ambiental Rural (SICAR), que muestra áreas favorables para la inversión agrícola, destacando la alta densidad de manantiales y ríos en la región. El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis geográfico de las localidades aptas para la utilización de tecnologías como el riego automático y los sensores para optimizar la producción agrícola en la región sur de Itapeva, São Paulo. Los resultados teóricos obtenidos incluyen la atención al uso de los recursos hídricos, así como su distribución en el espacio geográfico, y este estudio enfatiza la importancia del análisis geográfico antes de implementar tecnologías en la agricultura, además de apuntar a futuras investigaciones que puedan validar los resultados obtenidos.

Palabras clave: SICAR, Itapeva, geoprosesamiento, sensores

1 INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel fundamental na economia e na sustentabilidade das regiões rurais, sendo essencial explorar novas tecnologias para otimizar a produção agrícola. Neste contexto, a implementação de tecnologias e técnicas de Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado promissora para melhorar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade no setor agrícola (MENDES, 2019). E como base de estudo, a região sul de Itapeva, localizada no estado de São Paulo, destaca-se por sua relevância no cenário agrícola, apresentando características geográficas propícias para o desenvolvimento de práticas inovadoras na agricultura (SE, 2021).

O setor agropecuário é fundamental para o desenvolvimento da economia global, fornecendo alimentos, fibras e matérias-primas essenciais para a vida moderna. Apesar disso, o agronegócio brasileiro enfrenta diversos desafios para ampliar suas fontes de financiamento e se desenvolver de modo sustentável e, para atender à alta demanda atual, o setor agrícola está sendo impulsionado pela tecnologia (SERASA EXPERIAN, 2023). Nesse contexto, a implementação de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) e drones se apresenta como uma solução inovadora e promissora (BASE DIGITAL, 2023).

No contexto atual, a modernização da agricultura por meio da tecnologia torna-se essencial para enfrentar os desafios do setor, como a escassez de recursos hídricos, a necessidade de aumento da produtividade e a busca por práticas sustentáveis. A adição de processos de técnicas tecnológicas no campo rural; apresenta, além de uma modernização, como uma de suas principais vantagens, que é o aumento significativo da produtividade (PENA, 2019). Nesse sentido, a justificativa para este estudo reside na importância de explorar e avaliar o potencial do terreno agrícola e rural para implementação de tecnologias, com base de estudo na região sul de Itapeva-SP, visando não apenas melhorar a eficiência produtiva, mas também promover a sustentabilidade ambiental e econômica no meio rural.

A delimitação do corpus deste estudo abrange a análise da base de dados geográficos de Itapeva, com foco na identificação de áreas estratégicas para investimento agrícola, considerando a presença de nascentes e rios que podem ser explorados de forma sustentável.

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo é buscar, através de análises geoespaciais, locais propícios para utilização de tecnologias na zona rural, como irrigações automáticas e sensores para otimizar a produção agrícola e dentre outras tecnologias do mercado que buscam a otimização no setor agrícola e sua produtividade. Esse objetivo tem como foco áreas específicas com volume alto de rios nascentes, como base a região sul de Itapeva, São Paulo, intentando otimizar a produção agrícola, aumentar a eficiência no uso de recursos hídricos e promover a sustentabilidade no setor agrícola em áreas rurais.

Com base nisso, tem-se os seguintes objetivos específicos: Realizar uma análise da base de dados geográficos do município de Itapeva, para identificar áreas propícias para investimento agrícola; Representar as análises realizadas por meio de gráficos e mapas temáticos que evidenciem os resultados obtidos, facilitando a visualização e

interpretação das informações; Investigar a densidade de nascentes em áreas de vegetação nativa, destacando sua relevância na preservação ambiental e no planejamento agrícola, a fim de contribuir para o equilíbrio entre conservação e uso produtivo; Identificar potenciais áreas para investimento e de irrigação agrícola na região de Itapeva (SP); E por fim, apresentar a importância da análise prévia do terreno para a implementação de tecnologias agrícolas, com foco em áreas de alta densidade de nascentes, como estratégia para aumentar a produtividade local de maneira sustentável.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ITAPEVA

