

Classificação do potencial agrícola de Couto de Magalhães de Minas utilizando ferramentas de geoprocessamento

Classification of the agricultural potential of Couto de Magalhães de Minas using geoprocessing tools

Josimar Rodrigues Oliveira

UFVJM

<https://orcid.org/0000-0002-5648-3713>

josimarodrigues@yahoo.com.br

Ricardo Siqueira da Silva

UFVJM

<https://orcid.org/0000-0003-1837-1339>

ricardo.siqueira@ufvjm.edu.br

Bárbara Oliveira de Moraes

IFNMG

<https://orcid.org/0000-0002-6089-7134>

bomoraes@gmail.com

Resumo

O avanço das geotecnologias e a maior acessibilidade a dados abertos podem contribuir para o planejamento urbano e rural, permitindo a adoção de políticas públicas mais assertivas que visem o crescimento e desenvolvimento socioeconômico municipal e regional. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi modelar o potencial agrícola do município de Couto de Magalhães de Minas, localizado no Alto Jequitinhonha. Inicialmente foi realizado o levantamento de base de dados de acesso gratuito, para seleção e aquisição de arquivos vetoriais e matriciais adequados para utilização no modelo proposto. Por meio de técnicas e ferramentas de geoprocessamento com uso do software QGIS 3.16.4 Hannover com GRASS 7.8.5 foram elaborados mapas temáticos das classes de solos, classes de relevo, erodibilidade dos solos, hipsometria, vegetação e uso e ocupação do solo, os quais deram origem ao mapa de potencial agrícola do município por meio das técnicas de Análise Hierárquica de Processos (AHP) e Combinação Linear Ponderada (CLP). A referida modelagem mostrou que 49% do território de Couto de Magalhães de Minas possui baixo potencial agrícola, 21% é inapto ao desenvolvimento de atividades agrícolas, enquanto que os potenciais alto e médio apresentaram, respectivamente, 15% cada.

Palavras-chave: mapeamento; agricultura familiar; solos; Jequitinhonha; QGIS.

Abstract

The advancement of geotechnologies and the increased availability of open-access geospatial data contribute significantly to urban and rural planning by enabling the formulation of more precise public policies aimed at fostering municipal and regional socioeconomic development. Within this context, the present study aimed to model the agricultural potential of the municipality of Couto de Magalhães de Minas, located in the Alto Jequitinhonha region. Initially, a survey of publicly available geospatial datasets was conducted to select and acquire appropriate vector and raster data suitable for integration into the proposed modeling framework. Using geoprocessing techniques and tools within QGIS 3.16.4 Hannover with GRASS GIS 7.8.5, thematic maps were generated for soil classes, topographic relief, soil erodibility, hypsometry, vegetation and land use/land

cover. These thematic layers were integrated using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Weighted Linear Combination (WLC) methods to derive the final agricultural potential map of the municipality. The resulting model indicated that 49% of the municipality's territory exhibits low agricultural potential, 21% is classified as unsuitable for agricultural development, while areas of high and moderate potential represent 15% each.

Keywords: mapping; family farming; soils; Jequitinhonha, QGIS.

1. Introdução

A exploração da terra, dos recursos naturais e a ocupação dos territórios para a sobrevivência, geração de renda e melhoria socioeconômica de famílias no Brasil é bastante complexa. Para cada região existem cenários e realidades distintas inseridas em meio a um determinado bioma característico. A crescente demanda pelos recursos naturais promove um cenário em que os diversos ecossistemas brasileiros vêm sofrendo uma grande degradação causada pela intensa exploração e falta de planejamento (Silva e Rosa, 2019). Para minimizar a situação apontada pelos autores ou mesmo criar ações para recuperação das degradações causadas pelo homem é relevante compreender como estes recursos naturais estão distribuídos pelo território, quais as suas características, particularidades e uso potencial.

Segundo Coura (2006), o Estado de Minas Gerais possui uma grande diversidade de fitofisionomias dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. Na mesorregião do Vale do Jequitinhonha, local onde foi realizado o presente estudo, ocorre Cerrado e Mata Atlântica. Áreas de Cerrado ocupadas desordenadamente e sem planejamento são suscetíveis a diversos problemas ambientais como a erosão dos solos; o assoreamento e poluição de nascentes e cursos hídricos; a perda de fauna e flora endêmicas (perda de biodiversidade) e perda da qualidade física, química e biológica dos solos. Nesse sentido, torna-se relevante a preservação e uso sustentável do território, conforme suas potencialidades.

O planejamento de atividades relacionadas à expansão urbana, agropecuária, áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, entre outras, deve ser realizado com base em estudos técnico-científicos da paisagem existente na localidade a ser explorada e seus respectivos atributos. Silva e Rosa (2019) destacam que para esse tipo de estudo a incorporação de metodologias de geoprocessamento é necessária e positiva para realizar mapeamentos com qualidade, utilizando-se aparelhos compatíveis e de baixo custo.

Nesse contexto, torna-se relevante mapear as características físico-naturais da região de interesse. De acordo com Lepsch et al. (2015), a interpretação do meio físico, para aplicações práticas consiste na previsão do seu comportamento quando submetido a determinados usos, estabelecida pela reunião, reorganização e apresentação de informações disponíveis. Alguns autores como Carneiro et al. (2017)

realizaram estudos do potencial agrícola com enfoque relacionado apenas às características e atributos de solos. No entanto, Ramalho Filho e Pereira (1999) destacam que a interpretação de um levantamento de solos pode levar a supor que este seja o único fator ambiental considerado, porém, o clima, a vegetação e a hidrologia também estão envolvidos.

Os termos “potencial” e “aptidão agrícola” são assumidos como sinônimos pelos especialistas da área. No entanto, o mesmo não ocorre para “capacidade de uso e ocupação” que também encontramos sendo utilizado por alguns pesquisadores com o mesmo significado dos dois termos anteriores. Lepsch et al. (2015) esclarece que o termo aptidão (potencial) agrícola deve ser atribuído para usos específicos da terra como lavoura ou pastagem, enquanto o termo capacidade de uso tem sentido mais amplo e refere-se às limitações que impedem ou dificultam determinadas atividades. Com a introdução de novas técnicas de geoprocessamento, a expansão e difusão dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) de uso gratuito e interface amigável, os mapas de aptidão agrícola de áreas específicas têm se tornado uma importante fonte de informação para diversos profissionais nos campos da agronomia, engenharias, gestão, geologia, meio ambiente, tecnologia, entre outras. Esses mapas podem ser aplicados no planejamento agrícola e na avaliação do uso das terras, permitindo apontar áreas com uso adequado, subutilizadas ou que suportariam uma atividade mais intensiva (Ramalho Filho e Beek, 1995; Valladares et al., 2007).

Portanto, informações genéricas que outrora eram obtidas por meio de mapas impressos com escalas em nível estadual ou nacional, agora podem ser refinadas ao nível de municípios ou mesmo de propriedades rurais, com o uso de técnicas de geoprocessamento. De acordo com Lorensini (2019), ferramentas como os SIGs podem auxiliar a realizar diversos tipos de avaliação e simulação ambiental, sem a necessidade de trabalho de campo com uma grande equipe, reduzindo custo, tempo e esforço em projetos de gestão territorial. Atualmente, muitas informações podem ser obtidas por meio de bases de dados geográficas de acesso público e gratuito e serem trabalhadas com técnicas específicas para obtenção de novas informações para um planejamento pontual ou para dar base a outros mapeamentos importantes a nível mais local. Motta et al. (2014) destacam que a avaliação do potencial agrícola deve, portanto, constituir uma etapa indispensável do zoneamento agrícola de uma região.

