

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



Carla Milena de Moura Laurentino

**MAPEAMENTO PRETÉRITO E PROGNÓSTICO DA EXPANSÃO URBANA
DE MONTES CLAROS/MG USANDO MACHINE LEARNING**

Uberlândia, 2024

Carla Milena de Moura Laurentino

**MAPEAMENTO PRETÉRITO E PROGNÓSTICO DA EXPANSÃO URBANA
DE MONTES CLAROS/MG USANDO MACHINE LEARNING**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo – UFU, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob orientação do Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias

Uberlândia, 2024

Dedico este trabalho a Deus, que me capacitou e honrou para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me proporcionado concluir essa nova etapa.

Agradeço a minha família – Mainha e Ana.

Ao meu orientador professor Dr. Claudionor Ribeiro pela orientação no período do mestrado.

Ao programa de Pós Graduação em Geografia da UFU.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de estudos.

Aos meus colegas do laboratório de Geoprocessamento (UNIMONTES).

MAPEAMENTO PRETÉRITO E PROGNÓSTICO DA EXPANSÃO URBANA DE MONTES CLAROS/MG USANDO MACHINE LEARNING

RESUMO

As cidades apresentaram crescimento constante nas últimas décadas, e é esperado que esse crescimento permaneça nos próximos anos. Por isso, há maior necessidade de acompanhar as alterações do uso e cobertura do solo, causadas pela expansão da mancha urbana. São essas alterações que causam impactos na qualidade de vida urbana, sobretudo a depender da condição social e a região da cidade onde se reside. As regiões de maior amenidade ambiental são ocupadas por uma população de maior poder aquisitivo, em contrapartida, a população pobre reside nas áreas mais distantes e com menores recursos urbanos. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar as mudanças de uso e cobertura do solo entre os anos de 1985 e 2020, com destaque para a área urbana e, desenvolver a simulação de crescimento urbano de Montes Claros para o ano de 2050. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite *Landsat 5*, *Landsat 8* e SRTM, que foram manipuladas e utilizadas para gerar variáveis no software Qgis 2.18. Para gerar o uso do solo, as amostras foram inseridas no classificador *Random Forest (RF)* no *software RStudio*. Em seguida, foi gerada a simulação de crescimento urbano, utilizando o modelo de autômatos celulares (CA) e *Artificial Neural Network (ANN)* no *plugin MOLUSCE* do *software Qgis*. Os resultados mostraram um crescimento constante da cidade de Montes Claros, entre os anos de 1985 e 2020, houve um acréscimo de 39,42 km² a classe urbana. E, na simulação para o ano de 2050, a cidade continua a crescer, cerca de 30,49 km². Ao gerar o uso do solo o modelo identificou as variáveis MDE, Infravermelho, NDVI e NDWI como as mais importantes para o bom desempenho da classificação. Assim, ao analisar todos os anos, isto é, de 1985 a 2050, é identificado um crescimento expressivo nas regiões urbanas localizadas nos sentidos leste e sul, onde se tem a presença da população de menor poder aquisitivo e de loteamentos populares. No período simulado, foi identificado uma expansão urbana em direção a Serra do Mel, área de proteção ambiental, no entanto, esse avanço urbano não infringe os limites legais. Logo, sobre essa área é esperado o aumento de condomínios fechados e casas de alto padrão, que já são desenvolvidos lá.

Palavras-chave: Crescimento urbano; Montes Claros; MOLUSCE; Autômatos celulares.

PAST AND PROGNOSTIC MAPPING OF THE URBAN EXPANSION OF MONTES CLAROS/MG USING MACHINE LEARNING

ABSTRACTS

Cities have shown steady growth in recent decades, and this growth is expected to continue in the coming years. Therefore, there is a greater need to monitor changes in land use and coverage, caused by the expansion of urban areas. It is these changes that cause impacts on the quality of urban life, especially depending on the social condition and the region of the city where one lives. The regions with greater environmental amenities are occupied by a population with greater purchasing power, on the other hand, the poor population resides in the most distant areas and with fewer urban resources. Therefore, this work aims to analyze changes in land use and coverage between the years 1985 and 2020, with emphasis on the urban area, and to develop the urban growth simulation of Montes Claros for the year 2050. To this end, Landsat 5, Landsat 8 and SRTM satellite images were used, which were manipulated and used to generate variables in the Qgis 2.18 software. To generate land use, the samples were inserted into the Random Forest (RF) classifier in the RStudio software. Then, the urban growth simulation was generated, using the cellular automata model (CA) and Artificial Neural Network (ANN) in the MOLUSCE plugin of the Qgis software. The results showed constant growth in the city of Montes Claros, between 1985 and 2020, there was an increase of 39.42 km² in the urban class. And, in the simulation for the year 2050, the city continues to grow, around 30.49 km². When generating land use, the model identified the variables MDE, Infrared, NDVI and NDWI as the most important for the good performance of the classification. Thus, when analyzing every year, that is, from 1985 to 2050, significant growth is identified in urban regions located in the east and south directions, where there is the presence of a population with lower purchasing power and popular subdivisions. In the simulated period, an urban expansion was identified towards Serra do Mel, an environmental protection area, however, this urban advance does not violate legal limits. Therefore, this area is expected to see an increase in gated communities and high-end homes, which are already being developed there.

Keywords: urban growth; Montes Claros; MOLUSCE; cellular automata.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Mapa de localização do município de Montes Claros/MG | 17 |
| Figura 2: A) Altitude; B) Declividade; C) Áreas verdes – Montes Claros/MG. | 18 |
| Figura 3: Fluxograma das etapas executadas. | 19 |
| Figura 4: Chave interpretação do uso e cobertura do solo de Montes Claros/MG. | 20 |
| Figura 5: Classificação do crescimento urbano e do uso e cobertura do solo de Montes Claros/ MG para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020 - modelo Random Forest. | 24 |
| Figura 6: Conversões de uso e cobertura do solo entre os anos de 1985 a 2020, em Montes Claros/MG. | 25 |
| Figura 7: Localização do município de Montes Claros/MG | 37 |
| Figura 8: Fluxograma das etapas executadas no estudo..... | 38 |
| Figura 9: Área urbana de montes claros para os anos de 2000, 2010 e 2020, obtida pelo algoritmo de classificação Random Forest. | 40 |
| Figura 10: Classificação real do uso e cobertura do solo (2020) e o dado simulado (2020) no MOLUSCE da área urbana de Montes Claros/MG. | 41 |
| Figura 11: Projeção de crescimento urbano para o ano de 2050 da área urbana de Montes Claros/MG. | 42 |
| Figura 12: Casas padronizadas no bairro independência, na região leste de Montes Claros/MG. | 43 |
| Figura 13: Casas de alto padrão no bairro Ibituruna, região sudoeste de Montes Claros/MG. | 44 |
| Figura 14: novo loteamento na região sul de Montes Claros/MG | 45 |