Situada a aproximadamente 300 km da capital paulista, Itapeva (SP) se destaca por ser uma potência agropecuária, segundo o “Estrada para Crescer” (SE, 2021), sendo vista como uma autêntica potência no setor agropecuário. O setor, além de tem um PIB municipal considerável, é destaque como um dos municípios com as maiores produções de tomate, algodão, feijão e milho do estado de São Paulo, elementos cruciais para a economia do Brasil (SE, 2021).

Itapeva, apesar de seu crescimento territorial, preserva as características tradicionais de uma cidade tranquila do interior. A qualidade de vida oferecida aos seus habitantes, marcada pela serenidade e pelas diversas opções de lazer, como praças e parques, é um diferencial da cidade. O comércio local é diversificado, atraindo compradores de cidades vizinhas (SE, 2021).

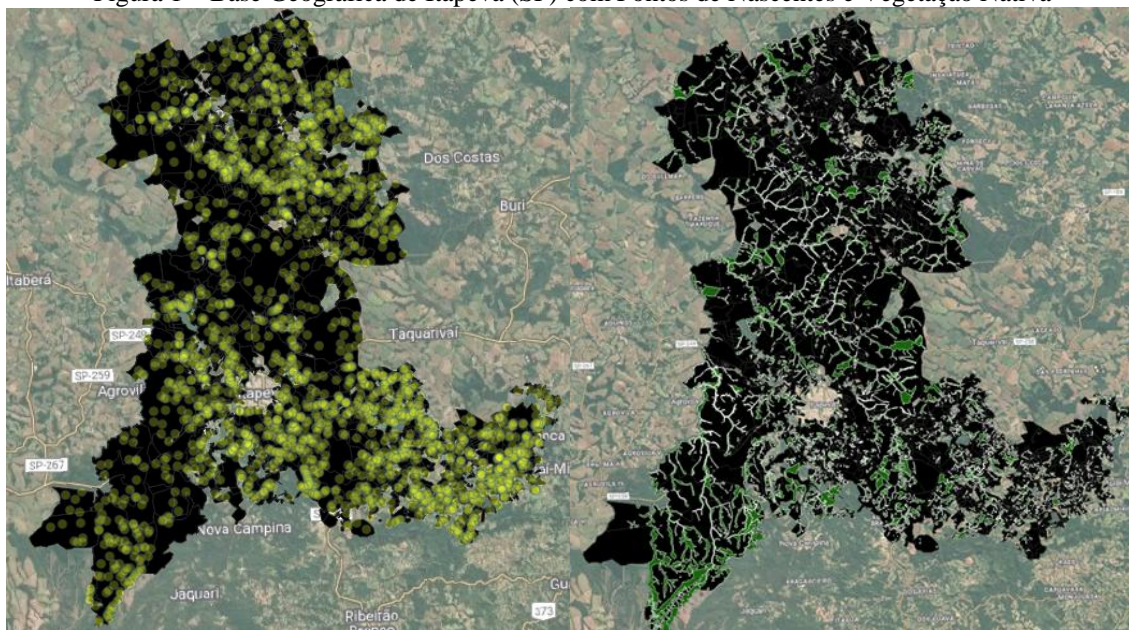
O município está inserido no estado de São Paulo, uma região economicamente significativa para o Brasil, especialmente no setor agrícola. São Paulo é reconhecido como o maior produtor global de etanol de cana-de-açúcar e suco de laranja e se destaca nacionalmente na produção de ovos, banana e amendoim (SEADE, 2021). Esse cenário regional proporciona uma perspectiva ampla e estratégica para Itapeva, que, situada em um dos estados mais fortes do país, encontra-se em uma posição vantajosa para expandir sua atuação agrícola, destacando-se ainda em culturas como o tomate, o algodão e o feijão.

