



**FACULDADE MINAS GERAIS
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

FABRÍCIO SILVA

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NO AMBIENTE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO E DIVISÃO DE TERRAS**

**BELO HORIZONTE
2024**

FABRÍCIO SILVA

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NO AMBIENTE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO E DIVISÃO DE TERRAS**

Trabalho final de curso, apresentado a Faculdade Minas Gerais como parte das exigências do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

**BELO HORIZONTE
2024**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. JUSTIFICATIVA	4
3. PROBLEMA	4
4. OBJETIVOS.....	4
4.1. Objetivo Geral.....	4
4.2. Objetivos Específicos	4
5. REVISÃO DE LITERATURA	5
5.1. Sistemas de Informação Geográfica	5
5.2. Análise Multicritério.....	6
5.3. Avaliação e Divisão de Terras.....	9
6. MATERIAIS E MÉTODOS	12
6.1. Área de Estudo	12
6.2. Coleta de Dados	12
6.3. Base de dados espacial.....	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aplicar a uma análise multicritério no ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para avaliação e divisão de imóveis rurais. Utilizando um levantamento aerofotogramétrico e topográfico com *Global Navigation Satellite System* (GNSS) em modo RTK foram gerados a base de dados geográficos para gerar mapas de uso do solo, modelo digital de terreno e outros elementos relevantes do imóvel objeto do estudo. A metodologia integra critérios como fertilidade do solo, uso e ocupação, inclinação do terreno, disponibilidade de recursos hídricos e acessibilidade, todos padronizados na escala *fuzzy*. A combinação desses fatores foi realizada através da ferramenta *fuzzy Overlay* permitiu criar um mapa de valor monetário que foram reescalados, proporcionando uma avaliação precisa e prática. Os resultados destacaram discrepâncias significativas no valor monetário entre as glebas utilizando critério de igualdade de áreas, reforçando a importância de uma avaliação real informada para divisões mais justas e transparentes. A abordagem demonstra a relevância do SIG e da análise multicritério no suporte aos processos de divisão e na avaliação de propriedades rurais.

Palavras-chave: análise multicritério; sistema de informação geográfica (SIG); Divisão de imóveis rurais.

ABSTRACT

This study aims to apply a multicriteria analysis in a Geographic Information System (GIS) environment for the evaluation and division of rural properties. Using photogrammetric and topographic surveys with the Global Navigation Satellite System (GNSS) in RTK mode, geographic data was generated to create land use maps, digital terrain models, and other relevant elements of the property under study. The methodology integrates criteria such as soil fertility, land use and occupation, terrain slope, water resources availability, and accessibility, all standardized on the fuzzy scale. The combination of these factors was performed using the Fuzzy Overlay tool, enabling the creation of a monetary value map that was rescaled, providing a precise and practical evaluation. The results highlighted significant discrepancies in the monetary value between the plots, using the equality of areas criterion, emphasizing the importance of a realistic and informed evaluation for fairer and more transparent divisions. This approach demonstrates the relevance of GIS and multicriteria analysis in supporting the processes of property division and evaluation of rural estates.

Keywords: multicriteria analysis; geographic information system (GIS); property division.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no município de Alto Rio Doce. .	12
Figura 2 - Levantamento com GNSS RTK e Ponto de controle sinalizado em solo..	13
Figura 3 - Processamento do ponto preciso (PPP) do serviço do IBGE.	14
Figura 4 - Ortomosaico processado com ponto de controle sinalizado no solo.	15
Figura 5 - Critérios utilizados na composição do valor da terra.	15
Figura 6 - Critérios na composição do valor da terra: inclinação do terreno (A); Disponibilidade hídrica (B); Acessibilidade (C); Classe de solo (D) e uso e ocupação do solo (E).	18
Figura 7 - Variações da função fuzzy	19
Figura 8 - Mapa do valor de terra dentro do imóvel rural	22
Figura 9 - Mapa do valor de terra em processo de divisão de glebas.....	23

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a avaliação de imóveis rurais tem se tornado frequente nas operações financeiras e judiciais no Brasil. A avaliação de terras rurais tem sido requisitada como garantia em financiamentos bancários, em processos de partilha de inventário, perícias, recuperações judiciais, divisões, indenizações, permutas e até mesmo para desapropriações.

Todavia, esse processo requer a consideração de uma multiplicidade de fatores que impactam o valor das propriedades. Uma análise criteriosa deve considerar os diversos fatores, como a aptidão agrícola, topografia, disponibilidade hídrica, classes e fertilidade do solo, localização, acessibilidade, disponibilidade de recursos hídricos e naturais, proximidade com infraestruturas e entre outros fatores relacionados.

Atualmente, a introdução de ferramentas tecnológicas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem revolucionado o agronegócio e agricultura de precisão. Neste contexto, em que a avaliação de imóveis envolve a natureza geográfica, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) destaca-se como uma ferramenta indicada para esse tipo de análises espaciais. A partir do SIG é possível realizar a combinação das camadas que representam as características do terreno, o que é especialmente útil no planejamento e na análise territorial.

De modo geral, a manipulação e análise dos dados espaciais oferecem um suporte valioso aos profissionais envolvidos em projetos e na resolução de problemas complexos do mundo real. Quando integrado à análise multicritério, o SIG torna-se uma ferramenta poderosa para avaliações relacionadas a terras, permitindo combinar os diversos critérios relevantes para a valoração de imóveis, resultando em análises mais precisas e consistentes.

A análise multicritério combinada com o SIG representa uma metodologia promissora para avaliação e divisão de terras. Essa abordagem avançada permite uma integração com diversas variáveis na modelagem espacial, possibilitando uma tomada de decisão mais consistente pelos profissionais da ciência agrária.

2. JUSTIFICATIVA

Conforme abordado, a avaliação e a divisão de terras rurais requerem uma análise criteriosa que leve em consideração múltiplos fatores, como a aptidão agrícola, a preservação de recursos naturais, a proximidade de infraestruturas, e as exigências legais. A utilização do SIG combinado com técnicas de análise multicritério surge como uma metodologia robusta e eficiente para esses desafios, integrando de forma eficiente os diversos critérios que influenciam a avaliação e a divisão de imóveis rurais. Diante disso, esta pesquisa é justificada pela necessidade de utilizar ferramentas que promovam decisões mais precisas, justas e eficientes no contexto da avaliação e divisão de terras.

3. PROBLEMA

A avaliação e divisão de imóveis rurais são processos complexos que envolvem múltiplos critérios de diversas naturezas. Esses critérios, muitas vezes conflitantes, podem dificultar a interpretação e a tomada de decisão, resultando em avaliações e divisões de terras que nem sempre atendem de forma equilibrada e justa, às partes envolvidas. Assim, este estudo foca-se na integração de técnicas de análise multicritério em um ambiente SIG com a finalidade de aprimorar o processo de avaliação e divisão de imóveis rurais, considerando de maneira equitativa os múltiplos critérios envolvidos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa teve como objetivo aplicar a análise multicritério no ambiente do SIG para avaliação e divisão de imóveis rurais.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação de SIG e AMC na avaliação e divisão de imóveis rurais;
- Identificar e categorizar os principais critérios de avaliação relevantes para imóveis rurais;
- Relacionar os fatos entre si através da análise multicritério;

- Desenvolver um modelo de SIG integrado com multicritério aplicado a um estudo de caso de divisão de imóveis rurais;
- Analisar e avaliar os resultados do modelo, comparando-os com metodologias tradicionais de avaliação e divisão de terras.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Sistemas de Informação Geográfica

O SIG tornou-se uma ferramenta essencial para resolver diversos problemas no mundo real, por meio da análise e processamento de dados espaciais, fornecendo uma plataforma robusta para o armazenamento, visualização, análise e interpretação de informações geograficamente referenciadas. Desde sua origem, o SIG evoluiu significativamente, ampliando suas aplicações em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão de recursos naturais, agricultura, saúde pública e transporte (LONGLEY et al., 2005)

Atualmente, o SIG está presente em várias áreas do conhecimento, pois a maioria dos dados coletados do mundo real envolve o espaço geográfico (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Estima-se que cerca de 80% dos dados utilizados por gestores e tomadores de decisão envolvem a natureza geográfica (DROBNE; LISEC, 2009)

O conceito de SIG começou a ganhar notoriedade a partir da década de 1960 com o desenvolvimento do *Canada Geographic Information System* (CGIS), que foi uma das primeiras instituições a utilizar técnicas computacionais para análise de dados geoespaciais, focado na gestão da terra e no monitoramento de recursos naturais (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Desde então, a evolução dos SIGs tem sido marcada pela integração de diferentes áreas, como geografia, ciência da computação, estatística e cartografia, o que permitiu a criação de sistemas mais sofisticados e acessíveis (GOODCHILD, 2007).