Como antecedentes, existem dois trabalhos de Carneiro et al. (2004) e Carneiro et al. (2006), que realizaram análises espaciais da mesorregião do Jequitinhonha com técnicas de geoprocessamento e mostram algumas potencialidades da região. O município de Couto de Magalhães de Minas é enquadrado na classe de municípios sem aptidão agrícola, destinado à preservação da fauna e da flora e representante de pequenas propriedades na região (Carneiro et al., 2004). No entanto, neste mesmo

estudo, os autores citam que Couto de Magalhães de Minas se destacava, na época, na produção de arroz, cana-de-açúcar e milho no Alto Jequitinhonha, com detentor da melhor aptidão climática para as culturas. Além disso, Carneiro et al. (2006) destacaram que as lavouras se encontravam limitadas a pequenas manchas de terras na região, enquanto as possibilidades de uso potencial indicavam alternativas de maior aproveitamento. No entanto, como as análises espaciais realizadas por esses autores são antigas e com escala de mapeamento pequena, as informações geradas são menos detalhadas do que a de uma abordagem da informação na escala municipal.

Nesse contexto, com o avanço das ferramentas de análise espacial ao longo de aproximadamente duas décadas após a publicação das referidas pesquisas, trabalhos que tratem do assunto a nível municipal nas regiões do Alto, Médio e Baixo Jequitinhonha devem ser incentivados, para avaliações mais precisas da realidade de cada município e suas potencialidades agrícolas. Esses trabalhos a nível municipal podem ser desenvolvidos com embasamento em novos mapeamentos, novos recursos de imageamento por satélite, aerofotogrametria e mesmo pelo aperfeiçoamento das informações já existentes por meio de levantamentos de campo.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi modelar o potencial agrícola do município de Couto de Magalhães de Minas, localizado no Alto Jequitinhonha. Os objetivos específicos foram: realizar o estudo e mapeamento de características físico-naturais do município; gerar classes de potencial agrícola, bem como determinar por meio de mapeamento quais as localidades que devem ser prioritariamente destinadas a preservação ambiental.

2. Material e métodos

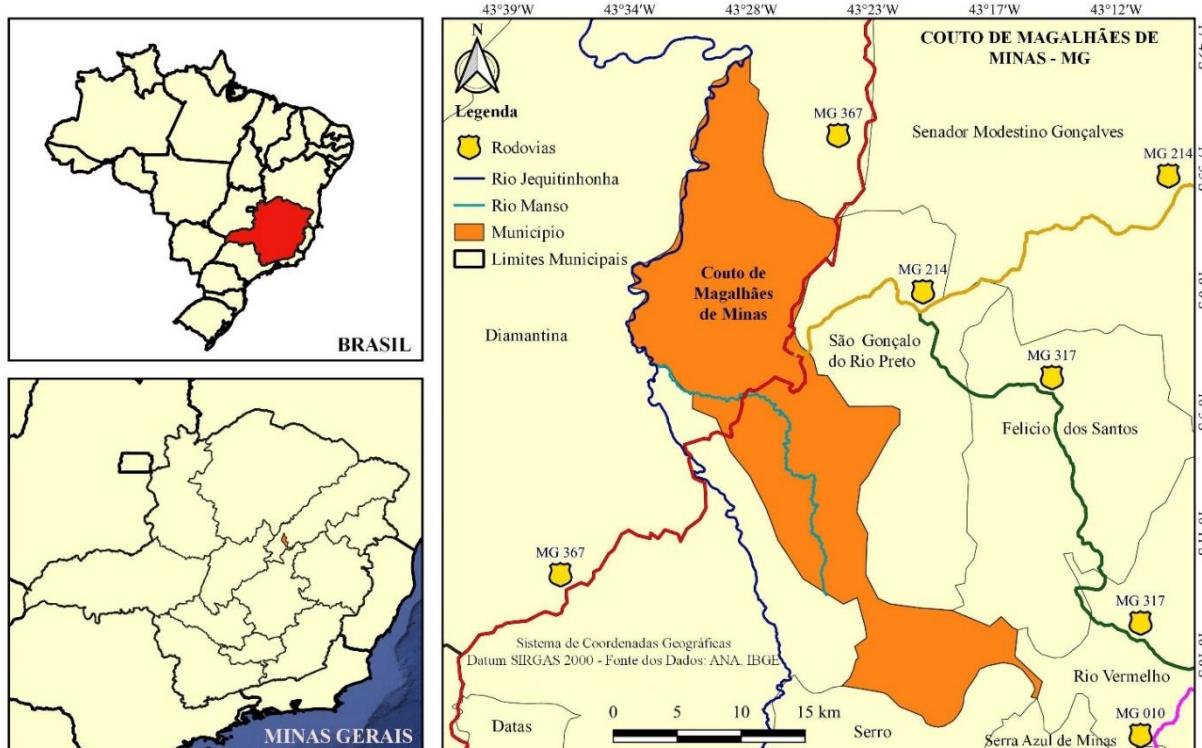
A presente pesquisa foi desenvolvida no ano de 2021, com enfoque no município de Couto de Magalhães de Minas, que está localizado no Alto Jequitinhonha, com sua sede nas coordenadas geográficas 18° 4' 25" S e 43° 28' 16" W e com área territorial de 485,654 km² (IBGE, 2020a). Faz limite com os municípios de Diamantina, São Gonçalo do Rio Preto, Senador Modestino Gonçalves, Felício dos Santos, Serra Azul de Minas, Rio Vermelho e Serro (Figura 1). A altitude média do município é de 726 m, possui clima tropical com inverno seco (Aw), conforme Köppen-Geiger (1928) e precipitação anual estimada de 1261,5 mm (Guimarães et al., 2010). Está inserido predominantemente no bioma Cerrado (Projeto MapBiomass, 2020).

A população estimada residente no município era de 4.423 habitantes (IBGE, 2020b) e o Índice de Desenvolvimento Humano era de 0,659 (PNUD, 2010) - considerado médio. A agricultura no município é predominantemente familiar, destinada ao consumo próprio com comércio do excedente em feiras livres. De acordo com dados do último Censo Agropecuário, o município de Couto de Magalhães de Minas tem 155 estabelecimentos rurais e 52% deles são enquadrados como agricultores

familiares, conforme requisitos estabelecidos pelo Art. 3º da Lei nº 11.326/2006 (IBGE, 2017a; Brasil, 2006).

A primeira etapa desta pesquisa consistiu na busca de informações da literatura e base de dados geográficos de acesso público e gratuito, que apresentavam informações atualizadas referentes às características físico-naturais do Estado de Minas Gerais, bem como materiais específicos referentes ao município de Couto de Magalhães de Minas.

Figura 1. Mapa de Localização do município de Couto de Magalhães de Minas, MG.



Fonte: IBGE (2020a), ANA (2017)

Foram selecionados dados vetoriais disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (2017), em escala de 1:100.000; do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Folha SE.23 – Belo Horizonte (IBGE, 2012a; IBGE, 2017b; IBGE, 2020a) e Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2019), ambos em escala de 1:250.000. Por meio destes dados vetoriais selecionados foram elaborados os mapas temáticos das classes de solos; erodibilidade; hidrografia, unidades de conservação ambiental e vegetação. Dados matriciais foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011) e da Coleção 5.0 do Projeto MapBiomass (2020). Desta maneira, os mapas de classes de relevo e hipsométrico do município de Couto de Magalhães de Minas foram elaborados por meio de Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) do Projeto Topodata - Folhas 17S43ZN, 17S45ZN, 18S43ZN e 18S45ZN, com resolução espacial de 30 m (INPE, 2011; Valeriano e Rossetti, 2011). As classes de relevo foram definidas pelas

faixas de declividade percentual, conforme metodologia de Santos et al. (2015). Por meio dos dados matriciais do Projeto MapBiomas (2020) obteve-se o recorte do uso e ocupação do solo para o município, em resolução espacial de 30 m.