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Equações dos índices NDVI, NDBI E NDWI | 21 |
| Tabela 2: Coeficiente Kappa de Cohen | 22 |
| Tabela 3: Matriz de confusão - Random Forest para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2010 | 23 |
| Tabela 4: Área em km ² e percentual (%) do uso e cobertura do solo de Montes Claros/MG para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020. a área de estudo possui 348,76 km ² | 25 |

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANN – *Artificial Neural Network*
CA - Células Autômatos
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IFNMG – Instituto Federal do Norte de Minas Gerais
LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite
MDE - Modelo Digital de Elevação
NDBI – *Normalized Difference Built-Up Index*
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*
NDWI - *Normalized Difference Water Index*
OLI – Operational Land Imager
PIB – Produto Interno Bruto
RF – *Random Forest*
RIMC – Região Intermediária de Montes Claros
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TM – Thematic Mapper
UC - Unidades de Conservação
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UNIMONTES – Universidade Estadual de Montes Claros
USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1.INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2. OBJETIVOS..... | 14 |
| 2.1. Objetivo Geral | 14 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 14 |
| 3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 14 |
| 4. DESENVOLVIMENTO..... | 14 |
| 4.1. CAPÍTULO 1 - EXPANSÃO URBANA DE MONTES CLAROS/MG ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2020..... | 14 |
| 4.1.1. RESUMO..... | 14 |
| 4.1.2. INTRODUÇÃO | 15 |
| 4.1.3. MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 4.1.3.1 Área de estudo..... | 16 |
| 4.1.3.2. Procedimentos metodológicos..... | 19 |
| 4.1.3.3. Variáveis espectrais | 21 |
| 4.1.3.4. Variáveis topográficas | 21 |
| 4.1.3.5. Seleção e processamento de variáveis | 21 |
| 4.1.4. RESULTADOS..... | 22 |
| 4.1.5. DISCUSSÕES | 25 |
| 4.1.5.1. Variáveis explicativas e confusão espectral | 25 |
| 4.1.5.2. Dinâmica do uso e cobertura da terra | 26 |
| 4.1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 27 |
| 4.1.7. REFERÊNCIAS | 28 |
| 4.2. CAPÍTULO 2 - SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO URBANO DE MONTES CLAROS PARA O ANO DE 2050. | 35 |
| 4.2.1. RESUMO..... | 35 |
| 4.2.2. INTRODUÇÃO | 35 |
| 4.2.3. MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 4.2.3.1. Área de estudo..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.3.2. Procedimentos metodológicos..... | 38 |
| 4.2.3.3. Elaboração do cenário futuro..... | 38 |
| 4.2.4. RESULTADOS..... | 40 |
| 4.2.4.1. Crescimento urbano de Montes Claros entre os anos de 2000 e 2020 | 40 |
| 4.2.4.2. Simulação de crescimento de 2020 a 2050 | 40 |
| 4.2.5. DISCUSSÕES | 42 |
| 4.2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 45 |
| 5. CONCLUSÃO GERAL..... | 46 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 46 |

1. INTRODUÇÃO

As cidades médias possuem variações em sua definição a partir da perspectiva de diferentes autores que a estudam. A exemplo, para Soares (2005), cidade média é aquela que possui uma relação próxima com as cidades pequenas que estão em seu entorno e uma boa relação com as áreas rurais. Cidades médias também podem ser classificadas como cidades que possuem papel importante na economia, meio político, social e na prestação de serviços para a região que está inserida, atuando como polo centralizador da região (Deus, 2004; Oliveira; Soares, 2014). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considera como cidade média os municípios que possuem entre 100.000 e 500.000 habitantes. Dessa forma, a partir de diferentes autores, a cidade de Montes Claros é classificada como a única cidade média da região do Norte de Minas Gérias, devido ao papel importante que exerce, a interação com as cidades pequenas e por possuir população em 414.210 habitantes (IBGE, 2022; França, 2007).

Na década de 1970, Montes Claros passou por um processo de industrialização mais intenso, que influenciou na atratividade da cidade, em razão da oferta de empregos e serviços (Brito; Pereira, 2013). No entanto, a partir da década de 1990, o setor terciário se destacou como o principal setor da economia montes-clarense, com a maior disponibilidade de produtos e serviços da região, se concretizando como polo centralizador do Norte de Minas (Brito; Pereira, 2013). A mudança econômica que ocorreu em Montes Claros acompanhou as transformações que ocorreram em escala mundial, consequência da globalização e da revolução técnico-científica (Assis; Araújo; Gomes, 2006).

Atualmente, a cidade também se destaca como um polo universitário, com três instituições de ensino superior público: Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES; Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e o Instituto Federal do Norte de Minas – INFMG, além de oito instituições do setor privado. Assim, muitos estudantes fixaram residência na cidade e, outros, deslocam diariamente de suas cidades de origem em direção a Montes Claros (Souza; Pereira, 2021). Dessa forma, a atratividade diversificada da cidade contribuiu para a movimentação da economia local em diferentes áreas, aumento populacional e também para expansão da área urbana (Leite; Pereira, 2008; Leite; Melo, 2017). Além disso, a localização geográfica da cidade, atendida por rodovias federais e estaduais, a presença do único aeroporto comercial da região, também contribuíram para o crescimento de Montes Claros (Leite; Melo, 2017).

Ao observar a expansão urbana de Montes Claros, assim como outras cidades, encontra-se uma cidade marcada por uma ocupação desordenada, consequência do processo de urbanização acelerado e associado a um planejamento e gestão ineficazes (Leite; Melo, 2017). Assim, a população se organizou no espaço urbano de acordo com o valor do preço da terra, que sofre valorização a partir da sua localização e infraestrutura presente em seu entorno (Santana; Silva, 2023). Dessa forma, quanto melhor for a localização da terra, maior será o seu preço e, quanto menor for a sua colocação, menor o seu preço, o que impacta diretamente na fragmentação do espaço e na reprodução da desigualdade social (Pereira; Silva; Carvalho, 2017).

Por exemplo, a população de menor poder aquisitivo encontra-se nas áreas periféricas localizadas mais distantes do centro, sobretudo nos sentidos norte e leste de Montes Claros, com pouca disponibilidade de equipamentos urbanos básicos e de menor amenidade ambiental. Além da forte presença de edificações do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV, desenvolvido pelo Estado para atender essa população (Calixto, 2021). Lefebvre, (2001) caracteriza esse tipo de projeto como uma forma rápida do Estado em fornecer moradia e com o menor custo possível, onde não há o pensamento urbanístico no seu processo de construção.

Em contrapartida, a periferia também pode apresentar outro perfil social, que evidencia a desigualdade social da cidade, assim, Salgueiro (2011) denomina a área periférica como uma periferia contígua, porém, sem continuidade. No sentido sudoeste da cidade, outro extremo da borda urbana, encontra-se uma área onde predomina as casas de alto padrão arquitetônico, condomínios fechados que possuem forte esquema de segurança, acessibilidade e são circundadas de infraestruturas urbanas. Por fim, a periferia se firma como uma área situada nos arredores urbanos e como uma faixa circular heterogênea nas questões naturais e sociais (Corrêa, 1989; Costa; França, 2020; Parfitt; Gallo; Alba, 2020; Calixto, 2021; Santana; Silva, 2023).