De maneira geral, os SIGs são caracterizados pela sua capacidade de manipular grandes volumes de dados espaciais e não espaciais, permitindo a análise integrada de múltiplas camadas de informação. Este aspecto é particularmente importante para a tomada de decisão em contextos complexos, como a gestão territorial, onde é necessário considerar variáveis múltiplas e interdependentes (MALCZEWSKI, 1999).

Atualmente, os SIGs tem sido amplamente utilizados em diversas aplicações, destacando-se sua utilidade na gestão de recursos naturais, avaliação ambiental e na análise temporal de mudanças, como desmatamento, degradação ambiental e expansão agrícola (EASTMAN, 2006). Exemplos de aplicação incluem a análise de uso da terra e cobertura vegetal, fundamentais para o monitoramento ambiental

Portanto, os SIGs integram conjunto de tecnologias do geoprocessamento que abrange vários tipos de sistemas e técnicas para tratamento da informação espacial, permitindo a geração de informações em forma de mapas, tabelas e gráficos, constituindo-se ferramenta poderosa de análise e subsídio à tomada de decisão (EMMERT et al., 2010).

Os avanços tecnológicos nessas últimas décadas, especialmente em hardware, software e tecnologias de georreferenciamento, como GNSS e satélite de observação da Terra, contribuíram para a expansão das capacidades dos SIGs, permitindo análises mais detalhadas e precisas. A crescente disponibilidade de dados geoespaciais, como imagens de sensores remotos de alta resolução também foram importantes para análises espaciais mais complexas (JENSEN; COWEN, 1999). Tecnologias emergentes, como a computação em nuvem e o processamento paralelo, também têm ampliado a capacidade de processamento dos SIGs, tornando-os mais acessíveis e escaláveis, o que é crucial para grande volume de dados (FOLEY et al., 2010). Além disso, com avanço de tecnologias como inteligência Artificial (IA) e aprendizado de máquinas, os SIGs estão cada vez mais sendo utilizados para detectar padrões e fazer previsões em cenários de desastres e agricultura de precisão.

5.2. Análise Multicritério

A análise multicritério pode ser descrita como um conjunto de métodos e técnicas utilizados para avaliar e priorizar múltiplas alternativas com base em vários critérios, frequentemente conflitantes. Em um contexto de avaliação de terras, , essa abordagem permite integrar diferentes aspectos, como qualidade do solo, disponibilidade de água, infraestrutura e restrições ambientais (EASTMAN, 2006).

De forma geral, a análise de multicritérios pode ser descrita como uma técnica matemática que permite comparar diferentes cenários, fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996). A integração entre os métodos de análise de multicritérios e

os SIGs tem permitido um avanço significativo nas análises espaciais para a determinação da adequação de uso da terra, compreendo um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão (CORSEUIL; CAMPOS, 2007).

Por meio da técnica de multicritério em SIG, é possível modelar dados espaciais para identificar áreas com maior adequabilidade para uso da terra com base em análises geoespaciais (ADEM ESMAIL; GENELETTI, 2018). Em situação de tomada de decisão em problemas do mundo real, com base num grande número de dados, podem ser realizadas interações em que os objetivos sejam avaliados, de forma integrada (VILAS BOAS, 2006). A análise multicritério tem sido amplamente aplicada em estudos relacionados ao planejamento ambiental, como definição de áreas adequadas para empreendimentos, análise de risco ambiental, sensibilidade ambiental e planejamento do uso da terra (MALCZEWSKI, 2004; COLLINS; STEINER; RUSHMAN, 2001 ; JIANG; EASTMAN, 2000).

No âmbito do planejamento os SIGs se destacam pela capacidade de apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, holisticamente ou como um resultado analítico, com a utilização de diversos dados ambientais, que são processados entre as etapas de diagnóstico e seleção de opções, ou seja, métodos que envolvem análise espacial, sistemas de listagens, matrizes e modelos (SANTOS et al., 1997).

As ferramentas de análise multicritério presentes nos SIGs são especialmente notáveis, pois permitem a transformação e integração de variáveis, proporcionando informações valiosas para a tomada de decisão (SAATY, 1980; SILVERMAN, 1986; MALCZEWSKI, 1999; CALIJURI, et al.,2002).

Diversos estudos destacam a eficiência da análise multicritério em SIG para a avaliação de uso e ocupação do solo, divisão de imóveis rurais e a gestão ambiental. De acordo com Malczewski, (2006), a combinação de SIG com análise multicritério é uma ferramenta poderosa, pois permite integrar informações espaciais de diversas fontes com critérios socioeconômicos, ecológicos e de infraestrutura, resultando em uma análise mais robusta e abrangente.

Carver, (1991), utilizou o método da multicritério em SIG para o planejamento territorial buscando uma visão mais detalhada sobre como as diferentes áreas de um

imóvel rural podem ser avaliadas de acordo com sua aptidão para a agricultura, pastagem ou outros usos.

Jankowski, (1995), avaliou os métodos multicritério em SIG para a divisão de terras com base em critérios socioeconômicos e ambientais. O autor sugeriu que o SIG se torna uma ótima alternativa para identificação de áreas para atender a múltiplas condições favoráveis para o uso agrícola ou desenvolvimento urbano, enquanto minimiza os impactos ambientais.

A aplicação de análise multicritério no SIG para a divisão de terras tem sido cada vez mais utilizada em projetos de regularização fundiária e reforma agrária. Segundo DUARTE et al., (2021) discutem o uso de técnicas de análise multicritério em SIG para definir áreas de adequabilidade à valorização imobiliária, levando em consideração aspectos como: meio ambiente, topografia, transporte e mobilidade, educação, patrimônio histórico e cultura, saúde e assistência social, infraestrutura urbana e serviços urbanos. Os resultados desse estudo demonstraram que a análise multicritério amplia a capacidade de modelagem da influência geográfica nos valores dos imóveis.

Portanto, a combinação de análise multicritério e SIG para avaliação e divisão de terras oferece um processo estruturado e baseado em dados para tomar decisões complexas. Ao integrar diversos critérios, desde os ambientais até os econômicos, autores muitos demonstram que essa abordagem pode otimizar o uso da terra, promover a sustentabilidade e atender às necessidades das partes envolvidas, seja em contextos rurais ou urbanos. A capacidade do SIG de integrar grandes volumes de dados espaciais com análises quantitativas torna o processo de divisão de terras mais preciso e menos subjetivo.

Dentre os métodos utilizados para a divisão de terras, destaca-se o uso de ferramentas de planejamento espacial, como SIGs, que permitem a análise integrada de múltiplos critérios para identificar as melhores opções de subdivisão (MALCZEWSKI, 2004b). Essas ferramentas facilitam a consideração de fatores como a acessibilidade, o tipo de solo, a proximidade de fontes de água, e a necessidade de conservação de áreas sensíveis. O uso de SIGs permite também a simulação de diferentes cenários de parcelamento, ajudando a identificar as opções mais sustentáveis e economicamente viáveis (EASTMAN, 2006).