Os mapas temáticos foram elaborados por meio de técnicas de geoprocessamento realizadas no Sistema de Informações Geográficas (SIG) denominado QGIS Desktop, versão 3.16.4 *Hannover* com GRASS 7.8.5 (QGIS D.T, 2021; GRASS D.T., 2021), caracterizado por ser um *software* livre multiplataforma, com código-fonte aberto e construção colaborativa. As camadas de dados utilizados que se encontravam em outros Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC) foram reprojetadas para trabalhar no EPSG 4674 – SIRGAS 2000 – Sistema de Coordenadas Geográficas e posteriormente, já na condição de mapas temáticos do município foram reprojetadas para trabalhar com o código EPSG 31983 – SIRGAS 2000 – Sistema de Coordenadas Planas UTM - Zona 23 S.

Os mapas temáticos selecionados para realizar o cruzamento de informações e gerar o mapa de potencial agrícola do município foram aqueles com dados vetoriais de classes de solos, erodibilidade e vegetação e os matriciais de classes de relevo, hipsometria e uso e ocupação do solo. Na tabela de atributos dos mapas temáticos qualitativos elaborados com dados vetoriais, foi criada uma coluna com nome de “potencial”, para que cada classe presente em cada um desses mapas fosse avaliada segundo seu potencial agrícola por meio da ordem arbitrária hierárquica, com valores normalizados de 0 a 1, conforme apresentado na Tabela 1.

Quanto mais próximo de 1, maior o potencial agrícola atribuído individualmente àquela característica/classe físico-natural. O mapa de uso e ocupação do solo, por se tratar de um dado qualitativo, foi vetorizado e classificado desta mesma maneira. Posteriormente, todos os mapas temáticos que se encontravam na forma de dado vetorial foram convertidos para matricial com base no dado normalizado que indica o potencial agrícola, com resolução espacial de 30 metros.

Os mapas temáticos com informações quantitativas (classes de relevo e hipsométrico) foram normalizados de 0 a 1 utilizando-se uma função *fuzzy linear* (Zadeh, 1965; Zadeh, 2015) por meio da calculadora *raster* do QGIS 3.16.4 *Hannover*, considerando-se a lógica de que quanto mais declivoso o terreno ou mais elevada seja a altitude, menor será o potencial agrícola pelas limitações físicas e climáticas do local. De acordo com Ometto (1981) existe uma redução de 0,6 °C para cada 100 metros de elevação da altitude. A referida normalização gerou novos mapas mantendo-se a resolução espacial de 30 metros. A resolução espacial padrão das camadas normalizadas foi definida com base na melhor resolução dos dados originais, uma vez que neste caso, o MDE utilizado para gerar as classes de relevo e a hipsometria, bem como o dado matricial de uso e ocupação do solo possuíam a resolução espacial de 30 m.

Por meio da Análise Hierárquica de Processos (AHP), desenvolvida por Saaty (1977) foi realizada uma análise multicritério cruzando as informações dos seis mapas temáticos selecionados para ser elaborada a matriz de comparação pareada com as ponderações de importância (pesos) para cada viável, conforme Tabela 2. Para as ponderações de importância utilizadas na matriz pareada foi utilizado a escala de 1 a 9, conforme Saaty (1980), sendo 1 de igual importância e 9 uma importância absolutamente maior para avaliação do potencial agrícola. O autovetor, que é o peso de cada parâmetro para estimar o potencial agrícola e produzir o mapeamento, foi calculado dividindo a soma dos valores de cada linha da matriz pelo valor total da soma de todas as linhas da matriz. A razão de consistência da matriz foi igual a 0,02889, portanto, os valores dos pesos foram adequados para modelar o potencial agrícola a nível municipal utilizando os referidos parâmetros.

Tabela 1. Pesos atribuídos a cada classe dos parâmetros qualitativos por meio de avaliação agronômica com método da ordem arbitrária hierárquica em valores normalizados entre 0 a 1

Parâmetro	Classe	Peso - Potencial Agrícola
Erodibilidade	Muito Alta	0,10
	Alta	0,20
	Média	0,50
	Muito Baixa	0,90
Solos	CXbd – Cambissolo Háplico Tb distrófico	0,30
	LVd – Latossolo Vermelho distrófico	0,80
	PVA – Argissolo Vermelho Amarelo	0,50
	PVd – Argissolo Vermelho distrófico	0,50
	PVe – Argissolo Vermelho eutrófico	0,80
	RLd – Neossolo Litólico distrófico	0,10
Uso e Ocupação do Solo	Área não vegetada	0,01
	Afloramento rochoso	0,01
	Formação Campestre	0,01
	Formação Florestal	0,50
	Formação Savânica	0,50
	Floresta Plantada	0,70
	Infraestrutura Urbana	0,01
	Mosaico de Agric. e Pastagem	0,60
	Pastagem	0,50
	Rios, lagoas e corpos hídricos	0,01
Vegetação	Ap – Pecuária (Pastagem)	0,50
	Fm – Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,10
	Iu – Influência Urbana	0,01
	Re – Florestamento/Reflorestamento com Eucalipto	0,70
	Sg – Savana Gramíneo-Lenhosa	0,10
	Sgf – Savana Gramíneo-Lenhosa com Floresta de Galeria	0,10
	Sgs - Savana Gramíneo-Lenhosa sem Floresta de Galeria	0,10

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2. Matriz de comparação pareada e autovetor calculado (peso de cada parâmetro) para avaliação do potencial agrícola de Couto de Magalhães de Minas

Parâmetros	Solo	Clas. Relevo	Hipsometria	Erodibilidade	Vegetação	Uso e Ocup.	Autovetor (Peso)
Solo	1	5	2	5	9	9	0,426
Clas. Relevo	1/5	1	1	2	3	5	0,168
Hipsometria	1/2	1	1	5	5	5	0,241
Erodibilidade	1/5	1/2	1/5	1	2	2	0,081
Vegetação	1/9	1/3	1/5	1/2	1	1	0,043
Uso e Ocup.	1/9	1/5	1/5	1/2	1	1	0,041
$\lambda_{\max} = 6,1804$				IC = 0,0361	IR = 1,25	RC = 0,0289	

λ_{\max} = Lambda máximo; IC = Índice de Consistência; IR = Índice Randômico e RC = Razão de Consistência.

Fonte: Elaboração própria.

Com as camadas todas em formato matricial, na mesma resolução espacial e em um sistema de projeção plano (UTM), o mapa de Potencial Agrícola de Couto de Magalhães de Minas foi gerado por meio do método da Combinação Linear Ponderada, usando-se a Equação 1 na calculadora *raster* do QGIS:

$$\text{Potencial Agrícola} = ("Solos" * 0,426) + ("Hipsometria" * 0,241) + ("Relevo" * 0,168) + ("Erodibilidade" * 0,081) + ("Vegetação" * 0,043) + ("Uso" * 0,041) \quad (1)$$

Após a geração do mapa com a aplicação da combinação linear ponderada, utilizou-se a função *r.recode* do GRASS 7.8.5, para reclassificar o potencial agrícola em quatro classes, sendo elas: Inapta (0 a 0,3003); Baixo (0,3004 a 0,4780); Médio (0,4781 a 0,6556) e Alto ($> 0,6556$). Os cálculos de área foram realizados por meio da função *r.report* do GRASS 7.8.5.