2.2 MAPEAMENTO E ANÁLISE GEOESPACIAL DA REGIÃO DE ITAPEVA

Com a utilização do QGIS, obtém-se a seguinte imagem geográfica de Itapeva, representada na Figura 1, onde visualiza-se a base de dados geográfica de região obtida pelo SICAR, onde, na cor escura é a base total do imóvel, e em cor amarela a quantidade unitária de rios nascentes. Com essa pequena estilização da base geográfica, já consegue-se ver, como a região sul tem um grande destaque em rios nascentes.

Além do destaque dos rios nascentes, uma outra análise importante a se fazer é em relação as áreas de vegetação nativa que podem maximizar ainda mais a produtividade do cultivo local e a na manutenção da mesma, conforme pode ser visualizado na Figura 2 (REDAÇÃO, 2021).

Figura 1 – Base Geográfica de Itapeva (SP) com Pontos de Nascentes e Vegetação Nativa



Fonte: SICAR (2024)

Assim, uma maior diversidade de vegetação leva a um aumento na conservação do solo, assim como da capacidade produtiva, além de uma melhor qualidade e quantidade de água disponível. As áreas de vegetação nativa, ajudam a proteger as nascentes de fontes externas de contaminação e erosão (LORENZO, 2024). Nesse sentido, a vegetação nativa contribui para uma qualidade maior das nascentes, fortificando ainda mais a ideia de uma análise estratégica para implementações tecnológicas, visando não só a qualidade do solo, como a produtividade agrícola local.

Sobretudo, é fundamental destacar a importância de um estudo criterioso e da aplicação responsável em áreas de vegetação nativa, visto que essas intervenções devem respeitar a legislação vigente e ser conduzidas com uma forte consciência ambiental, assegurando que o ecossistema local não seja comprometido (LORENZO, 2024). Portanto, a vegetação nativa, principalmente as que possuem nascentes, devem ser realizadas dentro das diretrizes da lei sem comprometer os ecossistemas. Isso é possível por meio da adoção de tecnologias sustentáveis que visam mitigar impactos ambientais, como sistemas de irrigação de baixo impacto e monitoramento remoto da qualidade da água (DORES, 2017). Tais abordagens garantem que o uso do solo seja feito de maneira responsável, promovendo o desenvolvimento agrícola sem comprometer a integridade dos habitats naturais e as funções ecológicas vitais, como a manutenção das nascentes e a proteção da biodiversidade local.

3 METODOLOGIA

Neste estudo utilizou-se técnicas de geoprocessamento para analisar dados geográficos com o objetivo de compreender o potencial de implementação de tecnologias modernas em áreas rurais, especificamente em propriedades que possuem nascentes na região de Itapeva, São Paulo. A escolha desta área de estudo baseia-se em sua relevância para o contexto agrícola e ambiental, permitindo uma análise prática e aplicável sobre o uso sustentável dos recursos naturais, considerando as especificidades geográficas e ambientais locais. A pesquisa tem como base o uso de dados geoespaciais, onde busca entender a distribuição, a densidade e o tamanho das nascentes, além de avaliar como essas características podem ser aproveitadas para a adoção de tecnologias de monitoramento e irrigação automatizada.

Para essa análise, utilizou-se a base de dados disponibilizada pelo Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), que fornece informações detalhadas sobre as propriedades rurais no Brasil, incluindo delimitações fundiárias, hidrografia e zonas de proteção ambiental. A escolha dessa base de dados deve-se à sua confiabilidade e abrangência, o que garante precisão nas análises e robustez nas propostas apresentadas para o uso de tecnologias agrícolas. Além disso, a base do SICAR permite uma abordagem integrada, que combina fatores ambientais e econômicos, promovendo uma visão mais ampla e estratégica para o desenvolvimento sustentável.