5.3. Avaliação e Divisão de Terras

A avaliação e a divisão de terras em imóveis rurais são processos complexos que envolvem a análise de múltiplos fatores, como características físicas e ambientais, aspectos legais, econômicos e sociais (BARROS; ARAÚJO; PEREIRA, 2015). Esses processos são fundamentais para diversas finalidades, incluindo compra e venda de propriedades, gestão de recursos naturais, planejamento de uso da terra, e regularização fundiária. A literatura sobre o tema destaca diferentes abordagens e métodos desenvolvidos para lidar com a complexidade da avaliação e divisão de terras, especialmente em áreas rurais.

A avaliação de terras em imóveis rurais envolve a determinação do valor econômico de uma propriedade, levando em conta não apenas suas características físicas, como tipo de solo, topografia, e recursos hídricos, mas também sua localização, acessibilidade, e potencial produtivo. A avaliação de terras deve considerar também fatores como políticas agrícolas, condições de mercado e tendências econômicas, que podem influenciar significativamente o valor da terra (NICKERSON et al., 2012).

Vários métodos têm sido utilizados para a avaliação de terras rurais, incluindo métodos comparativos de mercado, métodos de capitalização de renda e métodos de custo. O método comparativo de mercado é amplamente utilizado e baseia-se na comparação de preços de propriedades semelhantes vendidas recentemente na mesma região (KUMAR; RAMACHANDRAN, 2002). O método de capitalização de renda avalia a terra com base em sua capacidade de gerar renda futura, enquanto o método de custo estima o valor da terra com base nos custos necessários para sua melhoria ou desenvolvimento (BURGER; GANGULY, 2014).

A Norma Técnica NBR 14653-1 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) define seis métodos para avaliação de imóveis, cada um com uma abordagem específica para determinar o valor de mercado ou valor venal. Esses métodos são amplamente utilizados em perícias e avaliações imobiliárias e incluem:

- **Método comparativo de dados de mercado:** envolve a coleta de informações sobre imóveis semelhantes, seguida do tratamento e da análise estatística desses dados para estimar o valor de mercado. Esse método é especialmente eficaz em áreas com grande quantidade de transações comparáveis.
- **Método involutivo:** utiliza a simulação de um projeto máximo hipotético para o imóvel, considerando o potencial de construção e a venda no mercado atual. Esse cálculo leva em conta a viabilidade econômica e a lei da oferta e da procura.
- **Método evolutivo:** determina o valor do imóvel pela análise separada dos componentes, como o terreno e as benfeitorias, somando-os e ajustando com um fator de comercialização.
- **Método da renda:** utiliza a renda potencial que o imóvel pode gerar para calcular o valor de venda. Considera cenários econômicos viáveis para determinar o valor venal com base na rentabilidade.
- **Método do custo:** o valor é obtido pela quantificação e orçamentação do custo de construção somado ao valor do terreno, sendo usado em casos onde não há comparativos de mercado, como em construções especiais ou em propriedades isoladas.

Esses métodos, conforme a NBR 14653-1, são selecionados de acordo com a natureza do imóvel e a finalidade da avaliação, possibilitando uma análise mais precisa e contextualizada dos valores imobiliários.

Além disso, o uso de tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado cada vez mais relevante na avaliação de terras. Os SIGs permitem a análise integrada de múltiplos fatores espaciais e a criação de modelos que facilitam a determinação do valor da terra com maior precisão (DROJ; KWARTNIK-PRUC; DROJ, 2024). A integração de dados espaciais no informações geográficas e características de uso da terra em SIGs pode aumentar significativamente a precisão das avaliações de terras rurais (BENCURE et al., 2019).

Em relação a divisão de terras, ou parcelamento rural, refere-se ao processo de subdivisão de uma propriedade rural em glebas menores, cada uma com uma finalidade específica ou para facilitar a gestão e a comercialização. Este processo

pode ser motivado por diversos fatores, incluindo heranças, vendas, ou a necessidade de otimização do uso da terra para diferentes atividades agrícolas ou pecuárias (BORGES, 2013)

O processo de divisão de terras deve considerar aspectos legais, como a legislação agrária e ambiental, além de critérios técnicos relacionados à viabilidade de uso da terra, potencial produtivo e conservação de recursos naturais. A literatura destaca que a divisão inadequada de terras pode levar a uma fragmentação excessiva, resultando em propriedades inviáveis economicamente e em danos ao meio ambiente devido ao uso inadequado do solo e à perda de biodiversidade (MEYER; TURNER II, 1994).

A avaliação e divisão de terras em imóveis rurais enfrentam diversos desafios, incluindo a necessidade de dados precisos e atualizados, a complexidade dos fatores envolvidos, e as restrições legais e ambientais. Além disso, o uso crescente de tecnologias avançadas, como SIGs e técnicas de análise multicritério, exige um alto nível de experiência técnica e um bom entendimento das dinâmicas locais (GENELETTI, 2019)

Estudos recentes têm enfatizado a importância de uma abordagem integrada que combine aspectos econômicos, sociais, ambientais e legais para a avaliação e divisão de terras. A abordagem integrada permite uma melhor gestão e uso das terras, contribuindo para a sustentabilidade das áreas rurais e para a segurança alimentar (FRESCO et al., 1992). No entanto, ainda há uma necessidade significativa de pesquisas adicionais para desenvolver métodos mais robustos e ferramentas mais acessíveis que possam ser aplicadas em diferentes contextos rurais.

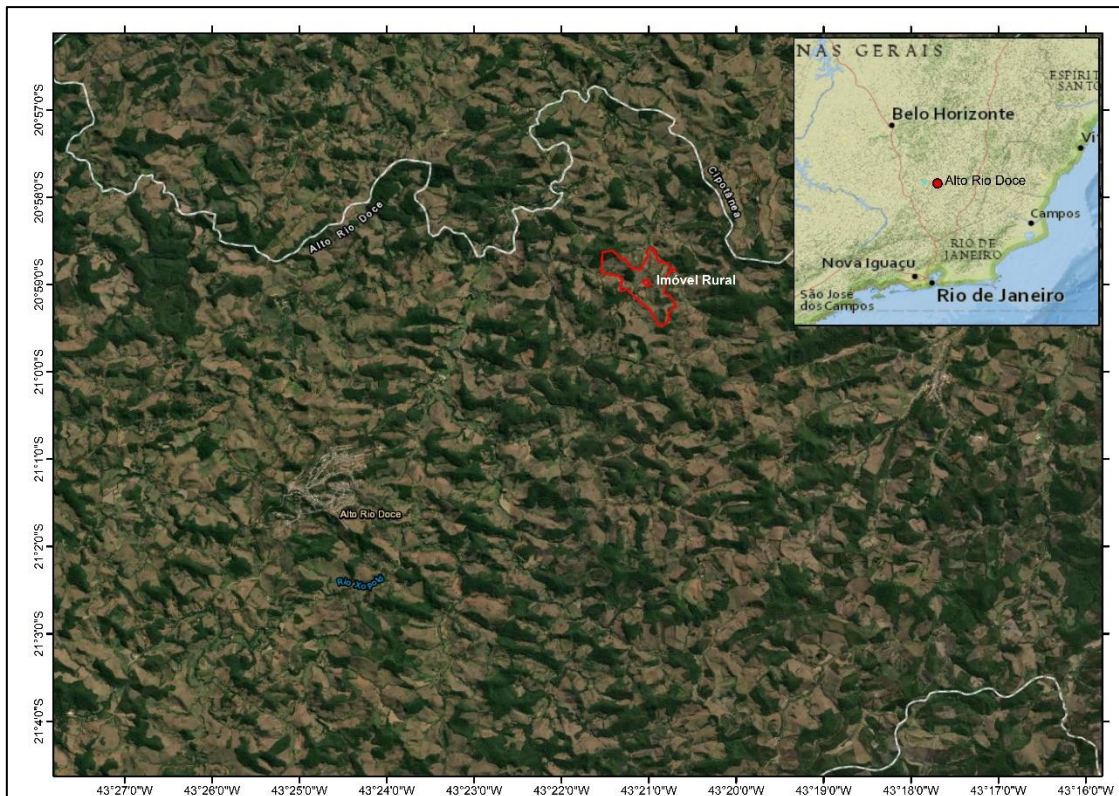
A análise multicritério pode ampliar a capacidade de modelagem da influência geográfica no valor dos imóveis (COMINO, et al., 2014). Por meio dessa técnica é possível construir um modelo com diversas variáveis de localização mais robustas, nas quais a influência de diferentes fatores individuais pode ser mensurada de forma conjunta e com mais eficiência que nos métodos tradicionais de avaliação e assim melhorar as estimativas de avaliação (DUARTE, 2014).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Área de Estudo

A área de estudo é um imóvel rural localizado no município de Alto Rio Doce, Minas Gerais nas proximidades do paralelo $20^{\circ}59'5''$ sul e no meridiano $43^{\circ}21'0''$ oeste, com altitude máxima de 874 e mínima de 716 m (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no município de Alto Rio Doce.