3. Resultados e discussões

As classes de solos existentes no município de Couto de Magalhães de Minas são apresentadas na Figura 2 (esquerda), onde pode-se observar que os sete principais tipos de solo existentes no município se resumem em quatro ordens predominantes, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e Manual Técnico de Pedologia (Santos et al., 2018; IBGE, 2015). Portanto, o território do município é formado por cerca de 63,40% de Neossolos (RLd36 e RLd38); 15,50% de

Latossolo (LVd31); 12,30% de Cambissolo (CXbd54) e 8,80% de Argissolos (PVAd17; PVd3 e PVe9).

Embora indiquem a predominância, não significa que há apenas aquele determinado tipo de solo na região mapeada, existem associações e inclusões que não aparecem cartograficamente. Portanto, a tabela de atributos dos dados vetoriais de pedologia indica que nas regiões de Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd54) ocorrem também manchas de Neossolo Litólico Distrófico (RLd) e Latossolo Vermelho Alumínico (LVa). Nesta região há predominância de solos de textura média a argilosa, podendo ocorrer ou não a presença de cascalho.

Nas áreas com predominância de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd31) também ocorrem áreas com a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico (LVAa) e Cambissolo Háplico Tb (CXb), com classe textural variando de argilosa a muito argilosa nesta região. Em regiões com predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd17), a classe textural varia de média a argilosa com ou sem a presença de cascalho e ainda se encontram nestas regiões manchas de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) e CXb. Na região de Argissolo Vermelho distrófico (PVd3) também são encontradas algumas áreas onde a classe passa a ser eutrófica (PVe) e também se encontra a presença de CX, LVa e LVAd, com classes texturais que vão de média, argilosa a muito argilosa. A região onde encontra-se a predominância de Argissolos Vermelhos Eutróficos (PVe9) cobre apenas 0,43 % do município, próximo ao Rio Jequitinhonha e devido a isso, além da ocorrência de outros Argissolos associados também são observados nesta área manchas de Gleissolo Háplico Tb Distrófico (GXbd) e Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve). Nesta região, as classes texturais variam de média a argilosa, podendo ocorrer ou não a presença de cascalhos.

Por fim, temos as classes mais representativas de solos do município que são os Neossolos Litólicos Distróficos – RLd. Tanto nas regiões identificadas como RLd36 quanto aquelas identificadas como RLd38 são observadas a ocorrência de associações ou inclusões de CXbd, PVAd e LVd, porém, na primeira classe de solos (RLd36) as classes texturais predominantes são arenosas e médias, enquanto na segunda já há a ocorrência de algumas áreas que já se encaixam em textura argilosa. Todas estas informações apresentadas foram compiladas de IBGE (2017b) por meio da tabela de atributos dos dados e trazem informações refinadas para o município. Em outras bases de dados pesquisadas, como o Mapa de Solos do Brasil elaborado pela Embrapa (2011), praticamente toda a área do município é enquadrada como de ocorrência de afloramentos de rocha e Neossolo Litólico, devido à pequena escala de mapeamento (1:5.000.000), ou seja, esse tipo de fonte de dado não se mostrava adequada para a obtenção da informação desejada, uma vez que pelo município ter

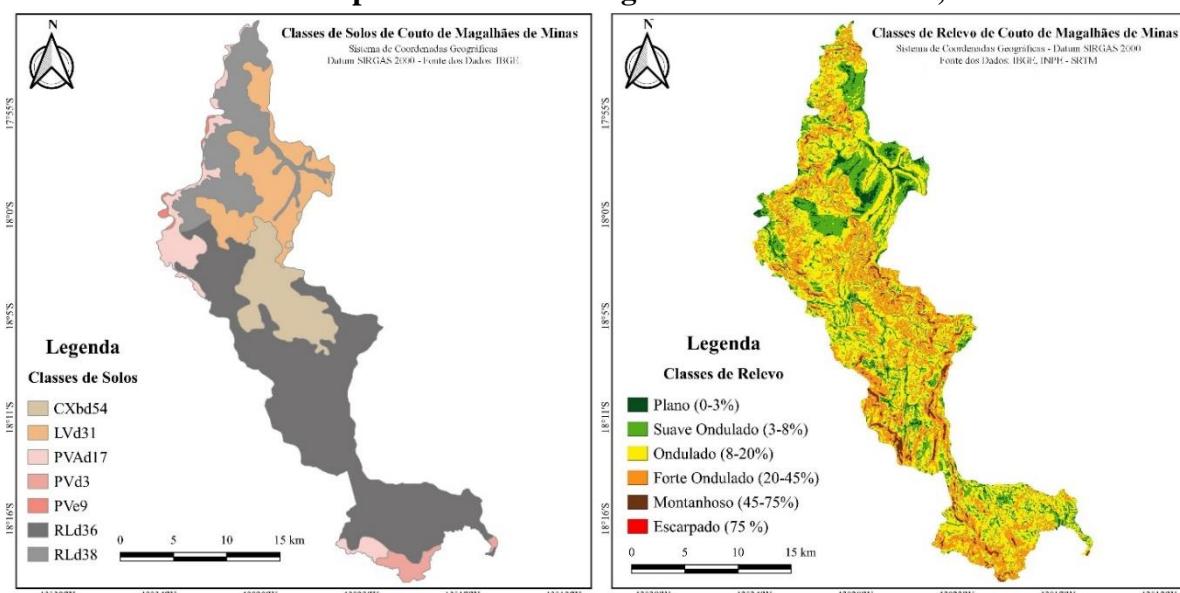
uma pequena extensão territorial a escala de mapeamento representava o mesmo como se existisse a ocorrência de apenas uma classe de solo.

Por outro lado, o mapeamento realizado por IBGE (2017b), com uma escala maior (1:250.000) nos permitiu fazer um recorte municipal (Figura 2 - esquerda) com informações mais próximas da realidade observada em Couto de Magalhães de Minas, porém, trabalhos de campo podem ser realizados para novos levantamentos a fim de refinar ainda mais estas informações por meio das técnicas de geoprocessamento. Complementarmente, por meio da primeira aproximação da estimativa de água disponível dos solos do Brasil foi possível levantar a disponibilidade de água para os solos predominantes em Couto de Magalhães de Minas, conforme Embrapa (2021): RLd36 (0,73 mm cm⁻¹); RLd38 (0,80 mm cm⁻¹); PVAd17 (1,01 mm cm⁻¹); CXbd54 (1,03 mm cm⁻¹); PVe9 (1,10 mm cm⁻¹); PVd3 (1,25 mm cm⁻¹) e LVd31 (1,26 mm cm⁻¹).

Quanto ao relevo, a Figura 2 (direita) mostra que de acordo com as avaliações realizadas por meio das técnicas de geoprocessamento foi possível obter a informação de que existem apenas 4,50% das áreas do município que se enquadram na classe de relevo plano, sendo que a maior parte das áreas estão distribuídas em três classes: suave ondulado (21,20%), ondulado (45%) e forte ondulado (26,40%). A classe de relevo montanhoso representa 2,80% enquanto o escarpado equivale a 0,10%.

Segundo Lepsch et al. (2015), o declive encontrado nas áreas com relevo classificados como plano a ondulado, por si só, não impede ou dificulta a mecanização agrícola. Portanto, o fator relevo começa a ser um limitante do potencial agrícola em áreas com declive maior do que 20%.

Figura 2. Mapas temáticos das classes de solos (esquerda) e classes de relevo (direita) do município de Couto de Magalhães de Minas - MG, 2021.