A base de estudo, Itapeva (SP), é fornecida em vários formatos pelo sistema do SICAR, o principal que será usado para as análises será em formato *shapefile*, onde permite uma visualização gráfica com várias características do terreno, como rios nascentes, hidrografia, vegetação nativa, banhado, uso restrito e até mesmo reservas legais.

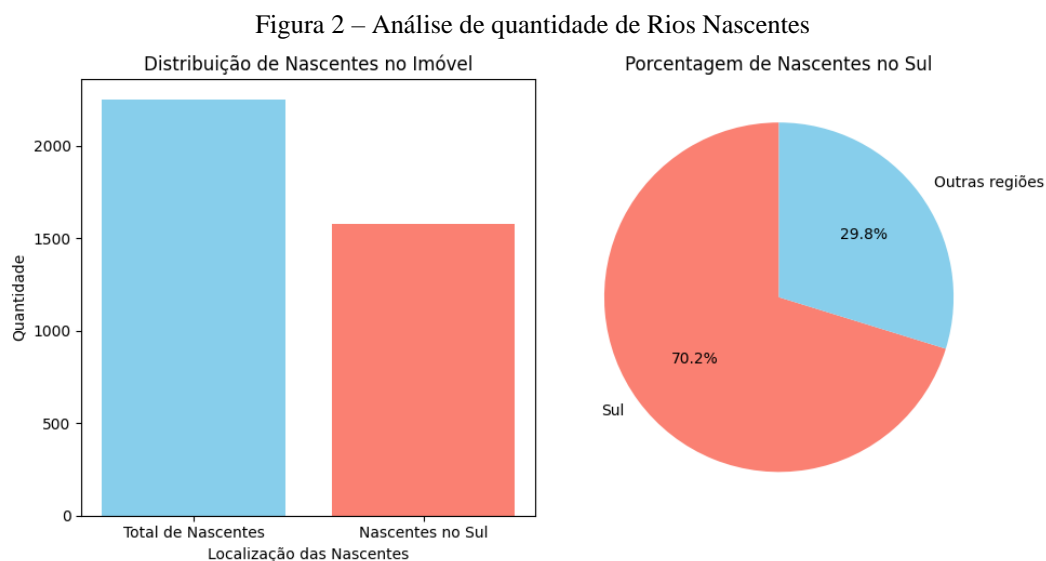
Na etapa de processamento e análise dos dados geoespaciais, o QGIS foi a ferramenta escolhida. Trata-se de um software de código aberto amplamente utilizado na área de geoprocessamento, do qual oferecem funcionalidades avançadas para visualização, análise e manipulação de dados espaciais. Com o QGIS, foi possível realizar operações críticas, como cálculos de áreas, interseções e sobreposições entre camadas geográfica, fundamentais para compreender a extensão e a localização das nascentes em relação às propriedades rurais. Essas análises são essenciais para determinar o potencial de cada área para a aplicação de tecnologias agrícolas sustentáveis.

Além disso, o QGIS foi integrado à linguagem Python, permitindo a automação de processos e a execução de análises personalizadas, como o cálculo de porcentagens de sobreposição entre as áreas de nascentes e o total da propriedade rural. Esse recurso agilizou o processamento de grandes volumes de dados e garantiu a consistência nos resultados obtidos. A combinação do QGIS com Python possibilitou ainda a geração de gráficos e mapas temáticos, que serão utilizados para apresentar os resultados de forma clara e objetiva, facilitando a interpretação dos dados.

Quanto ao script feito com Python, o primeiro processo foi elaborado para calcular a distribuição das nascentes na área total de Itapeva, identificando aquelas localizadas na região sul. Inicialmente, calculando sua altura e definindo uma linha de divisão correspondente a um terço da extensão vertical, representando a porção sul. Em seguida, realizou-se a contagem total de nascentes e a classificação daquelas situadas ao sul, permitindo calcular a porcentagem relativa dessa região em relação ao total. Posteriormente, foi conduzida uma análise das interseções entre as nascentes e as áreas de vegetação nativa. Para isso, avaliou-se a sobreposição geométrica entre ambas as camadas no QGIS. A partir desse processo, foi possível identificar e quantificar as nascentes que estavam inseridas em áreas de vegetação nativa, destacando regiões com relevância hídrica e ambiental. Esses procedimentos automatizados forneceram análises fundamentais para apresentar resultados na interpretação dos resultados.