A cidade e, em especial a periferia, são espaços em constante transformação (Parfitt; Gallo; Alba, 2020). Desse modo, Santos (1988) caracteriza a paisagem como um objeto de mudança no tempo, que carrega pedaços históricos, formas e conjuntos heterogêneos e não como algo estático para todo o sempre. Logo, compreender as transformações feitas na paisagem da cidade pode contribuir para a construção de um futuro urbano com melhor qualidade para os seus habitantes, considerando todos os aspectos da cidade, bem como o social e ambiental (Faria, 2009; Pereira; Carsalade, 2023).

As conversões de uso do solo causadas pela expansão das cidades e associadas a liberação de gases poluentes, impactam diretamente na ocorrência dos fenômenos ambientais (Forget et al., 2021; Mello et al., 2023). Nesse sentido, a partir do aspecto ambiental e de uma perspectiva constante do crescimento das cidades para os próximos anos, o planejamento urbano é capaz de prepara-las para as possíveis adversidades futuras. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, projeta a ocorrência de grandes fenômenos ambientais, como: ilhas de calor, temperaturas elevadas, tempestades severas, secas e aumento do nível do mar (IPCC, 2021; Mello et al., 2023). Dessa forma, o planejamento urbano pode mitigar os efeitos desses fenômenos.

Assim, uma parte importante do planejamento urbano é o monitoramento das áreas que sofrem conversão de uso do solo, para isso, o sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial e viável, devido a sua capacidade e imagear, em tempo hábil, grandes áreas de terra (Kunen et al., 2019). O sensoriamento remoto permite o monitoramento e a detecção de alterações do uso e cobertura do solo em uma em grande escala de tempo, o que viabiliza o controle de alterações da área e a projeção de possíveis efeitos (Rosa et al., 2018). O sensoriamento remoto quando unido ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), podem alcançar dados importantes, devido a capacidade de suas ferramentas em explorar as informações e imagens obtidas (Pereira et al., 2022).

A partir da evolução das Geotecnologias e das técnicas computacionais, as simulações de cenários futuros se apresentam como instrumentos importantes, pois mostram cenários prováveis em cidades reais (Axelrod, 1997; Polidori; Tomiello; Peres, 2023). E permitem a avaliação crítica dos efeitos de políticas e ações que são propostas na atualidade (Trenti; Freitas, 2010). A modernização dos modelos e o desenvolvimento da inteligência artificial resultam em simulações cada vez mais precisas, devido as evoluções dos modelos com maior capacidade de interação entre variáveis físicas, ambientais e sociais (Alberti, 2008; Polidori; Tomiello; Peres, 2023).

O modelo de células autômatos (CA) é muito utilizado em simulações sobre mudanças em áreas urbanas, ou, em estudos sobre mudanças de uso e cobertura do solo (Trenti; Freitas, 2010; Polidori; Tomiello; Peres, 2023; Basse et al., 2014). Esse modelo é uma formação de células organizadas em grid, onde cada célula apresenta um estado em cada instante de tempo e sofre alteração automaticamente a partir de regras de transição e da condição das células vizinhas (Sirakoulis; Karafyllidis; Thanailakis, 2000; Polidori; Tomiello; Peres, 2023). Esse modelo também popularmente é conhecido como “jogo da vida”, onde se tem ascensão, queda e mutações, se assemelhando a vida real

(Wolfram, 2002). O autômato celular é adotado em diversos modelos e plataformas que trabalham para a construção de simulações de uso do solo e expansão urbano, bem como: o Dinamica Ego (Soares Filho, 1998); o SLEUTH (Clarke, 2008); Citycell (Saraiva; Polidori, 2011) e MOLUSCE *plugin* do Qgis.2.18.

O *Modules for Land Use Change Simulations* (MOLUSCE) é um *plugin* do *software* Qgis, disponível de forma gratuita, onde podem ser feitas análises e simulações de mudanças de uso do solo, como realizado em alguns estudos que utilizaram o utilizaram (El-Tantawi et al., 2019; (Fontana, 2022); Alshari; Gawali, 2022; (Kaiser, 2023; Meneses, 2023; Brito et al., 2023). O MOLUSCE funciona a partir de etapas, a primeira é a entrada de informações em *raster* e a correlação das informações. Em seguida, é a previsão, onde é realizada a escolha dos métodos de modelagem e, por fim, a validação, referente a acurácia da simulação (Kafy et al., 2020; Kaiser, 2023).

A evolução das técnicas computacionais também permitiram a integração de algoritmos de aprendizado de máquina, como as redes neurais artificiais, aos modelos de autômatos celulares que juntos podem aprimorar a calibração e a precisão das simulações de cenários futuros (Gharaibeh et al., 2020). A integração entre redes neurais artificiais, ou, *artificial neural network* (ANN) aos CA possibilita o trabalho com grandes quantidades de informações, devido a capacidade da ANN em aprender e solucionar problemas com grandes conjuntos de dados (Basse et al., 2014). Dessa forma, essa abordagem adotada no MOLUSCE é considerada como eficiente para a análises de transições de uso do solo e simulações de cenários futuros (Brito et al., 2023).

Para gerar classificações do uso e cobertura do solo, utilizadas nas simulações, também deve se destacar a evolução de algoritmos, como o *Random Forest* (RF). Esse algoritmo de aprendizagem de máquina adota um conjunto de árvores de decisão para gerar a classificação (Maxwell; Warner; Fang, 2018). O algoritmo organiza as mostras coletadas de cada classe em dois grupos, um para treinamento e outro para teste. Além da sua capacidade de trabalhar com grande número de variáveis independentes. Por fim, é a classificação é decida a partir da classe mais votada entre as árvores de decisão (Maxwell; Warner; Fang, 2018; Tamiminia et al., 2020).

Essa pesquisa se justifica devido a importância que a cidade de Montes Claros possui para a região do Norte de Minas Gerais. Considerada como a única cidade média e polo da região, Montes Claros é referência em empregos, prestação de serviços, indústria e educação, atendendo a própria população montesclarenses, quanto a população

migrante. Dessa forma, se destaca a necessidade de pensar e planejar o futuro dessa cidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar as alterações do uso e cobertura do solo de Montes Claros, por meio das Geotecnologias, no período de 1985 a 2020 e desenvolver a simulação para o ano de 2050.

2.2. Objetivos Específicos

- Compreender a dinâmica de crescimento da área urbana de Montes Claros entre os anos de 1985 e 2020 e sua previsão para o ano de 2050;
- Identificar quais variáveis foram mais explicativas para a classificação do uso e cobertura do solo;
- Desenvolver a simulação de crescimento urbano para o ano de 2050;
- Analisar a distribuição socioeconômica da população de Montes Claros na área urbana.

3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em duas partes: a primeira, é a introdução geral do trabalho, que possui conceitos e temas que são abordados nos textos dos capítulos. A segunda, é o desenvolvimento, composta pelo capítulo 1, “Expansão urbana de Montes Claros/MG entre os anos de 1985 e 2020”. E pelo segundo capítulo do trabalho, intitulado de “Simulação de crescimento urbano de Montes Claros/MG para o ano de 2050”.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. CAPÍTULO 1 - EXPANSÃO URBANA DE MONTES CLAROS/MG ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2020.