Fonte: IBGE (2020a), IBGE (2017b), INPE (2011), SRTM (2011)

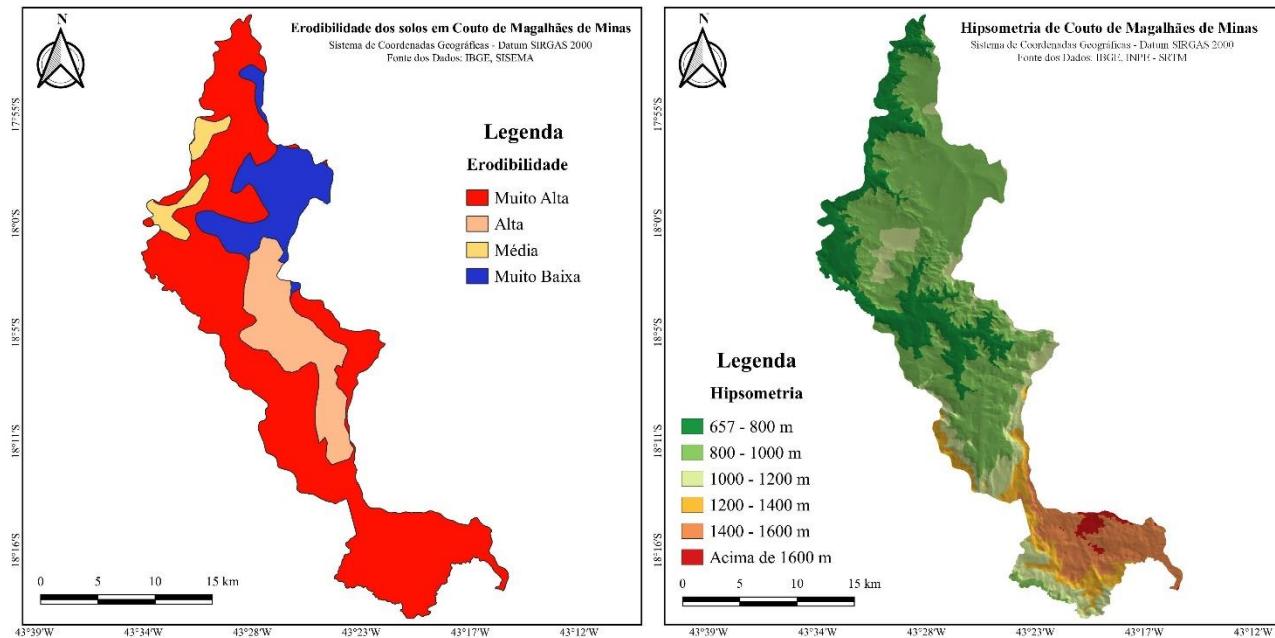
As características do solo, principalmente físicas, associadas ao tipo de relevo encontrado pelo município podem trazer informações importantes como o nível de erodibilidade do solo (Figura 3 - esquerda). Pode-se observar que a maior parte das áreas do município tem sua erodibilidade classificada como muito alta (68%), o que está associado à área de ocorrência predominante dos Neossolos Litólicos Distróficos e regiões com maior concentração de relevos variando entre ondulado ao forte ondulado.

Nas áreas onde existe maior predominância dos Cambissolos Háplicos Tb Distróficos nota-se uma classificação de erodibilidade alta, que corresponde a 15,20%, dado que são áreas onde há maior ocorrência de classes de relevo ondulado e montanhoso. As áreas cuja erodibilidade são classificadas como baixa (13%) e média (3,80%) são aquelas onde se observa a ocorrência predominante dos Argissolos e Latossolos, bem como a ocorrência de relevos que variam de plano ao suave ondulado.

O município de Couto de Magalhães de Minas apresenta uma altitude mínima de 657 metros e o ponto mais elevado possui 1661 metros em relação ao nível do mar, tais variações são apresentadas por meio do mapa hipsométrico (Figura 3 - direita). Aproximadamente 21% das áreas do município estão na faixa de altitude de 657 a 800 m e cerca de 4 % estão na faixa de 800 a 1000 m. Neste caso, nota-se que as características edáficas são mais limitantes do que fatores climáticos associados a altitudes mais elevadas.

Na Figura 4 (esquerda) é apresentado o mapa de vegetação, onde pode-se observar a predominância da vegetação do tipo Savana Gramíneo Lenhosa (Sg, Sgf e Sgs) que representa aproximadamente 75% da cobertura vegetal do município. Esse tipo de vegetação também é conhecido como Campo Limpo de Cerrado. Nesta fisionomia predomina gramíneas entre meio plantas lenhosas raquícticas, que ocupam extensas áreas com hemicriptófitos que, aos poucos, quando manejados através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídas por espécies com colmos subterrâneos resistentes ao pisoteio e ao fogo (IBGE, 2012b). A pequena área de Mata Atlântica (2% de acordo com dados do Projeto Mapbiomas, 2020) que ocorre na região sudeste do município próximo a Serro e Rio Vermelho está classificada como área de Florestamento (Re). Em relação à Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm), esta ocorre próximo ao leito do Rio Jequitinhonha, no município de Couto de Magalhães de Minas e corresponde a apenas 4% do território. São poucas as áreas ocupadas por esta formação estabelecida acima de 500 m de altitude (IBGE, 2012b).

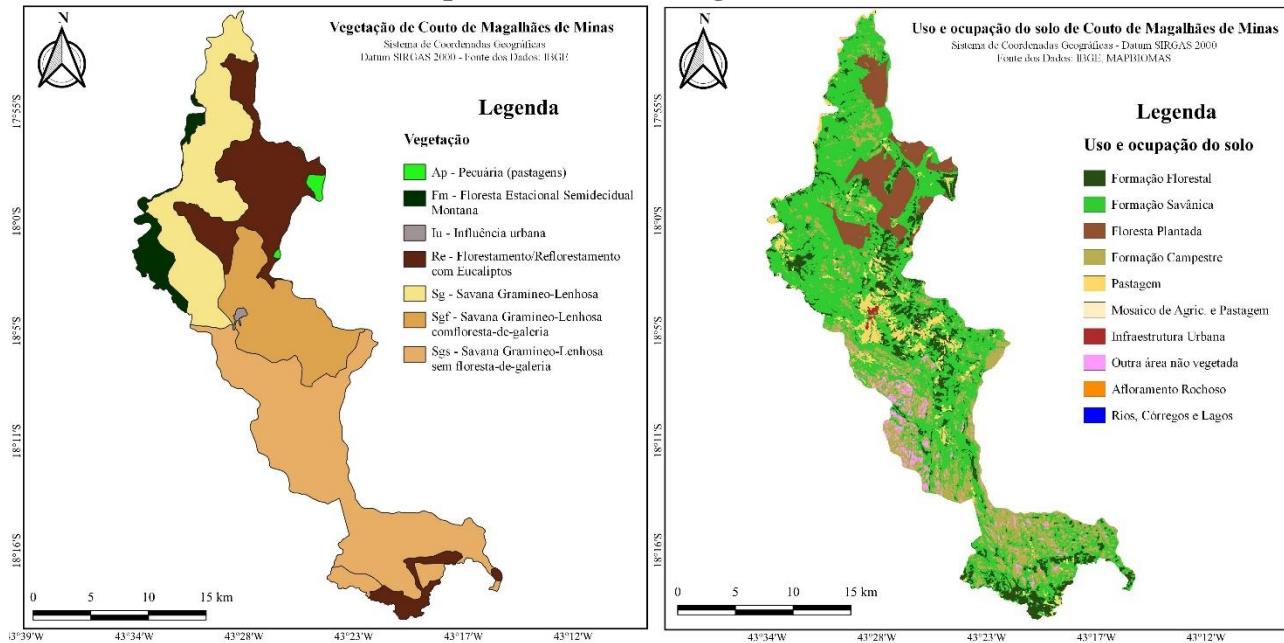
Figura 3. Mapas temáticos de erodibilidade (esquerda) e hipsometria (direita) do município de Couto de Magalhães de Minas - MG, 2021.