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

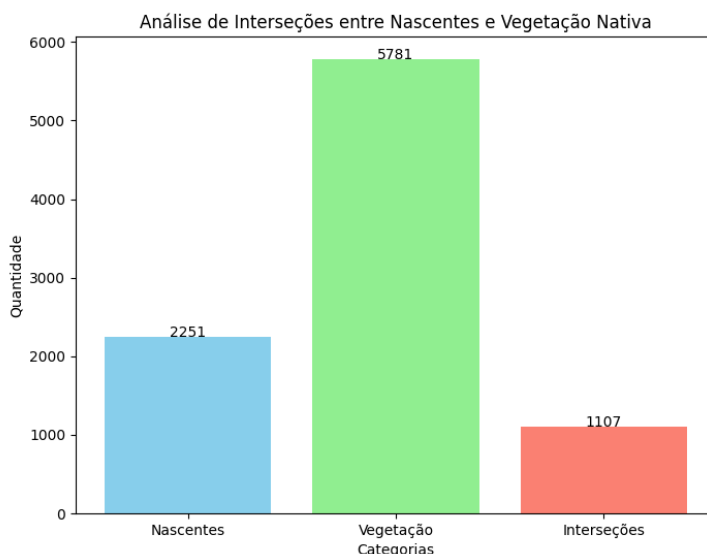
A verificação da região onde se encontram a maior densidade de rios nascentes, separadas em sul e outras regiões, como visto no gráfico da Figura 3. Para tal foi conferido quantos rios nascentes há na base de dados, do qual, obtendo os resultados vistos na Figura 3, tem-se um total de 2.251 no terreno como um todo, e 1.581 no centro ao sul.



Fonte: O Autor, 2024

Com base nos números vê-se o quão forte é a região mais ao sul em questão de nascentes, com isso dando uma margem para estudos territoriais para implantação de tecnologias. Para isso, é importante também, fazer uma análise das áreas de vegetação nativa, onde, após análises, obtêm-se os resultados vistos na Figura 4.

Figura 3 – Análise de quantidade de rios nascentes em área de vegetação nativa.



Fonte: O Autor, 2024.

Essa análise é relevante por várias razões, especialmente no que se refere à compreensão de como os ambientes naturais e seus recursos hídricos interagem com o ecossistema e com as atividades humanas. Os rios nascentes localizados em áreas de vegetação nativa desempenham um papel crucial na qualidade e na quantidade da água disponível na região. As áreas de vegetação nativa ajudam a proteger as nascentes contra fontes externas de contaminação e erosão, funcionando como barreiras naturais contra a poluição, impedindo que produtos químicos e sedimentos atinjam as águas dos rios. Além disso, a vegetação nativa regula o fluxo de água e contribui para a manutenção dos níveis hídricos constantes, especialmente durante períodos de seca ou chuvas intensas.

A análise dos rios nascentes em áreas de vegetação nativa é fundamental no planejamento da implantação de tecnologias no campo, pois oferece pontos cruciais sobre a conservação ambiental e a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos. A presença de nascentes em áreas de vegetação nativa indica regiões com grande potencial hídrico e ecossistemas que desempenham funções essenciais, como a manutenção da qualidade da água e a redução da erosão do solo. Ao identificar a localização das nascentes e sua relação com a vegetação nativa, é possível mapear áreas sensíveis, onde a introdução de tecnologias precisa ser cuidadosamente planejada, para não comprometer esses recursos.