Fonte: Autor

6.2. Coleta de Dados

O perímetro do imóvel rural foi levantado utilizando o método *Real-Time Kinematic* (RTK) com o receptor GNSS, especificamente o modelo Stonex 850 A. O levantamento com RTK proporciona alta precisão na determinação das coordenadas geográficas, garantindo a alta precisão dos limites do imóvel. O levantamento foi realizado pelo próprio autor conforme as conformidades com as normas técnicas vigentes do INCRA.

Além do levantamento do limite do imóvel, também foi realizado um levantamento aéreo utilizando uma aeronave remotamente pilotada (ARP) da fabricante DJI, modelo Phantom 4 Pro. Este levantamento permite a obtenção de imagens de alta resolução da área de estudo, que foram utilizadas para a geração de mapas de uso do solo, modelo digital do terreno, hidrografia, estradas e outras características topográficas. O plano de voo foi executado no aplicativo Map Pilot, com os parâmetros definidos da área de cobertura, altitude e sobreposição das imagens.

Neste levantamento aerofotogramétrico, foram distribuídos pontos de controle no solo para garantir a alta precisão geográfica das imagens aéreas e dos produtos cartográficos resultantes. Esses pontos foram fisicamente marcados no terreno, e suas coordenadas foram coletadas com precisão elevada, utilizando o receptor GNSS RTK, modelo Stonex 850 A. A inclusão dos pontos de controle em solo (PCS) é fundamental para o georreferenciamento das imagens aéreas, assegurando que os dados capturados pela aeronave estejam corretamente alinhados com as coordenadas geográficas reais da área de estudo (Figura 2).

Figura 2 - Levantamento com GNSS RTK e Ponto de controle sinalizado em solo.




Fonte: autor.

6.3. Base de dados espacial

A base de dados digital foi processada para ser utilizada na plataforma do Sistema de Informação Geográfica (SIG). No SIG, esses mapas, em estrutura topológica, podem ser manipulados para sobreposições, análises espaciais e relações de vizinhança.

O processamento da base RTK foi realizado utilizando o serviço de Posicionamento Preciso Ponto a Ponto (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que permite calcular as coordenadas de alta precisão de pontos geodésicos. O serviço PPP processa os dados GNSS com correções adicionais, como efemérides e correções de órbita e relógio, que aumentam a precisão e confiabilidade dos pontos de controle coletados em campo (Figura 3).

Figura 3 - Processamento do ponto preciso (PPP) do serviço do IBGE.

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)						
Sumário do Processamento do marco: GERA						
Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2021/05/22 16:33:45,00					
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2021/05/22 20:45:55,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	STXS700A NONE					
Órbitas dos satélites:¹	FINAL					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	5,00					
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000					
Sigma da portadora(m):	0,010					
Altura da Antena³(m):	1,790					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,60 GPS 1,75 GLONASS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,86 GPS 0,99 GLONASS					
Coordenadas SIRGAS						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada)⁴	-20° 59' 04,6481"	-43° 21' 00,7438"	756,89	7678669.628	671496.363	-45
Na data do levantamento⁵	-20° 59' 04,6399"	-43° 21' 00,7461"	756,89	7678669.881	671496.299	-45
Sigma(95%)⁶ (m)	0,001	0,004	0,007			

Fonte: autor.

As imagens capturadas pela aeronave foram processadas no *Agisoft Metashape* (AGISOFT, 2020), um *software* específico de fotogrametria que permite a criação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e ortomosaico georreferenciado (Figura 4).

Figura 4 - Ortomosaico processado com ponto de controle sinalizado no solo.

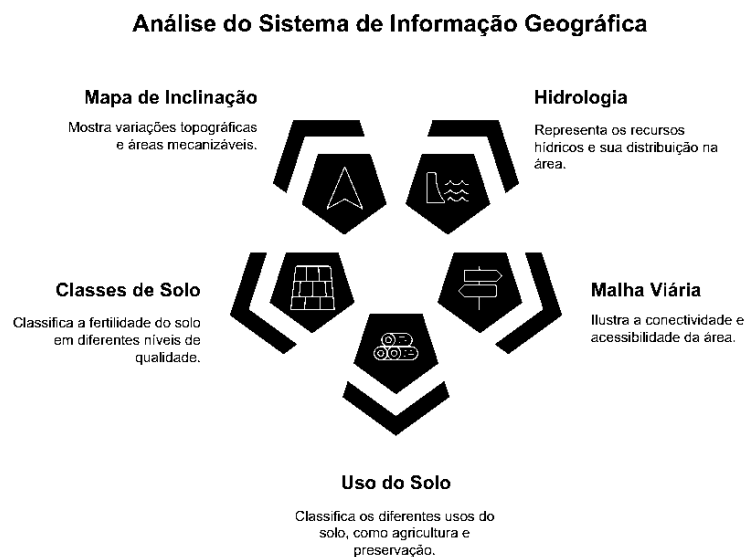


Fonte: autor.

Após o processamento da nuvem densa de pontos, geração do ortomosaico e do Modelo Digital de Terreno (MDT), os produtos cartográficos foram importados para o ArcMap (ArcGIS).

A partir da coleta e processamento dos dados, foram vetorizados os elementos relevantes sobre o ortomosaico da área de estudo. O banco de dados gerado incluiu informações detalhadas sobre a hidrografia, a malha viária, a classificação do uso do solo, classes de solo e mapa de inclinação (Figura 5).

Figura 5 - Critérios utilizados na composição do valor da terra.



Fonte: Autor.

O mapa de inclinação do terreno foi gerado a partir do MDT, os valores de inclinação representam as variações topográficas e permite identificar, por exemplo, áreas favoráveis à mecanização.

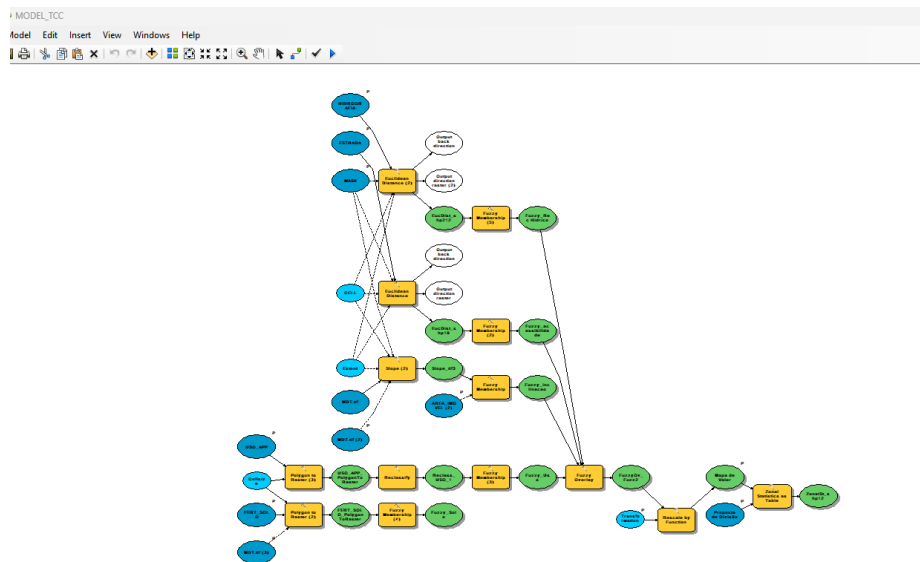
Para avaliar a disponibilidade hídrica, foi elaborado um mapa que ilustra a distância euclidiana até os recursos hídricos na área. A acessibilidade aos recursos hídricos é um fator essencial para as atividades agrícolas, irrigação e pecuária.