4.1.1.

RESUMO

O crescimento da área urbana resulta em conversões do uso do solo que impactam diretamente na paisagem e na qualidade de vida da população urbana. As cidades sofrem cada vez mais com os efeitos da expansão urbana e com a redução da vegetação. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar as mudanças de uso e cobertura do solo de Montes Claros/MG, entre os anos de 1985 e 2020. Para isso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, Landsat 8 e SRTM, que foram base para gerar as variáveis e o uso

do solo, utilizando o software Qgis. As amostras coletadas nas imagens foram inseridas no classificador Random Forest (RF) do *software* RStudio, onde foram geradas as classificações para cada ano estudado. Os resultados mostraram que a cidade de Montes Claros cresceu 34,92 km², isto é, um acréscimo de 92,80%. O Cerrado, apresentou um crescimento constante. A Mata Seca descreu nas primeiras décadas analisadas, mas se recuperou no ano de 2020. Já a pastagem, apresentou decréscimo em todos os anos analisados. O modelo apresentou as variáveis de MDE, Infravermelho médio, NDVI e NDWI como as variáveis que mais contribuíram para que a classificação fosse desenvolvida com alta eficácia. Dessa forma, o crescimento irregular de Montes Claros resultou em áreas da cidade abastecidas de maior conforto urbano em detrimento de outras.

4.1.2. INTRODUÇÃO

É estimado que até o ano de 2050, cerca de 60% da população mundial residirá em áreas urbanas (Nations, 2014). Estima-se o crescimento de 2,28 bilhões de habitantes urbanos entre 1970 a 2011, com perspectiva de triplicar essa população nos anos seguintes (Nations, 2012). No Brasil, 84,72% da população já vive em áreas urbanas (PNAD, 2015). O aumento populacional urbano, em países em desenvolvimento, ocorre, principalmente, devido ao processo de migração rural-urbana. Assim, a população migrante, em sua maioria, é de baixa renda, e tende a se concentrar nas áreas de baixo valor de terra urbana, ou seja, nas áreas periféricas, o que influencia diretamente na expansão urbana. Dessa forma, o intenso processo de urbanização associado a ineficiência do planejamento resulta em cidades com sérios problemas ambientais e sociais (Espindola; Carneiro; Façanha, 2017).

O espraiamento da mancha urbana, impulsionado pela especulação imobiliária, acelera o processo de expansão do uso e cobertura do solo urbano sobre as áreas naturais. Logo, essa conversão do solo pode causar desequilíbrio e perda da qualidade ambiental nas cidades (Ma; Xu, 2010). Além disso, a antropização da paisagem gera centros urbanos cada vez mais complexos, marcados pela ausência de aparelhos urbanos básicos nas áreas mais distantes dos centros, bem como a dificuldade em deslocamento (Ma; Xu, 2010). No entanto, é imprescindível destacar que os problemas urbanos não são exclusivos das grandes cidades, pois também estão presentes em cidades pequenas e médias, que atualmente são as cidades que apresentam o maior crescimento urbano, até mesmo superior as grandes metrópoles (Espindola; Carneiro; Façanha, 2017).

Montes Claros, localizada no Norte de Minas Gerais, é considerada como uma cidade média, devido ao seu papel exercido na rede urbana, capaz de conectar-se as

pequenas e grandes cidades (França et al., 2009). A atratividade de Montes Claros influenciou no desenvolvimento de uma mancha urbana espraiada, impulsionada, sobretudo, por agentes imobiliários, o que contribuiu para redução das amenidades ambientais na cidade, em especial ao conforto térmico urbano (Lima; Lopes; Façanha, 2021; Duarte; Leite, 2020).

Atualmente, os estudos urbanos e ambientais são desenvolvidos com maior qualidade e precisão, devido a disponibilidade de ferramentas e os avanços tecnológicos já alcançados, como imagens em alta resolução e recursos computacionais, a exemplo, os algoritmos de *machine learning*, como o *Random Forest*. Esse algoritmo utiliza um conjunto de árvores de decisão para realizar as classificações de uso do solo, sendo um dos algoritmos mais robustos e capaz de manipular grandes volumes de dados. Assim, o monitoramento das alterações antrópicas estão cada vez mais precisos e eficientes (Alves; Pereira; Florenzano, 2009; Rosa, 2018; Ferreira, 2023). Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é analisar a evolução do uso do solo urbano em Montes Claros/MG, entre os anos de 1985 a 2020, com o auxílio das geotecnologias.

4.1.3. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.3.1 Área de estudo

O município de Montes Claros está localizado na região Intermediária e Imediata de Montes Claros, no norte do estado de Minas Gerais (Figura 1). O censo de 2010 registrou 361.915 habitantes, 344.427 residentes urbanos e 17.488 rurais (IBGE, 2010). Para o ano de 2022, a população registrou 414.240 habitantes, o que representa um crescimento de 14,46% da população (IBGE, 2022). O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM de Montes Claros é de 0,770.