Portanto, embora a região de Itapeva apresente grande potencial para o uso hídrico de qualidade, é necessário, como é evidente, adotar cautela. As áreas com rios nascentes

em vegetação nativa são altamente promissoras para o aproveitamento hídrico, mas é imprescindível evitar danos à vegetação local, mantendo o equilíbrio do ecossistema.

Com base nessas análises, observa-se que Itapeva possui uma grande quantidade de rios nascentes em áreas de vegetação nativa, que proporcionam água de alta qualidade e favorecem a conservação do solo. Isso abre oportunidades para a implantação de tecnologias específicas, como sistemas de irrigação automatizada, com o objetivo de aumentar a produtividade nas lavouras. Contudo, é fundamental sempre garantir que tais implementações sejam realizadas com cuidado em relação ao ecossistema e em conformidade com a legislação ambiental, para maximizar a produtividade sem gerar impactos ambientais negativos.

A análise apresentada neste estudo tem como objetivo fornecer uma abordagem genérica que possa ser aplicada a outras regiões geográficas semelhantes. Embora os resultados possam variar em diferentes contextos, Itapeva foi utilizada como base para a análise territorial de rios nascentes, com o intuito de ilustrar pontos estratégicos que podem ser aproveitados de forma sustentável, sem comprometer o ecossistema local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONTRIBUIÇÕES PARA A AGRICULTURA DE REGIÕES RURAIS

É esperado que, com a análise prévia de um terreno, de forma genérica, obtendo os resultados dos rios nascentes e a sua devida densidade em devidas áreas, possam ser estudados para uma implementação inteligente de tecnologias no campo rural, agregando também em diversas contribuições.

Ao realizar uma análise detalhada das condições ambientais, como a presença de nascentes e a vegetação nativa, o projeto incentiva a análise criteriosa do terreno antes de implantar qualquer tecnologia agrícola. Isso envolve por exemplo, a adoção de tecnologias de precisão, como sensores para monitoramento de irrigação e clima. A análise detalhada do terreno ajuda a direcionar recursos de maneira mais eficaz, evitando desperdícios e melhorando a eficiência das operações agrícolas, criando uma base sólida para práticas mais sustentáveis e adaptadas às condições específicas de cada propriedade.

Além disso, a análise dos recursos hídricos e da vegetação nativa é um passo essencial para a implantação de tecnologias agrícolas modernas. Ao compreender

detalhadamente a localização das nascentes e o tipo de vegetação existente, é possível identificar áreas mais adequadas para implementar soluções sustentáveis, como sistemas de irrigação eficientes, técnicas de conservação de solo e práticas agroecológicas. Isso permite que os agricultores escolham as melhores tecnologias para aumentar a produtividade de forma responsável, garantindo a sustentabilidade do ambiente. Com a preparação adequada, o processo de adoção dessas tecnologias se torna mais simples e eficaz, resultando em benefícios a longo prazo tanto para o produtor quanto para o ecossistema.

Outro ponto importante é o aproveitamento eficiente dos recursos hídricos. O uso racional da água, aliado ao conhecimento das características do solo e das nascentes, pode levar a uma redução significativa dos custos operacionais nas propriedades rurais. Tecnologias de irrigação mais eficientes não apenas diminuem o consumo de água, mas também reduzem o custo com insumos e o consumo de energia. Além disso, a preservação das nascentes e da vegetação nativa contribui para a estabilidade do ambiente, evitando problemas como a erosão do solo, que pode exigir grandes investimentos em reparos e controle. Dessa forma, o manejo inteligente da água não só beneficia o meio ambiente, mas também resulta em maior eficiência e rentabilidade para os produtores rurais.

A adoção de práticas sustentáveis também traz benefícios significativos na redução de custos operacionais. A utilização de tecnologias que otimizam o uso da água e de outros recursos naturais, como sistemas de irrigação de precisão, permite a redução do consumo de insumos e energia, além de diminuir os custos com manutenção e controle ambiental. A preservação da vegetação nativa e a proteção das nascentes desempenham um papel fundamental nesse processo, pois ajudam a manter o equilíbrio ecológico e a evitar problemas como a erosão do solo. Assim, o uso responsável dos recursos naturais não só contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também para a redução dos custos e aumento da rentabilidade na agricultura.