A classificação do uso do solo foi realizada em categorias numeradas, considerando os critérios de valor relativo de cada uso, tais como: benfeitorias, Áreas de Preservação Permanente (APP), vegetação nativa, lavouras, pastagens e estradas. As classes de maior valor representam aquelas áreas que possuem maior valor financeiro. Essa classificação proporciona uma representação clara das diversas utilizações da propriedade no contexto atual.

Além disso, as classes de solo foram categorizadas em cinco níveis de fertilidade: ruim, regular, média, boa e ótima. Essa classificação foi feita de acordo com histórico de manejo do solo e das áreas de cultivo das áreas.

Todo o processo de análise espacial foi modelado utilizando o *Model Builder* no ArcGIS (ESRI, 2019). Essa ferramenta permite criar fluxos de trabalho automatizados e visualmente representados. Com isso, foi possível organizar e encadear as operações de padronização, atribuição de pesos, combinação dos fatores e aplicação de restrições em uma sequência lógica e replicável. Cada etapa do modelo, desde a entrada das camadas de critérios e fatores até a geração do mapa final de adequabilidade, foi estruturada para garantir consistência e eficiência na análise. Esse modelo facilitou ajustes rápidos e a reexecução do processo, assegurando a flexibilidade e a integridade da metodologia de sobreposição multicritério aplicada. O tamanho das células do *raster* foram padronizadas no tamanho 1x1 m.

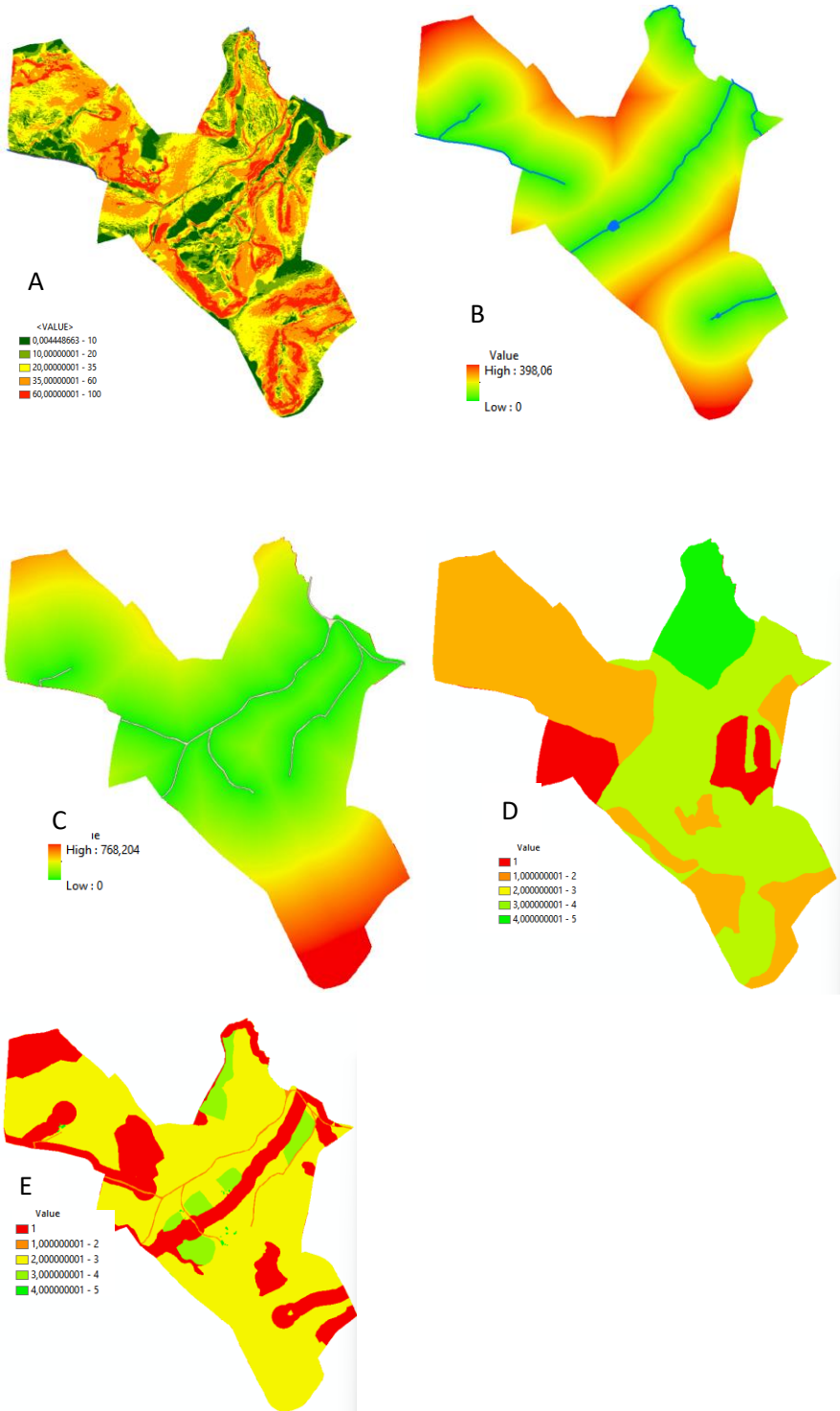
Figura 6 – Fluxograma de análise espacial foi desenvolvido no *Model Builder*



Fonte: autor.

Os mapas de adequabilidade gerados para cada fator utilizado como entrada na análise multicritério. Os fatores incluem fertilidade do solo, uso e ocupação, inclinação do terreno, disponibilidade de recursos hídricos e acessibilidade. Cada mapa foi padronizado posteriormente na escala de 0 a 1, refletindo a adequação de cada célula espacial em relação ao critério específico (Figura 7).

Figura 7 - Critérios na composição do valor da terra: inclinação do terreno (A); Disponibilidade hídrica (B); Acessibilidade (C); Classe de solo (D) e uso e ocupação do solo (E).



Fonte: Autor.

6.5. Padronização dos Fatores

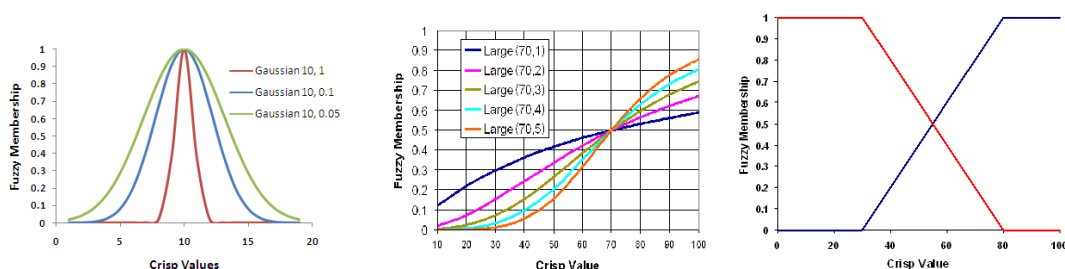
A padronização dos dados para a análise multicritério foi realizada utilizando conceitos da lógica *fuzzy*, que se baseia na ideia de que a categorização dos dados pode ser mais flexível e representativa do que a abordagem tradicional da lógica booleana. Essa etapa é essencial para garantir que todos os critérios sejam comparáveis e possam ser integrados de forma adequada na análise multicritério. Enquanto a lógica booleana se limita a classificações binárias (membro ou não membro), a lógica *fuzzy* permite uma graduação nas classificações, reconhecendo que muitos fenômenos não se enquadram perfeitamente em categorias discretas.

Neste trabalho, cada critério de análise recebeu um valor que reflete seu grau de adequação em relação aos critérios estabelecidos. Esses valores variam de 0 a 1, onde 0 indica que a área com menor adequabilidade e 1 indica que a área é plenamente adequada. Os valores intermediários representam graus variados de adequação, permitindo uma avaliação mais sutil.