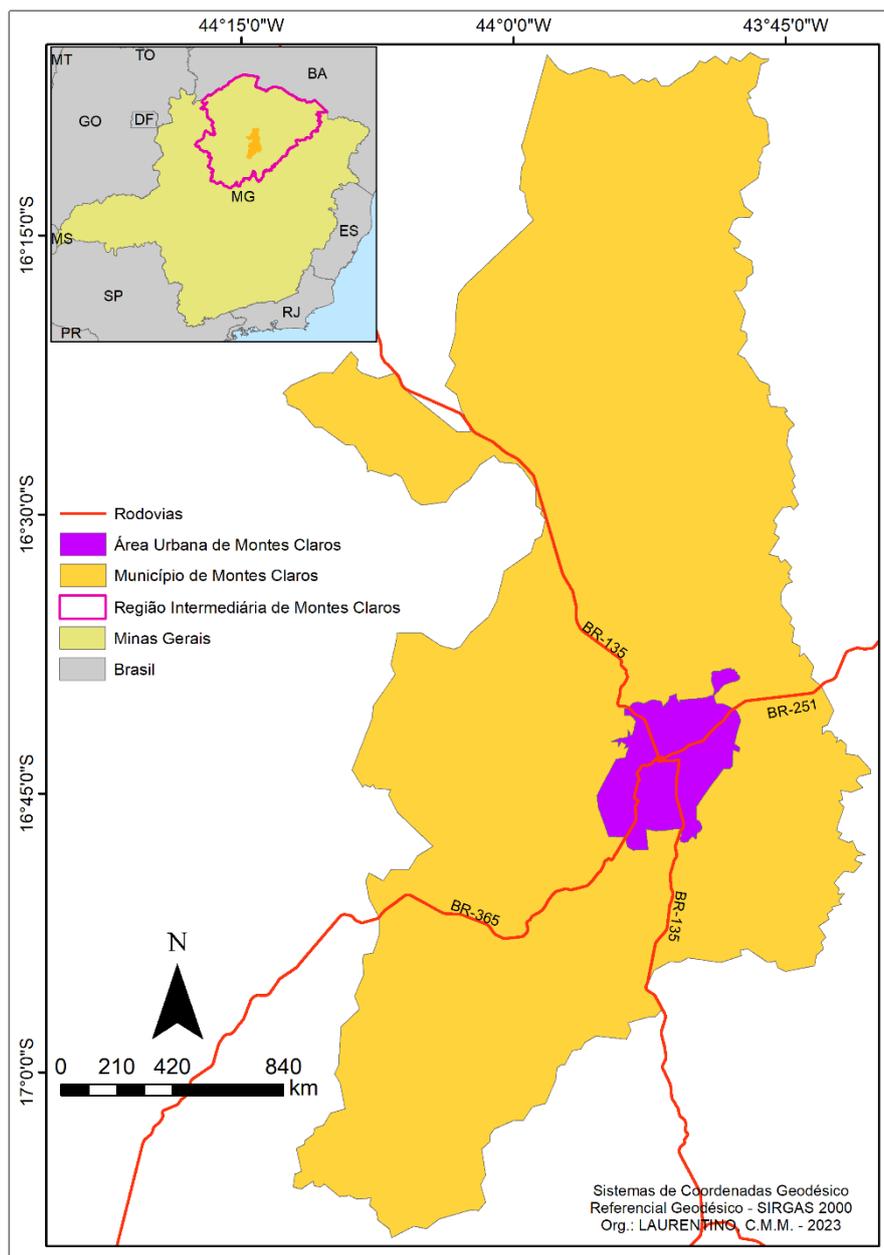


Figura 1: Mapa de localização do município de Montes Claros/MG

O município de Montes Claros se destaca como centralidade da região Norte de Minas Gerais, em razão da ampla oferta de serviços e comércios, da assistência à saúde, educação, lazer e emprego. Possui uma localização estratégica, devido as rodovias federais BR 135, BR 365 e BR 251 que ligam Montes Claros a centros importantes do país, o que contribui para o aumento do fluxo e para a sua atratividade. Além disso, a economia da cidade se destaca, principalmente, nos setores comerciais e industriais.

A área urbana do município está localizada, em sua maioria, em uma área de 576m – 699m de altitude, com exceção da região sudoeste, que se encontra em uma área de

834,01m – 958m (mapa A, figura 2). Essa região também corresponde a declividade mais acentuada do perímetro urbano, entre 40,58 % - 101,47%. Já as demais regiões, estão em relevo menos íngreme, entre 0 – 25,06 % (mapa B, figura 2).

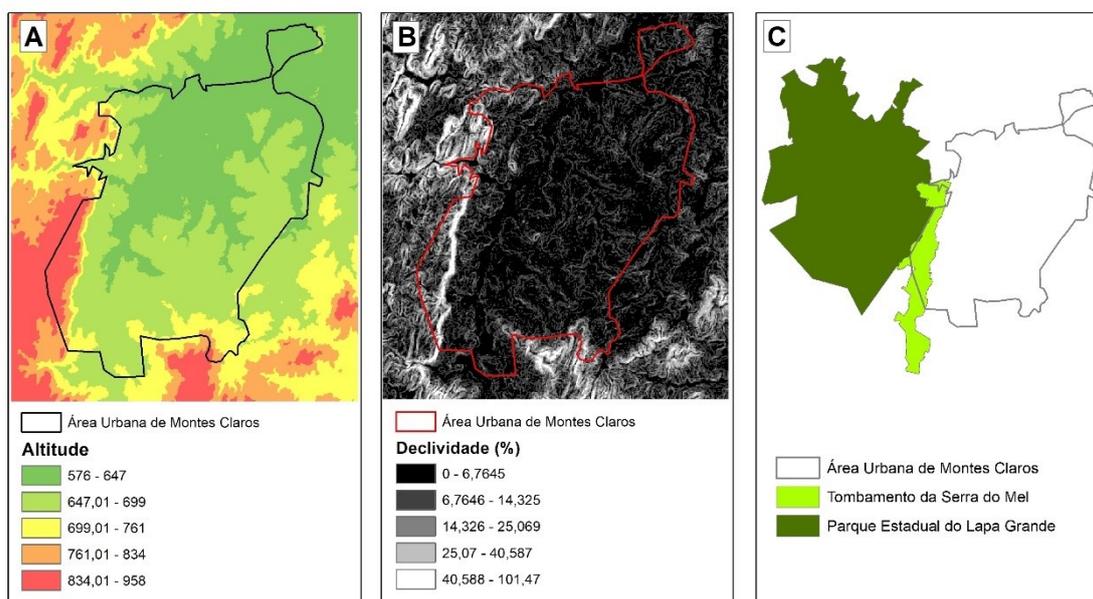


Figura 2: A) Altitude; B) Declividade; C) Áreas Verdes – Montes Claros/MG.

Sobre as áreas mais altas e íngremes de Montes Claros, está localizado a Serra do Mel, que em 2016, foi decretada o seu tombamento como parte do Patrimônio Histórico, Cultural e Natural de Montes Claros (Decreto 3.467). O Parque Estadual da Lapa Grande, criado em 2006 (Decreto 44.204) e ampliado em 2014 (Decreto 44.692) - com o objetivo de proteger as grutas do Lapa Grande, ocupa uma área que corresponde a Serra do Mel. O parque também é importante para a recarga hídrica das bacias hidrográficas dos rios Lapa Grande e Cedro, afluentes do rio Vieira, que abastece cerca de 30% da cidade de Montes Claros (Silva et al., 2021).

No município de Montes Claros predomina a vegetação do Cerrado, Cerrado Stricto Sensu, Mata Ciliar e Floresta Estacional Decidual (Mata Seca). No entanto, devido as atividades agropecuárias e o crescimento urbano, também são identificados conversões do uso e cobertura do solo, até mesmo dentro dos limites de conservação (Silva et al., 2021).

4.1.3.2. Procedimentos metodológicos

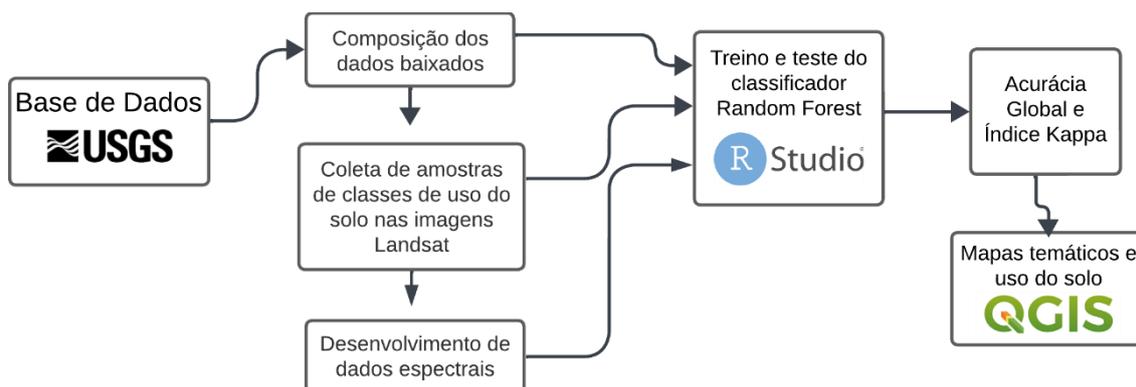


Figura 3: Fluxograma das etapas executadas.