Por fim, a utilização inteligente dos recursos hídricos e a adoção de tecnologias agrícolas adequadas podem impulsionar a economia local. A agricultura sustentável gera empregos diretos e indiretos e pode estimular o desenvolvimento de cadeias produtivas locais, criando um impacto positivo no crescimento econômico da região. A longo prazo, o aumento da produtividade nas lavouras, aliado ao uso eficiente dos recursos, contribui para o fortalecimento da economia local e o aumento de investimentos. Esse ciclo de

crescimento positivo pode criar novas oportunidades de negócios e desenvolvimento regional, ampliando os benefícios da sustentabilidade para toda a comunidade.

5.2 LIMITAÇÕES DE ESTUDO

Embora este trabalho tenha gerado resultados importantes sobre a análise geográfica para implantação de tecnologias e a relação entre a preservação da vegetação nativa e o manejo de recursos hídricos em regiões rurais, algumas limitações devem ser reconhecidas. Estas limitações indicam oportunidades para futuras pesquisas e aprimoramento da metodologia adotada.

A pesquisa foi conduzida em uma área específica da região sul de Itapeva, o que pode restringir a generalização dos resultados para outras regiões com características climáticas, geográficas ou socioeconômicas diferentes. Embora o projeto tenha sido inicialmente planejado de forma generalizada para ser aplicável a qualquer tipo de terreno rural, a limitação geográfica apresenta desafios na extrapolação dos dados obtidos para outros contextos. As características locais de cada região, como clima, relevo, tipo de solo e práticas agrícolas, podem variar significativamente, o que pode influenciar nos resultados. A ideia inicial de tornar o estudo aplicável a qualquer produtor rural, independentemente da localização, visava incentivar uma análise mais crítica e reflexiva sobre a modernização no campo. No entanto, para que os resultados possam ser adaptados e aplicados a diferentes áreas, é importante que novas pesquisas se expandam para outras regiões, levando em conta as especificidades de cada local, a fim de validar a aplicabilidade das tecnologias propostas em diferentes cenários.

O estudo foi realizado com base em uma análise teórica e analítica, utilizando dados espaciais e geoespaciais para modelar os efeitos das tecnologias agrícolas no manejo sustentável dos recursos naturais. Contudo, a aplicação prática das tecnologias não foi possível dentro do escopo da pesquisa, o que representa uma limitação importante. Apesar de os resultados indicarem potenciais benefícios, como o aumento da eficiência no uso da água e a preservação da vegetação nativa, a falta de validação em campo impede a confirmação dos benefícios reais que as tecnologias podem oferecer aos agricultores. A implementação prática das soluções é essencial para testar sua viabilidade no ambiente rural, considerando as dificuldades logísticas, os custos de implantação e as variações que podem ocorrer em diferentes tipos de solo e sistemas produtivos. Em estudos futuros,

seria fundamental realizar a implementação dessas tecnologias em um ambiente de campo, possibilitando a verificação direta dos efeitos e ajustando as soluções conforme as condições locais.

5.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para futuros estudos, recomenda-se expandir essa pesquisa para diferentes regiões do Brasil que apresentem variações significativas nas características climáticas, geográficas e agrícolas, a fim de realizar investigações em contextos diversos pode ajudar a determinar se as tecnologias de Inteligência Artificial e drones, aplicadas na gestão agrícola, mantêm sua eficácia em diferentes condições. Essa expansão contribuiria para uma compreensão mais ampla da adaptabilidade das soluções tecnológicas e de quais ajustes seriam necessários para adequá-las às especificidades de cada ambiente rural, fortalecendo, assim, a capacidade de replicação e de escala das soluções tecnológicas desenvolvidas.