Fonte: IBGE (2020a), SISEMA (2019), INPE (2011), SRTM (2011)

As áreas classificadas como de Florestamento/Reflorestamento com Eucalipto no presente mapa corroboram com o mapeamento de uso e ocupação do solo (Figura 4 - direita) obtido por meio de recorte municipal dos dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomas (2020). Por meio da classificação de uso e ocupação do solo foi possível verificar que a soma das áreas com Formação Florestal e Formação Savântica correspondem a 64,50%; Formação Campestre aproximadamente 18% e Floresta Plantada (predominantemente eucalipto) ocupa cerca de 9% do território de Couto de Magalhães de Minas. As áreas de pastagens representadas por este mapeamento representam aproximadamente 6% do território e os demais tipos de uso e ocupação somados equivalem a 2,50%.

Figura 4. Mapas temáticos de tipos de vegetação (esquerda) e de uso e ocupação do solo (direita) do município de Couto de Magalhães de Minas - MG, 2021.



Fonte: IBGE (2020a), MAPBIOMAS (2020), IBGE (2012a).

Por meio de uma reinterpretação dos dados de uso e ocupação do solo, onde se considerou as áreas de Floresta Plantada, Pastagem, Mosaico de Agricultura e de Infraestrutura Urbana como uso antrópico, obteve-se área equivalente a 15% do território do município de Couto de Magalhães de Minas, portanto, este é um município em que 85% da sua paisagem ainda se encontra em estado natural. Muito dessa preservação da paisagem natural está relacionada com outros fatores físico-naturais como a ocorrência de afloramentos rochosos, relevos mais declivosos, entre outros. É importante ressaltar também que as áreas classificadas como paisagem natural, não significa que sejam a composição nativa original, existem áreas que podem ter ocorrido interferências antrópicas, como por exemplo o garimpo e após o término da atividade exploratória, a referida área tornou-se naturalmente revegetada ao longo dos anos.

Por fim, a primeira aproximação do potencial agrícola do município de Couto de Magalhães de Minas é apresentada por meio do mapa temático elaborado com utilização de metodologia de modelagem multicritério na Figura 5 (esquerda). De acordo com Barros et al. (2019) a utilização da metodologia multicritério é eficaz para classificar o potencial agrícola, uma vez que assegura a coerência dos julgamentos e gera resultados confiáveis.

Diferentemente de outros tipos de classificações de potencial agrícola encontrados na literatura, este trabalho limitou-se a criar como produto final um mapa subdividido em quatro classes simplificadas de potencial (baixo, médio, alto e inapto) com a utilização de fontes de dados

disponíveis gratuitamente e com uso de técnicas de geoprocessamento realizadas por meio de *software* livre.

A modelagem utilizada apontou que o município de Couto de Magalhães de Minas apresentava aproximadamente 49% do seu território classificado como de baixo potencial agrícola, 15% com médio potencial agrícola, 15% com alto potencial agrícola e 21% inapto a qualquer tipo de atividade agrícola (Figura 5 - esquerda). Nas regiões onde há predominância de altitudes mais elevadas (acima de 1200 metros) e que majoritariamente foram classificadas pelo modelo como inaptas a atividade agrícola, o município dispõe de três Unidades de Conservação de uso sustentável (Figura 5 - direita) e observa-se maior ocorrência dos relevos ondulado e montanhoso (Figura 2 - direita). A primeira Unidade de Conservação do município foi criada por meio do Decreto Estadual nº 39.399, de 21 de janeiro de 1998 sob a denominação de Águas Vertentes. Conforme Art. 1º da referida legislação ela abrange os municípios de Couto de Magalhães de Minas, Diamantina, Felício dos Santos, Rio Vermelho, Santo Antônio do Itambé, Serro e Serra Azul de Minas (Minas Gerais, 1998).

O Decreto Estadual ainda ressalta no seu Art. 2º a criação do parque visa, entre outros objetivos, promover atividades econômicas compatíveis com a qualidade ambiental desejável para a região e promover, desenvolver e ordenar o ecoturismo regional (Minas Gerais, 1998). A Área de Proteção Ambiental Estadual das Águas Vertentes abrange aproximadamente 8.300 hectares no município de Couto de Magalhães de Minas (equivale a 17% do município), preservando uma área de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica.

A segunda Unidade de Conservação denominada Área de Proteção Ambiental Municipal Rio Manso foi criada por meio da Lei Municipal nº 503, de 10 de novembro de 2001, com uma área de 8.933 hectares (Couto de Magalhães de Minas, 2001) em região com ocorrência do bioma Cerrado. A área delimitada pelo Poder Público para estabelecer a Unidade de Conservação Municipal equivale a pouco mais de 18% do território do município e observa-se por meio da Figura 5 que ela está ocupando área onde a modelagem classificou como predominantemente baixo potencial agrícola.

De acordo com o Art. 1º da legislação municipal a finalidade da criação desta unidade de conservação é a melhoria da qualidade de vida, proteção e preservação da fauna, flora e dos recursos hídricos, bem como promover o uso sustentável da área para as futuras gerações (Couto de Magalhães de Minas, 2001). A legislação municipal traz ainda como Anexo II o Zoneamento Ambiental (Ecológico Econômico) da Área de Proteção Ambiental Municipal Rio Manso, onde destaca que 2.333 hectares dentro desta localidade são propícios para uso agropecuário.

Mais recentemente houve o reconhecimento, mediante registro, como Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN, de interesse público e em caráter de perpetuidade, uma área de 452,9768

hectares, denominada RPPN “Raiz”. Esta é localizada nos municípios de Couto de Magalhães de Minas e São Gonçalo do Rio Preto, por meio da Portaria IEF nº 49, de 05 de junho de 2017 (Minas Gerais, 2017). Como a propriedade rural está no limite de dois municípios, a abrangência da RPPN “Raiz” no município de Couto de Magalhães de Minas é de aproximadamente 422 hectares e existe uma sobreposição parcial com a Área de Proteção Ambiental Municipal Rio Manso, como pode ser observado na Figura 5 - direita.

O artigo 2º da Portaria IEF nº 49/2017 destaca que a Reserva Particular do Patrimônio Natural é uma área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica (Minas Gerais, 2017). Essa RPPN também foi demarcada em região cuja modelagem classificou como baixo potencial agrícola com feições de áreas inaptas. Portanto, atualmente, o município de Couto de Magalhães de Minas possui, oficialmente, pouco mais de 35% do seu território ocupado por Unidades de Conservação de uso sustentável. A existência de Unidades de Conservação oficialmente demarcadas em região classificada como inapta ou de baixo potencial agrícola é um importante mecanismo de validação empírica da metodologia de modelagem utilizada, mostrando a sua coerência e precisão em distinguir áreas com potencial agrícola daquelas que devem ser prioritariamente conservadas, dando uma boa ferramenta de planejamento para gestores públicos municipais. É importante ressaltar que, quanto maior a escala dos dados vetoriais e quanto melhor a resolução espacial dos dados matriciais usados na álgebra de mapas, mais preciso será a representação cartográfica do potencial agrícola da região estudada.

Em termos de planejamento municipal nestas áreas classificadas como inaptas ou de baixo potencial agrícola, dado a existência de comunidades rurais dentro destas áreas, especialmente nas delimitações que são classificadas como áreas de proteção ambiental de uso sustentável, o Poder Público Municipal deve incentivar a geração de renda por meio de atividades de ecoturismo e turismo rural, investindo na manutenção de estradas vicinais e acesso aos principais atrativos naturais como cachoeiras, poços d’água, grutas, pinturas rupestres e outros atrativos que existem nessa região.