As imagens foram adquiridas da plataforma do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), referentes a área urbana de Montes Claros, órbita/ponto 218/72. As imagens são dos anos de 1985, 2000 e 2010, do satélite *Landsat 5*, sensor TM. Para o ano de 2020, foi utilizada a imagem do satélite *Landsat 8*, sensor OLI. Todas as imagens são do mês de julho de cada ano, devido a menor presença de nebulosidade, e todas possuem resolução espacial de 30m. Também foi adquirido imagens derivadas da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial interpolada para 30m (Figura 3).

No *software* Qgis.3.16 foi feita a composição de bandas em cada cena analisada. Para as imagens do satélite *Landsat 5*, foram utilizadas as bandas originais 1, 2, 3, 4 e 5. Já na imagem do satélite *Landsat 8*, foram utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5 e 6. As bandas selecionadas foram necessárias para a composição colorida e para gerar os índices. Em seguida, após a análise visual das imagens, foram definidas seis classes de uso e cobertura do solo: Água, Cerrado, Mata Seca, Mineração, Urbano e Pastagem. Foram coletadas, manualmente, 360 amostras em cada classe de uso do solo, com exceções para as classes de água e mineração que, por representarem classes muito pequenas na área de estudo, foram coletadas apenas 60 amostras. A identificação dos usos se deu a partir de características comuns a cada classe, exemplificados na chave de interpretação, e com o apoio de estudos já desenvolvidos na mesma região (Figura 4) (Brito et al., 2013; Borges, 2018).

A classe água é facilmente identificada no recorte de estudo, localizada em dois pontos de referência de Montes Claros, a Lagoa do Interlagos e a Lagoa do Parque Municipal, destacadas na cor azul escuro (Figura 4). O Cerrado pode ser identificado a

partir do seu formato linear e textura lisa a média, a exemplo das matas ciliares; também é identificado por áreas contínuas, lisas e em tons de verde, com maior concentração no sentido leste da área de estudo. A classe da Mata Seca possui textura lisa e rugosa, com a cor verde escuro e fundo marrom, estando presente, em sua maioria, a leste de Montes Claros. O uso da mineração pode ser identificado a noroeste da área analisada, possuindo textura rugosa e sua cor que varia entre azul escuro e roxo. O urbano está concentrado mais ao centro da área de estudo, com textura lisa, contínua e com cores entre rosa e lilás. Por fim, a pastagem apresenta recortes delimitados, textura lisa e cor rosa e verde claro (Figura 4).

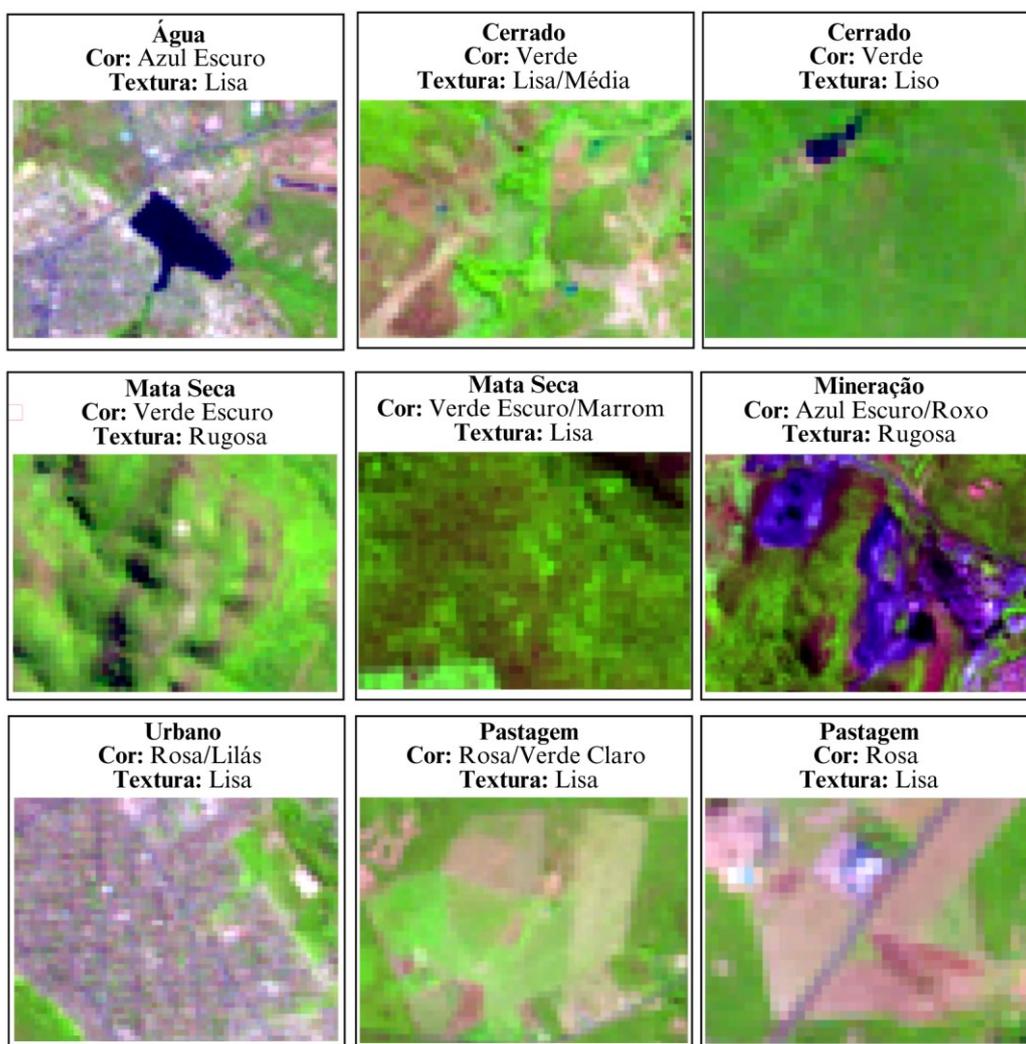


Figura 4: Chave interpretação do uso e cobertura do solo de Montes Claros/MG.