A transformação dos valores foi realizada por meio de algoritmo de “fuzzificação”, ou seja, uma ferramenta de análise espacial utiliza funções *fuzzy* nos dados brutos para transformar os valores para o intervalo de 0 a 1. As funções de pertinência foram desenhadas com base no conhecimento prévio e nas características específicas das áreas em estudo, permitindo que a variabilidade dos dados fosse adequadamente refletida nos valores *fuzzy*.

A ferramenta *Fuzzy Membership* foi utilizada para realizar a transformações dos valores com operadores disponíveis na extensão *ArcGIS Spatial Analyst*. No entanto, a ferramenta *Fuzzy Membership* permite que transforme dados de entrada contínuas, porém os dados categóricos para entrada em sua análise *Fuzzy Overlay*, foi preciso transformar os dados para a escala de associação de 0 a 1 (Figura 8).

Figura 8 - Variações da função *fuzzy* utilizadas para padronização dos valores



Fonte: Autor.

6.6. Aplicação da Análise Multicritério

Uma vez padronizados os critérios no intervalo de valores de 0 a 1, os fatores foram combinados de acordo com a regra de decisão. Neste estudo, o procedimento de agregação foi realizado pela sobreposição multicritério utilizando a ferramenta *Fuzzy Overlay do Spatial Analys* do ArcGIS.

Esse método combinar os dados com base na análise da teoria de conjuntos. Cada método permite a exploração da associação de cada célula pertencente a vários critérios de entrada. A função de combinação utilizada foi do tipo *gamma*.

Cada abordagem fornece um aspecto diferente da associação de cada célula aos múltiplos critérios de entrada. Utilizando-se os fatores são combinados, em seguida aplicou-se um peso para cada um deles, seguido por uma adição dos resultados para ao fim, produzir um mapa síntese de adequabilidade (Equação 1), ou seja:

$$S = \sum W_i X_i \quad (1)$$

Onde: S = adequabilidade

W_i = peso do fator i

X_i = registro do critério para o fator i

Para restrição booleana, é necessário multiplicar a adequabilidade calculada dos fatores pelo produto das restrições (Equação 2), logo:

$$S = \sum W_i X_i * \prod c_j \quad (2)$$

Onde: c_j = registro do critério para a restrição j

\prod = produtório.

Após a combinação dos fatores, os valores resultantes foram reescalados por meio de uma função de reescala, padronizando-os para uma escala de valor financeiro. Esse ajuste foi feito com base nos valores de referência de terras nuas para o município, conforme dados fornecidos pela Receita Federal para o ano de 2024. Esse procedimento permitiu converter o índice de adequabilidade em uma representação monetária, oferecendo uma análise mais prática e aplicável para a avaliação de terrenos, refletindo o valor econômico das áreas conforme sua adequação. A padronização financeira acrescentou uma dimensão econômica à

análise, facilitando a interpretação dos resultados em termos de valor de mercado (Tabela 1).

TABELA 1 – VALORES DE TERRA NUA - EXERCÍCIO 2024

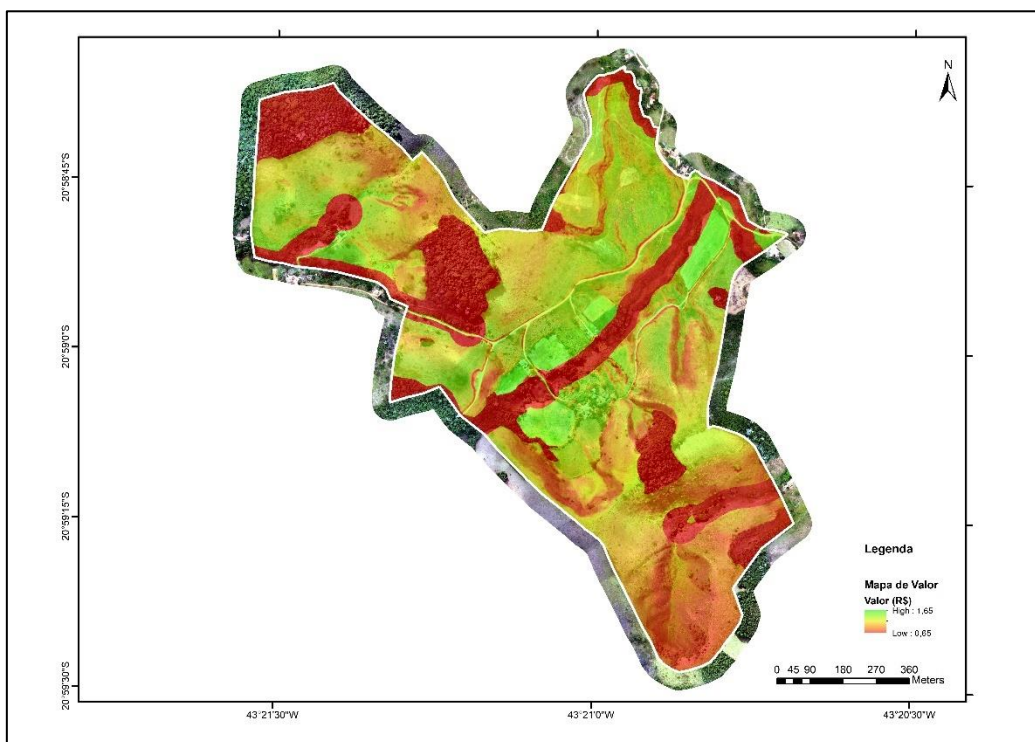
MINAS GERAIS - MG								
UF	Nome Município	Lavoura Aptidão Boa	Lavoura Aptidão Regular	Lavoura Aptidão Restrita	Pastagem Plantada	Silvicultura ou Pastagem Natural	Preservação da Fauna e da Flora	Fonte
MG	ABADIA DOS DOURADOS	R\$ 27.000,00	R\$ 21.500,00	R\$ 14.500,00	R\$ 12.500,00	R\$ 8.000,00	R\$ 5.500,00	2
MG	ABAETE	R\$ 5.700,00	R\$ 4.900,00	R\$ 4.300,00	R\$ 2.900,00	R\$ 2.300,00	R\$ 1.500,00	2
MG	ACAIACA	R\$ 18.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 13.000,00	R\$ 10.000,00	2
MG	ACUCENA	R\$ 21.500,00	R\$ 17.500,00	R\$ 13.500,00	R\$ 21.500,00	R\$ 17.500,00	R\$ 11.500,00	2
MG	AGUA BOA	R\$ 8.500,00	R\$ 8.000,00	R\$ 4.500,00	R\$ 7.500,00	R\$ 6.000,00	R\$ 800,00	2
MG	AGUA COMPRIDA	R\$ 21.971,00	R\$ 19.774,00	R\$ 18.007,00	R\$ 19.596,00	R\$ 19.326,00	R\$ 15.462,00	1
MG	AGUANIL	R\$ 15.700,00	R\$ 12.000,00	R\$ 9.300,00	R\$ 9.300,00	R\$ 8.000,00	R\$ 5.200,00	2
MG	AGUAS FORMOSAS	R\$ 7.208,00	R\$ 6.420,00	R\$ 5.629,00	R\$ 6.488,00	R\$ 4.325,00	R\$ 3.566,00	1
MG	AGUAS VERMELHAS	R\$ 3.600,00	R\$ 2.500,00	R\$ 1.400,00	R\$ 2.400,00	R\$ 1.700,00	R\$ 1.300,00	2
MG	ALAGOA	R\$ 12.000,00	R\$ 9.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 4.300,00	R\$ 3.200,00	2
MG	ALEM PARAIBA	R\$ 6.800,00	R\$ 5.700,00	R\$ 5.000,00	R\$ 4.800,00	R\$ 3.200,00	R\$ 2.400,00	2
MG	ALFENAS	R\$ 49.747,75	R\$ 39.798,20	R\$ 35.818,38	R\$ 32.336,04	R\$ 24.873,88	R\$ 19.899,10	1
MG	ALFREDO VASCONCELOS	R\$ 15.250,00	R\$ 10.500,00	R\$ 9.000,00	R\$ 10.500,00	R\$ 10.000,00	R\$ 7.000,00	2
MG	ALMENARA	R\$ 2.945,73	R\$ 2.422,63	R\$ 2.062,01	R\$ 2.945,73	R\$ 1.833,48	R\$ 1.604,95	2
MG	ALPERCATA	R\$ 10.330,00	R\$ 10.330,00	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 7.000,00	R\$ 6.500,00	2
MG	ALPINOPOLIS	R\$ 45.000,00	R\$ 40.000,00	R\$ 28.750,00	R\$ 22.500,00	R\$ 17.500,00	R\$ 6.000,00	2
MG	ALTEROSA	R\$ 31.320,00	R\$ 25.050,00	R\$ 20.928,00	R\$ 18.789,00	R\$ 15.657,00	R\$ 12.527,00	2
MG	ALTO JEQUITIBA	R\$ 28.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00	2
MG	ALTO RIO DOCE	R\$ 16.000,00	R\$ 14.500,00	R\$ 8.800,00	R\$ 11.000,00	R\$ 9.000,00	R\$ 6.500,00	2
MG	ALVARENGA	R\$ 11.398,00	R\$ 8.236,00	R\$ 4.128,00	R\$ 9.880,00	R\$ 4.410,00	R\$ 3.858,00	2
MG	ALVINOPOLIS	R\$ 15.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 4.500,00	R\$ 12.000,00	R\$ 6.500,00	R\$ 6.000,00	2
MG	ALVORADA DE MINAS	R\$ 10.500,00	R\$ 8.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 9.500,00	R\$ 6.700,00	R\$ 4.500,00	2
MG	AMPARO DA SERRA	R\$ 17.368,00	R\$ 14.700,00	R\$ 12.280,00	R\$ 12.013,00	R\$ 10.150,00	R\$ 5.000,00	2
MG	ANDRADAS	R\$ 29.889,17	R\$ 21.814,52	R\$ 12.871,38	R\$ 13.232,93	R\$ 13.160,62	R\$ 8.355,82	1
MG	ANDRELANDIA	R\$ 8.160,00	R\$ 6.524,00	R\$ 5.366,00	R\$ 6.065,00	R\$ 5.279,00	R\$ 3.632,00	2