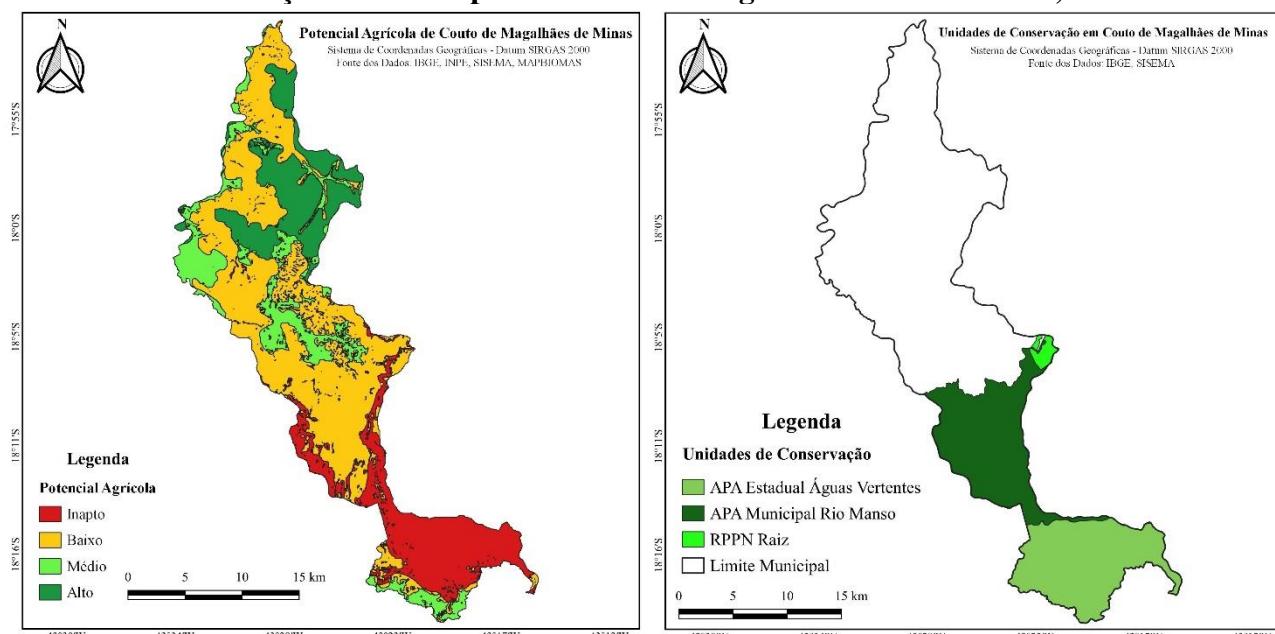
Deve-se ressaltar que o ecoturismo, turismo rural e atividades recreativas como caminhadas ecológicas, trilhas de ciclismo, camping, entre outras, devem ser desenvolvidas mediante um adequado planejamento e gestão realizado por meio de parceria com as comunidades rurais, Conselhos Consultivos das Áreas de Proteção Ambiental e o Poder Público Municipal, para que se tenha um monitoramento eficiente das atividades evitando que as pessoas que estão temporariamente naquele local causem algum tipo de degradação ou dano ao ambiente natural.

Como exemplo disso, podemos citar uma pesquisa desenvolvida por Kurimori (2018) no município de Capitólio-MG, reconhecido pelas suas belezas naturais que são um forte atrativo

turístico e gerador de renda para a região. De acordo com a autora, entre os principais impactos gerados pelos turistas está a degradação ambiental dos atrativos, o aumento no volume de lixo, o impacto físico nas trilhas, a lotação do número de pessoas nos atrativos naturais e o impacto na rede de esgoto, água, limpeza urbana e destinação dos resíduos sólidos inadequados (Kurimori, 2018).

Por outro lado, grande parte das áreas com melhor potencial agrícola em Couto de Magalhães de Minas (Figura 5 - esquerda), que coincide com a região de ocorrência dos Latossolos Vermelhos Distróficos, com relevo variando de plano a ondulado e classe de erodibilidade muito baixa encontram-se, atualmente, ocupadas com plantios de eucalipto comercial, corroborando com o apresentado nos mapas de vegetação e de uso e cobertura do solo.

Figura 5. Mapa de Potencial Agrícola (esquerda) e da delimitação das Unidades de Conservação no município de Couto de Magalhães de Minas - MG, 2021.



Fonte: IBGE (2020a), MAPBIOMAS (2020), SISEMA (2019), INPE (2011), SRTM (2011).

Somando as áreas com alto e médio potencial agrícola, tem-se uma parcela de 30% do município com maior potencial para o desenvolvimento de diversos tipos de culturas. A altitude destas áreas com melhor potencial agrícola varia de 657 a 1000 m. Dentro destas classes (alto e médio) seria possível o cultivo de plantas anuais de interesse econômico como feijão, milho, sorgo, soja, espécies olerícolas, bem como o cultivo de plantas perenes como banana, café, citros, goiaba, mandioca, manga, maracujá, urucum, entre outras. Há também a possibilidade de implementar pastagens e cultivos silvícios.

Nas áreas que foram classificadas como baixo potencial agrícola há predominância de solos rasos da classe dos Neossolos Litólicos com textura arenosa, podendo haver a presença de cascalhos e

afloramentos de rocha e maior presença da classe de relevo forte ondulado, que vai de 20 a 45% de declive. De acordo com Moura et al. (2007) áreas com declive acima de 15 a 20% inviabilizam a mecanização e de 30 a 40% pode ser utilizada a tração animal. No entanto, para condução de atividades agrícolas nestas áreas recomenda-se adotar técnicas para o controle da erosão e para conservação do solo e da água, considerando que esta região possui erodibilidade muito alta. Nestas localidades também há de se atentar para a demarcação de topos de morros como áreas de preservação permanente (APP), conforme regulamenta a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 – Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012).

Nestas áreas com baixo potencial agrícola também, além do uso de pastagens naturais em áreas de relevo menos inclinado, podem ser desenvolvidas atividades de extrativismo vegetal sustentável, para fins de geração de renda, devido à presença de espécies nativas da flora natural importantes para a economia local como o pequi (*Caryocar brasiliense*), panã (*Annona crassiflora*), mangaba (*Hancornia speciosa*), as diversas espécies de flores sempre-vivas, entre outras.

Estudos realizados em escala mesorregional classificaram algumas porções do município de Couto de Magalhães de Minas como terras com potencial que variam entre regulares a restritas para lavouras (Carneiro et al., 2004; Carneiro et al., 2006), que são aquelas classificadas como alto potencial por meio da presente modelagem. A maior parte do município era enquadrada pelos referidos autores como inapto para o desenvolvimento de atividades agrícolas (Carneiro et al., 2004; Carneiro et al., 2006). Por outro lado, no presente estudo de potencial agrícola realizado em escala municipal verificou-se que as áreas inaptas representam apenas 21% do território municipal e que nos dias de hoje já se encontram voltadas para a preservação da fauna e da flora por meio da criação oficial de Áreas de Proteção Ambiental.

Este trabalho limitou-se a realizar uma classificação de potencial agrícola simplificada, que pode dar apporte para outros tipos de classificação mais detalhadas ou para fins de zoneamento de culturas agrícolas específicas. Esta primeira aproximação do mapeamento de potencial agrícola do município de Couto de Magalhães de Minas também pode vir a ser mais refinada com a obtenção de novos dados com melhor resolução espacial, como a obtenção de imagens de satélite com resolução espacial menor que 30 metros ou com levantamentos de campo com uso de aeronaves remotamente pilotadas profissionais que tenham sistema GNSS e sensores RGB ou multiespectral.