4.1.3.3. Variáveis espectrais

A variáveis espectrais são as bandas espectrais das imagens adquiridas dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*; são elas: bandas azul, verde (VD), vermelho (V), infravermelho próximo (IVP) e infravermelho médio (IVM). Também foram gerados os índices espectrais: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), na calculadora *raster* do *software* Qgis, seguindo as fórmulas: (Tabela 1).

| Equações | |
|-------------------------------|----------------------|
| NDVI: $(IVP-V) / (IVP+V)$ | (ROUSE et al., 1974) |
| NDBI: $(IVM-IVP) / (IVM+IVP)$ | (ZHA; GAO; NI, 2003) |
| NDWI: $(VD-IVP) / (VD+IVP)$ | (MCFEETERS, 1996) |
| Equações | Fonte |

Tabela 1: Equações dos índices NDVI, NDBI e NDWI

4.1.3.4. Variáveis topográficas

A variáveis topográficas foram geradas partir da imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Inicialmente, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) e, em seguida, foram desenvolvidas as variáveis de declividade, orientação e curvatura, a partir das funções *raster* do *software* Qgis.

4.1.3.5. Seleção e processamento de variáveis

Inicialmente, as amostras coletadas sobre cada classe de uso do solo nas imagens de satélite, foram sobrepostas às variáveis espectrais e topográficas, para a extração dos valores dos pixels das imagens. Esses valores foram tabelados e utilizados para treinamento e validação do algoritmo classificador *Random Forest*, no *software* RStudio (RStudio Team, 2022). Esse algoritmo utiliza árvores de decisão, onde o resultado final é escolhido considerando a classe mais votada por todas as árvores (Oshiro, 2013). Em seguida, foi realizado o processo que exclui as variáveis que apresentam alta correlação (>95%), a partir da construção do teste de Correlação de Pearson, para evitar o efeito de redundância na análise, para isso, foi utilizado a função *findcorrelation* (Souza et al.,

2018). Após essa etapa, foi feita a divisão das amostras em 75% para treino e 25% para teste.

O grupo de teste é utilizado para analisar a capacidade do algoritmo em apresentar saídas adequadas para amostras desconhecidas (Vendruscolo et al., 2016). A análise dos resultados foi feita a partir da matriz de confusão gerada pelo próprio modelo, que apresenta o valor da acurácia Global, ou seja, o quanto a rede neural classificou corretamente; e o índice kappa (Tabela 2), gerado automaticamente pelo modelo, que consiste no nível de concordância entre os resultados.

| Valor de Kappa | Nível de concordância |
|----------------|-----------------------|
| 0 -0,20 | Nenhum |
| 21 – 3,9 | Mínimo |
| 0,40 – 0,59 | Fraco |
| 0,60 – 0,79 | Moderado |
| 0,80 – 0,90 | Forte |
| Acima de 90 | Quase Perfeito |

Tabela 2: Coeficiente Kappa de Cohen

4.1.4. RESULTADOS

O modelo utilizado identificou correlação superior a 95% e eliminou as variáveis NDWI e Banda 3 para a classificação de 1985; Banda 3 nas classificações de 2000 e 2010; e Banda 4 na classificação de 2020. A eliminação dessas variáveis possibilitou o seu melhor desempenho. Elencou as variáveis MDE, Banda 5 e 6 (Infravermelho médio), NDVI e NDWI como as mais importantes para a classificação do uso e cobertura do solo em todos os anos estudados. Todas as classificações apresentaram índice Kappa entre 0,83 e 0,95, o que as categorizam como “forte”, já a acurácia, variou de 0,87 a 0,96. As classes que apresentaram os menores erros de omissão e comissão, ou seja, que tiveram melhor classificação, foram as classes de água e mineração, em todos os anos observados. Em contrapartida, os maiores erros de classificação, foram identificados entre as classes de Cerrado e Mata Seca, Pastagem e Urbano (Tabela 3).

| Classe | Água | Cerrado | Mata Seca | Mineração | Pastagem | Urbano | Total | Erro de Omissão | Erro de Comissão |
|--------|------|---------|-----------|-----------|----------|--------|-------|-----------------|------------------|
| Água | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0,04 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| 1985 | Cerrado | 0 | 80 | 16 | 0 | 0 | 1 | 97 | 0,18 | 0,08 |
| | Mata Seca | 0 | 7 | 63 | 0 | 1 | 0 | 71 | 0,11 | 0,26 |
| | Mineração | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 |
| | Pastagem | 0 | 0 | 6 | 0 | 84 | 15 | 105 | 0,20 | 0,07 |
| | Urbano | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 74 | 80 | 0,08 | 0,18 |
| | Total | 23 | 87 | 85 | 21 | 90 | 90 | | | |
| | Kappa | 0.83 | | | | | | | | |
| | Acurácia | 0.87 | | | | | | | | |
| 2000 | Classe | Água | Cerrado | Mata Seca | Mineração | Pastagem | Urbano | Total | Erro de Omissão | Erro de Comissão |
| | Água | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| | Cerrado | 0 | 84 | 3 | 0 | 0 | 0 | 87 | 0,03 | 0,07 |
| | Mata Seca | 0 | 6 | 83 | 0 | 2 | 0 | 91 | 0,09 | 0,08 |
| | Mineração | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0,00 | 0,09 |
| | Pastagem | 0 | 0 | 4 | 0 | 87 | 10 | 101 | 0,14 | 0,03 |
| | Urbano | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 79 | 81 | 0,02 | 0,11 |
| | Total | 12 | 90 | 90 | 11 | 90 | 89 | | | |
| | Kappa | 0.90 | | | | | | | | |
| | Acurácia | 0.92 | | | | | | | | |
| 2010 | Classe | Água | Cerrado | Mata Seca | Mineração | Pastagem | Urbano | Total | Erro de Omissão | Erro de Comissão |
| | Água | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| | Cerrado | 0 | 87 | 6 | 0 | 0 | 0 | 93 | 0,06 | 0,03 |
| | Mata Seca | 0 | 3 | 83 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0,03 | 0,07 |
| | Mineração | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| | Pastagem | 0 | 0 | 1 | 0 | 90 | 4 | 95 | 0,05 | 0 |
| | Urbano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86 | 86 | 0 | 0,04 |
| | Total | 15 | 90 | 90 | 12 | 90 | 90 | | | |
| | Kappa | 0.95 | | | | | | | | |
| | Acurácia | 0.96 | | | | | | | | |
| 2020 | Classe | Água | Cerrado | Mata Seca | Mineração | Pastagem | Urbano | Total | Erro de Omissão | Erro de Comissão |
| | Água | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| | Cerrado | 0 | 84 | 6 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0,07 | 0,07 |
| | Mata Seca | 0 | 6 | 83 | 1 | 0 | 0 | 90 | 0,08 | 0,08 |
| | Mineração | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0,17 |
| | Pastagem | 0 | 0 | 1 | 0 | 90 | 1 | 92 | 0,02 | 0 |
| | Urbano | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 89 | 90 | 0,01 | 0,01 |
| | Total | 12 | 90 | 90 | 12 | 90 | 90 | | | |
| | Kappa | 0.95 | | | | | | | | |
| | Acurácia | 0.96 | | | | | | | | |

Tabela 3: Matriz de Confusão - Random Forest para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|--------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1985 | 0,59 | 0,17 | 97,48 | 27,95 | 156,01 | 44,73 | 1,48 | 0,42 | 55,58 | 15,94 | 37,63 | 10,79 |
| 2000 | 0,45 | 0,13 | 105,37 | 30,21 | 136,39 | 39,1 | 0,67 | 0,19 | 60,37 | 17,3 | 45,51 | 13,04 |
| 2010 | 0,53 | 0,15 | 107,73 | 30,89 | 113,05 | 32,41 | 0,86 | 0,25 | 73,50 | 21,07 | 53,07 | 15,21 |
| 2020 | 0,46 | 0,13 | 110,59 | 31,7 | 117,98 | 33,83 | 1,20 | 0,34 | 45,99 | 13,18 | 72,55 | 20,8 |

Tabela 4: Área em km² e percentual (%) do uso e cobertura do solo de Montes Claros/MG para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020. A área de estudo possui 348,76 km².