Outro aspecto relevante é a realização de experimentos práticos com base nas análises realizadas até aqui. Esses experimentos são cruciais, pois permitem verificar na prática a relação entre a vegetação nativa e o manejo de recursos hídricos, testando as conclusões obtidas por meio de modelos e análises teóricas. A experimentação prática viabiliza a validação dessas conclusões e oferece um caminho mais sólido para a implementação de políticas e intervenções que beneficiem o uso sustentável dos recursos naturais.

Adicionalmente, futuras pesquisas poderiam explorar a integração de múltiplas tecnologias, como sensores de solo, drones de monitoramento e sistemas de irrigação automatizados. A combinação dessas ferramentas tecnológicas em um único sistema de monitoramento e controle pode potencializar a eficiência do manejo de culturas, melhorando a produtividade agrícola de forma sustentável. Investigar a interoperabilidade entre essas tecnologias abre caminho para inovações que proporcionem uma operação sincronizada e otimizada, resultando em processos agrícolas mais eficientes, menos dependentes de recursos e adaptados às necessidades específicas de cada tipo de solo e clima.

REFERÊNCIAS

BASE.DIGITAL. **Agricultura moderna produzindo em ambiente de escassez hídrica**. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/agricultura-moderna-produzindo-em-ambiente-de-escassez-hidrica/>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

CETESB. **Pesquisas comprovam a importância da vegetação na produção de água com qualidade» CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2018/02/21/pesquisas-comprovam-a-importancia-da-vegetacao-na-producao-de-agua-com-qualidade/>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

LORENZO, A. D. **Preservar a vegetação nativa traz benefícios à agricultura, revela estudo**. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2024/07/18/agronegocios/preservar-a-vegetacao-nativa-traz-beneficios-a-agricultura-revela-estudo/>>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MENDES, L. Gustavo. **Inovações tecnológicas na agricultura que prometem aumentar seu lucro**. Disponível em: <[PENA, Rodolfo F. Alves. Brasil Escola; **Efeitos da modernização do campo**; s.d; Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/efeitos-modernizacao-campo.htm>>. Acesso em 07 de maio de 2024.](https://blog.aegro.com.br/inovacoes-tecnologicas-na-agricultura/#:~:text=As%20principais%20inova%C3%A7%C3%B5es%20tecnol%C3%B3gicas%20na,aumentar%20a%20produtividade%20da%20lavoura.>>. Acesso em: 13 dez. 2024.</p></div><div data-bbox=)

REDAÇÃO. **Agricultura moderna: tecnologias e benefícios**. Disponível em: <<https://www.sygmastemas.com.br/agricultura-moderna/>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

REDAÇÃO. **Vegetação nativa próxima às áreas cultivadas maximiza a polinização e melhora a produtividade**. Disponível em: <[SERASA EXPERIAN. **Tecnologia no agronegócio: conheça as tendências e inovações**. Disponível em: <<https://www.serasaexperian.com.br/conteudos/agronegocio/tecnologia-no-agronegocio-conheca-as-tendencias-e-inovacoes/>>. Acesso em: 11 nov. 2024.](https://www.ecodebate.com.br/2021/08/25/vegetacao-nativa-proxima-as-areas-cultivadas-maximiza-a-polinizacao-e-melhora-a-produtividade/#:~:text=A%20presen%C3%A7a%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20nativa,a%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20da%20cultura%20agr%C3%ADcola.>>. Acesso em: 16 nov. 2024.</p></div><div data-bbox=)

SE, S. **Itapeva (SP) se destaca por ser uma potência agropecuária, diz estudo “Estrada para Crescer”**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/estrada-para-crescer/noticia/2021/06/08/itapeva-sp-se-destaca-por-ser-uma-potencia-agropecuaria-diz-estudo-estrada-para-crescer.ghtml>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

SICAR SISTEMA DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL. 13 de dezembro de 2021.
Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads?sigla=SP>.
Acesso em 20 de março de 2024.