4. Conclusão

As ferramentas e técnicas de geoprocessamento utilizadas neste trabalho para determinar o potencial agrícola do município de Couto de Magalhães de Minas foram eficientes e permitiu gerar

um mapeamento confiável, sendo que quanto melhor a resolução e mais refinada forem os dados primários utilizados para gerar, mais preciso e representativo será a modelagem.

Foi possível realizar o estudo e mapeamento das características físico-naturais do município e verificar que cerca de 30% de suas terras que tem condições adequadas para o desenvolvimento de atividades agrícolas (alto e médio potencial), onde podem ser implantadas culturas perenes diversas, espécies florestais, pastagens e culturas de ciclo curto, com uso de mecanização agrícola. Aproximadamente 49% das áreas do município possuem baixo potencial agrícola, podendo ser trabalhadas de maneira sustentável com uso de rigorosas técnicas de conservação do solo e da água e preferencialmente com uso para cultivo de plantas que tenham sistema radicular pouco profundo e pastagem natural.

Além disso, 21% do território do município foi classificado como inapto para o desenvolvimento de atividades agrícolas. Nas regiões onde já existe a delimitação de Unidades de Conservação, há predominância de terras com baixo potencial ou inaptas para atividades agrícolas, devendo ser prioritariamente conservadas e ter um planejamento dos Gestores Municipais junto às comunidades rurais existentes nestas localidades para que invistam prioritariamente em atividades sustentáveis de ecoturismo e turismo rural, como fonte alternativa de renda. A existência de Unidades de Conservação nestas áreas também mostraram-se um importante instrumento de validação da metodologia de modelagem, além das observações de campo.

Referências

ANA - Agência Nacional das Águas (2017). Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Jequitinhonha. Escala 1:100.000. Brasília.

Barros, A. C.; Tagliarini, F. S. N.; Garcia, Y. M.; Minhoni, R. T. A.; Barros, Z. X.; Zimback, C. R. L. (2019) Mapeamento da aptidão agrícola das terras por meio de análise multicritério. **Revista de Ciências Agrárias**, 42(2), p.295-304. <https://doi.org/10.19084/rca.17293>

Brasil (2006). Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006: Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF.

Brasil. (2012). Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário oficial da união**, Brasília, DF.

Carneiro, P. A. S.; Fontes, M. P. F.; Ker, J. C.; Fontes, R. (2004). Análise espacial de variáveis ambientais, agrícolas e tecnológicas na mesorregião do Jequitinhonha, como suporte ao planejamento regional. **Research Gate**. 2004. 25 p.

Carneiro, P. A. S.; Fontes, M. P. F.; Fontes, R. (2006) Proposição de políticas públicas de desenvolvimento regional do alto, médio e baixo Jequitinhonha (MG). **Caminhos de Geografia**, 14(17), p.147-166. <https://doi.org/10.14393/RCG71715279>

Carneiro, J. S. S.; Silva, D. B.; Leite, R. C.; Carline, J. V. G.; Machado Filho, G. C.; Lima, S. O. (2017). Agricultural potential of pasture land in southern Tocantins. **Journal of Bioenergy and Food Science**, 4(1), p.50-60. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.123>

Coura, S. M. C. (2006). Mapeamento de vegetação do Estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS. São José dos Campos: Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Couto de Magalhães de Minas (2001). Lei Municipal nº 503, de 10 de novembro de 2001: Cria a Área de Proteção Ambiental (APA) Rio Manso e define o seu Zoneamento Ambiental (Ecológico-Econômico), no Município de Couto de Magalhães de Minas. Câmara Municipal, Couto de Magalhães de Minas.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011). Arquivo vettorial *shapefile*, metadados e legenda do mapa de solos do Brasil 1:5.000.000. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2021). Estimativa de água disponível dos solos do Brasil (Primeira aproximação) 1:250.000. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Grass Development Team. (2021). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software Version 7.8.5. Open Source Geospatial Foundation. Electronic document.

Guimarães, D. P.; Reis, R. J.; Landau, E. C. (2010). Índices Pluviométricos em Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012a). Mapa de Vegetação da Folha SE.23 – Belo Horizonte 1:250.000. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012b). Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema Fitogeográfico, Inventário das Formações Florestais e Campestres, Técnicas e Manejo de Coleções Botânicas, Procedimentos para Mapeamentos. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Manual técnico de pedologia: guia prático de campo. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017a). Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017b). Carta Temática Vetorial 1:250.000 – Belo Horizonte SE.23 – Pedologia – Unidade de Mapeamento de Solo. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020a). Malha Municipal de Minas Gerais – Escala 1: 250.000. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020b). População estimada: Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020. Rio de Janeiro.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011). Modelo de Elevação Digital SRTM Topodata. São José dos Campos.

Köppen, W.; Geiger, R. (1928). Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm.

Kurimori, M. R. M. (2018). Análise dos impactos socioambientais do Turismo no município de Capitólio - MG. Universidade de São Paulo. Lorena.

Lepsch, I. F.; Espíndola, C. R.; Vischi Filho; O. J. Hernani, L. C.; Siqueira, D. S. (2015). Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa.

Lorensini, C. L. (2019). Metodologia para classificação da aptidão agrícola de municípios. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

Minas Gerais (1998). Decreto Nº 39.399, de 21 de janeiro de 1998: Dispõe sobre a criação de Área de Proteção Ambiental – APA no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembléia Legislativa de Minas Gerais. **Diário do Executivo**. Governo de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Minas Gerais (2017). Portaria IEF Nº 49, de 05 de junho de 2017: Reconhece como Reserva Particular do Patrimônio Natural, a RPPN “Raiz”, processo nº 14000000106/17 de 03/03/2017 de propriedade de Paulo de F. Ribeiro, localizada nos municípios de Couto de Magalhães de Minas e São Gonçalo do Rio Preto – Minas Gerais. **Diário do Executivo**. Governo de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Motta, P. E. F.; Pereira, N. R.; Carvalho Filho, A.; Áglia, M. L. D.; Souza, J. S. (2014). Avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Moura, W. M.; Pereira, A. A.; Lima, P. C.; Donzeles, S. M. L.; Caixeta, G. Z.; Costa, E. L.; Soares, S. F.; Santos, I. C.; Ribeiro, M. F.; Alvarenga, A. P.; Venzon, M. (2007). Café (*Coffea arábica* L.). Paula Júnior, T.J. de; Venzon, M. (Coord.). **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. EPAMIG. Belo Horizonte.

Ometto. J. C. (1981). Bioclimatologia vegetal. Agronômica Ceres. São Paulo.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2010). Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. IDHM 2010. Brasília, DF.

Projeto MapBiomas (2020). Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. São Paulo, SP.

QGIS Development Time. (2021). QGIS Geographic Information System, Version 3.16.4. Open Source Geospatial Foundation Project. Electronic Archive.

Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. (1995). Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Ramalho Filho, A.; Pereira, E. G. (1999). Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa. Brasília.

Santos, R. D.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C.; Shimizu, S. H. (2015). Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, 15(3), p.234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International.

Silva, A. S.; Rosa, R. (2019). Mapa de capacidade e potencial do uso da terra do município de Catalão-GO. **Caderno de Geografia**, 29(59), p.954-977. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29n59p954>

SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2019). Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. IDE-Sisema. Belo Horizonte.

Valladares, G. S.; Quartaroli, C. F.; Hott, M. C.; Miranda, E. E. de; Nunes, R. da S.; Klepker, D.; Lima, G. P. (2007). Mapeamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão. Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. (2011). Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, 32(2), p.300–309. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. **Information and Control**, 8(3), p.338-353.
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zadeh, L. A. (2015). Fuzzy logic: a personal perspective. **Fuzzy Sets and Systems**, 281, p. 4-20.
<https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.009>