Fonte: RECEITA FEDERAL, (2024)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise multicritério realizada no ambiente SIG resultou na categorização das áreas de um imóvel rural com base em critérios de fertilidade do solo, usos e ocupação, inclinação do terreno, disponibilidade de recursos hídricos e acessibilidade (estradas). A partir desses fatores, ajustados para uma escala *fuzzy*, foi gerado um mapa final que representa o valor monetário de área, ou seja, nos valores de célula do *raster* (Figura 9).

Figura 9 - Mapa do valor de terra dentro do imóvel rural



Fonte: Autor.

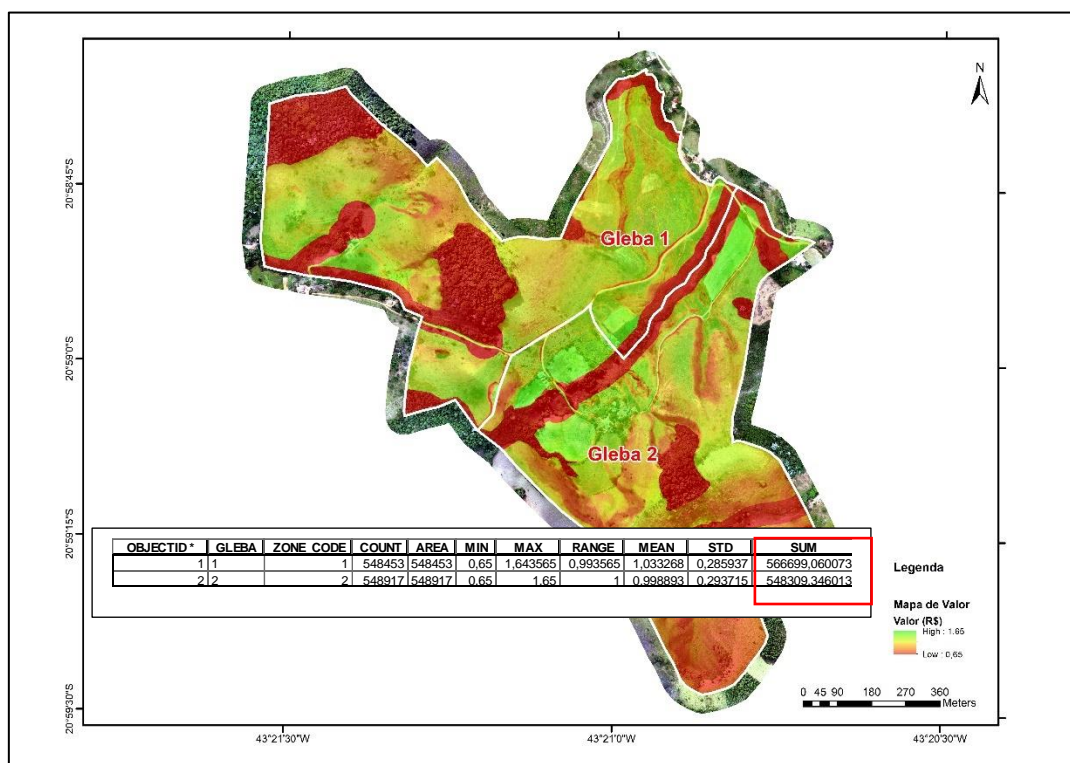
De acordo com os resultados, nota-se uma variação significativa no valor das áreas, com uma clara correlação entre todos os fatores de entrada. Isso sugere que solos mais produtivos, quando combinados com fácil acesso a estradas, têm um impacto positivo no valor de mercado do imóvel rural. Por outro lado, as áreas com menor acessibilidade e fertilidade baixa a regular apresentaram valores monetários inferiores, refletindo seu potencial produtivo reduzido. Em relação às áreas classificadas com níveis de fertilidade "boa" e "ótima", segundo a experiência dos proprietários no manejo e cultivo também receberam os valores mais altos no valor de terra.

O resultado apresentado em forma de mapa destaca como a metodologia de análise multicritério pode integrar diferentes fatores para produzir uma avaliação espacial que auxilia no planejamento e valorização de propriedades rurais. O mapa final serve como uma ferramenta estratégica, orientando a tomada de decisões quanto ao uso da terra, otimização de recursos, investimentos e avaliações e perícias.

Em uma abordagem de avaliação de terras em um estudo de caso, BENCURE et al., (2019) destaca importância de considerar diversos fatores na determinação do valor da terra, com ênfase no papel predominante do fator social, seguido dos fatores econômicos e físicos. Neste estudo realizado na Filipinas os aspectos legais e ambientais tiveram um menor peso na avaliação de terras.

Na Figura 10, é apresentado um mapa de uma possível divisão do imóvel considerando o critério de áreas iguais. Observa-se que o somatório do valor monetário da Gleba 1 foi de R\$ 566.699,06, enquanto da Gleba 2 foi de R\$ 548.309,34, resultando em uma diferença significativa de R\$ 18.389,72 entre as duas glebas. Esse contraste acentuado nos valores monetários evidencia a variação no potencial econômico das áreas, refletindo as diferenças nas características de do imóvel em divisão (Figura 10).

Figura 10 - Mapa do valor de terra em processo de divisão de glebas.



Fonte: Autor.

Esses resultados reforçam a importância da metodologia de análise multicritério aplicada no SIG, pois fornece uma ferramenta robusta para a avaliação e divisão de imóveis rurais, assegurando que as decisões sejam baseadas em dados mais consistentes. Em estudo semelhante também demonstrou que a técnica permitiu a integração de mapas de adequabilidade à valorização imobiliária para área dos imóveis de município (DUARTE et al., 2021).

A discrepância significativa entre os valores das glebas sugere que, em uma divisão equitativa com base apenas em tamanho, pode haver um descompasso econômico que não reflete o verdadeiro valor produtivo e potencial de cada área.

Portanto, o reconhecimento dessas diferenças valorativas é essencial para a realização de divisões mais justas e informadas. A análise do valor monetário permite que os proprietários e envolvidos considerem não apenas a dimensão das áreas, mas também seu potencial produtivo e acessibilidade, resultando em um planejamento mais eficiente e sustentável.

Em termos práticos, os resultados podem apoiar o desenvolvimento de políticas de manejo direcionadas, promover práticas de cultivo mais eficientes e contribuir para uma valorização mais justa dos imóveis rurais. Além disso, a utilização de critérios ambientais e de infraestrutura sugere uma abordagem replicável para outras propriedades rurais, ajustando os critérios de acordo com características regionais específicas.

A metodologia utilizada provou ser eficiente na geração de um mapa de valor monetário que reflete o potencial agrícola e de mercado da área. Essa aplicação destaca o valor da análise multicritério no SIG como uma ferramenta de suporte para o planejamento agrícola e de ordenamento territorial, considerando tanto aspectos econômicos quanto ambientais.

Outro ponto relevante é a aplicabilidade dessa metodologia no ambiente do SIG na viabilidade da criação de mapas de valor de terra, que podem ser fundamentais em processos de partilha e compra e venda de imóveis rurais.

A utilização desses mapas se destaca como uma metodologia mais segura e justa para engenheiros e profissionais envolvidos na avaliação e negociação de propriedades. Ao oferecer uma visão abrangente e baseada em dados dos diferentes fatores que influenciam o valor da terra, os mapas permitem que as partes interessadas tomem decisões mais informadas e transparentes. Isso é especialmente

importante em processos de partilha, onde a equidade na divisão de bens é crucial para evitar conflitos futuros.

Além disso, a implementação de uma abordagem fundamentada em dados pode aumentar a confiança entre os envolvidos nas transações, visto que todos têm acesso às mesmas informações e critérios utilizados na avaliação. Assim, os mapas de valor de terra não apenas facilitam a negociação, mas também podem ser utilizados para gestão territorial mais ampla e eficiente.

Portanto, é importante destacar que essa integração de tecnologias de SIG e análise multicritério no contexto da avaliação de imóveis rurais, proporcionando uma nova visão para a prática de engenheiros e profissionais do setor imobiliário.

6. CONCLUSÃO

O trabalho oferece uma contribuição significativa ao demonstrar como a combinação SIG e análise multicritério pode gerar avaliações mais precisas, justas e sustentáveis para a divisão de terras. A metodologia aplicada foi eficaz na criação de mapas de valor monetário, evidenciando as discrepâncias econômicas entre as glebas e sugerindo ajustes mais equitativos nas divisões territoriais. O uso do SIG e da análise multicritério permitiu uma avaliação mais detalhada e robusta, considerando os principais fatores influentes na avaliação dos imóveis, o que assegura uma tomada de decisão mais informada e eficiente no planejamento e gestão de propriedades rurais.

A metodologia empregada permitiu integrar diversos fatores, incluindo fertilidade do solo, usos e ocupação, inclinação do terreno, disponibilidade de recursos hídricos e acessibilidade em um modelo coerente que resultou na geração de um mapa com valor de terras.

Os resultados também demonstraram a disparidades significativas no processo de divisão entre as glebas, ressaltando a importância de considerar não apenas a dimensão das áreas, mas também seu potencial econômico. A diferença expressiva nos valores monetários das glebas evidencia a necessidade de abordagens mais sofisticadas e informadas na avaliação de propriedades rurais, evitando divisões que não reflitam a realidade do mercado e da capacidade produtiva do imóvel.

Em suma, a metodologia aplicada neste trabalho oferece uma nova possibilidade para dar mais segurança e eficiência nos processos de avaliação de

imóveis. A continuidade dessa pesquisa poderá ampliar outras pesquisas, aprimorando ainda mais as técnicas de avaliação e gestão de imóveis rurais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-1: Procedimentos gerais**. Rio de Janeiro: [s.n.].

ADEM ESMAIL, B.; GENELETTI, D. Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 9, 11 jan. 2018.

AGISOFT. **Agisoft Metashape Professional Edition**. , 2020. Disponível em: <<https://www.agisoft.com/>>. Acesso em: 29 nov. 2024

BARROS, V. L.; ARAÚJO, C. S.; PEREIRA, M. M. **Avaliação de Imóveis Rurais: Fundamentos e Práticas**. São Paulo: Editora Rural, 2015.

BENCURE, J. C. et al. Development of an Innovative Land Valuation Model (iLVM) for Mass Appraisal Application in Sub-Urban Areas Using AHP: An Integration of Theoretical and Practical Approaches. **Sustainability**, v. 11, n. 13, 2019.

BORGES, A. DE C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. São Paulo: Blucher, 2013. v. 1

BURGER, G.; GANGULY, A. A comparative study on the methods of land valuation. **Journal of Land Use Policy**, v. 19, n. 4, p. 341–352, 2014.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. **International journal of geographical information systems**, v. 5, n. 3, p. 321–339, 1 jan. 1991.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. **Environmental Management**, v. 28, n. 5, p. 611–621, 2001.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, p. 2471–2478, 2007.

DROBNE, S.; LISEC, A. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. **Informatica (Slovenia)**, v. 33, p. 459–474, 1 jan. 2009.

DROJ, G.; KWARTNIK-PRUC; DROJ, L. A Comprehensive Overview Regarding the Impact of GIS on Property Valuation. **International Journal of Geo-Information**, v. 13, n. 6, 2024.

DUARTE, D. C. DE O. et al. Análise Multicritério Aplicada à Determinação de Áreas de Adequabilidade à Valorização Imobiliária. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 516–529, 6 abr. 2021.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark University, 2006.

EMMERT, F. et al. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gerência de pavimentos em estradas florestais. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 81–94, 30 mar. 2010.

ESRI. **ArcGIS Desktop**. Redlands, Califórnia: Environmental Systems Research Institute, , 2019. Disponível em: <<https://www.esri.com/>>. Acesso em: 29 nov. 2024

FOLEY, J. D. et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. Boston: Addison-Wesley, 2010.

FRESCO, L. O. et al. **Land evaluation and farming systems analysis for land use planning**. Roma: FAO/ITC, 1992. Disponível em: <<https://edepot.wur.nl/297470>>. Acesso em: 29 nov. 2024.

GENELETTI, D. **Multicriteria Analysis for Environmental Decision-Making**. New York: Anthem Press, 2019.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. **GeoJournal**, v. 69, n. 4, p. 211–221, 2007.

JANKOWSKI, P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. **International journal of geographical information systems**, v. 9, n. 3, p. 251–273, 1 maio 1995.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, p. 611–622, 1999.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 14, n. 2, p. 173–184, 13 mar. 2000.

KUMAR, A.; RAMACHANDRAN, P. A. comparative study on the methods of land valuation. *Journal of Land Use Policy*,. **Journal of Land Use Policy**, v. 19, n. 4, p. 341–352, 2002.

LONGLEY, P. A. et al. **Geographic information Systems and Science**. 2 ed. ed. Chichester: Wiley, 2005.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision** . New York: John Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3–65, 2004a.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3–65, 2004b.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703–726, 1 ago. 2006.

MEYER, W. B.; TURNER II, B. L. Changes in land use and land cover: a global perspective. Em: **Global Land Use and Land Cover Change: Na Overview**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 3–10.

NICKERSON, C. et al. **Trends in U.S. Farmland values and Ownership**. Nebraska: [s.n.]. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2603&context=usdaarsfacpub>>. Acesso em: 29 nov. 2024.

RECEITA FEDERAL. **Valores de Terra Nua - 2024**. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos/vtn/vtn-2024-para-publicacao-4.pdf/view>>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1996.

VILAS BOAS, C. DE L. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios**. Dissertação—Brasília: Universidade de Brasília - UNB, 2006.