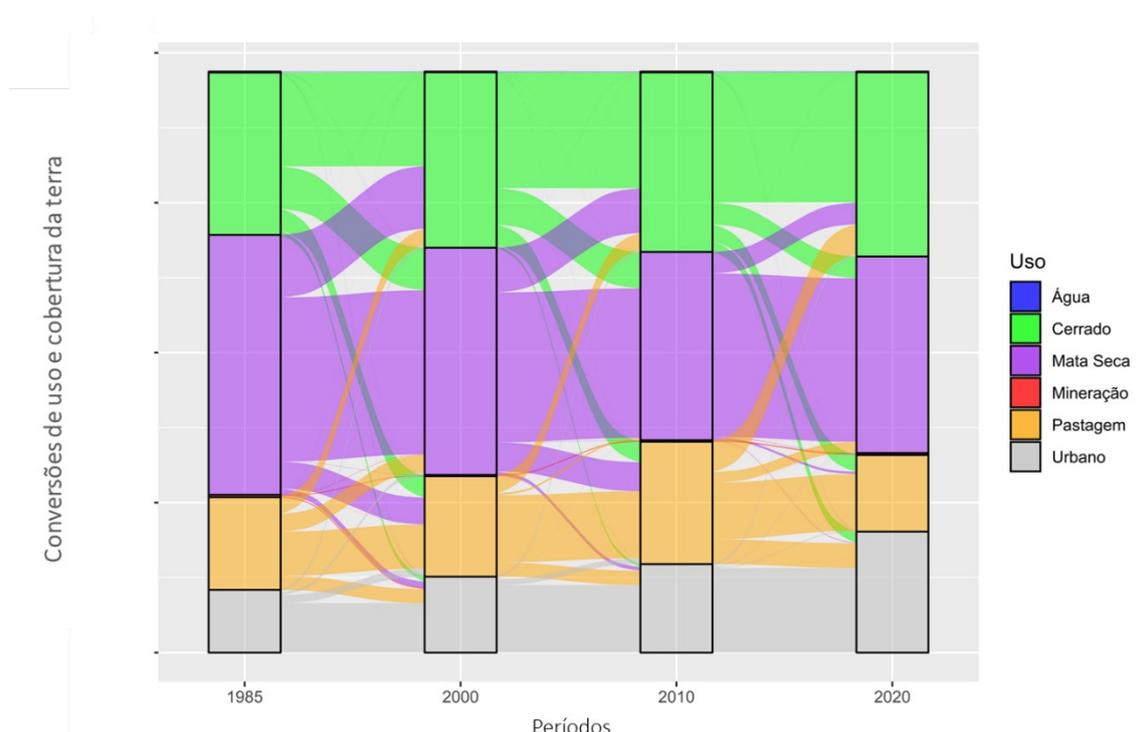


Figura 6: Conversões de Uso e Cobertura do Solo entre os anos de 1985 a 2020, em Montes Claros/MG.

4.1.5. DISCUSSÕES

4.1.5.1. Variáveis explicativas e confusão espectral

As variáveis mais importantes apontadas pelo modelo, como o MDE, se justifica devido as características físicas apontarem as potencialidades e por direcionarem as ocupações desenvolvidas no relevo, bem como no crescimento do sítio urbano (Cheliz; Rodrigues; Ladeira, 2023). Já as variáveis Banda 5, Banda 6, NDVI e NDWI, são referentes a região do espectro do infravermelho, que é mais sensível a presença de água,

dessa forma, são importantes para estudo da vegetação, a partir da presença da sua umidade e densidade e, também para a delimitação de corpos hídricos.

Apesar do bom desempenho do algoritmo *Random Forest* e a da evolução dos sensores que mapeiam a superfície terrestre, ainda ocorrem erros no processo de classificação das imagens (Amini et al., 2022; Cho et al., 2021), como apontando pela matriz de confusão do modelo. O erro de classificação entre as classes de Cerrado e Mata Seca pode estar associado a dificuldade em distinguir as diferenças entre suas fitofisionomias, sobretudo nas regiões onde essas classes se encontram (Alencar et al., 2020). Por isso, pode ser entendida até mesmo como uma conversão de uso e cobertura entre as duas classes (Figura 6) Já o erro entre a classe urbano e pastagem, pode ser compreendido pela confusão espectral nas áreas de transição entre a classe de urbano e pastagem (Figura 6) (Gao; Skillcorn, 1998).

4.1.5.2. Dinâmica do uso e cobertura da terra

O crescimento de 92,80% da classe urbano pode ser compreendido a partir da formação histórica de Montes Claros, que apresenta atratividade populacional desde a década de 1960, quando ainda possuía caráter industrial, incentivado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que impulsionou a ida de habitantes de toda a região para a cidade. Em 1990, com a redução dos incentivos fiscais, o setor de comércio e serviços se tornou a principal atividade econômica da cidade (França et al., 2009). Atualmente, destaca o setor educacional, um dos mais atrativos para a economia local, sobretudo em relação ao ensino superior, constituído por três instituições públicas e aproximadamente oito faculdades particulares (Souza; Pereira, 2021). Assim, a população que se instalou na cidade de Montes Claros para usufruir dos serviços que são ofertados, provocaram o aumento populacional e, conseqüentemente, a expansão da mancha urbana (França et al., 2009).

O crescimento urbano de Montes Claros também se deu em razão da sua centralidade e acessibilidade, como a conexão com outros municípios e regiões por meio das rodovias federais BR 135, BR 365 e BR 251, além de atender o Norte de Minas com o único aeroporto comercial da região – Aeroporto Mário Ribeiro (França; Soares, 2012). O investimento em redes de transporte foi importante para o desenvolvimento do comércio, para a circulação de bens e para a conexão com outros mercados nacionais e, até mesmo, internacionais (Pereira; Ferreira, 2014). A expansão da área urbana também

tem influência dos programas de habitação social, construídos, em sua maioria, no sentido horizontal, nas áreas mais distantes do centro, ou seja, nos limites externos da cidade, onde o preço de terra é mais desvalorizado (Nunes; Filho, 2020). A maior concentração desses programas de habitação está localizada no sentido norte e leste da cidade, que coincide diretamente com as áreas que mais expandiram (Figura 4).

O crescimento urbano em direção a áreas de pastagem, também pode estar relacionado a redução dos incentivos fiscais, desde os anos 2000, quando a legislação vigente proibiu o arrendamento de terras devolutas aos agropecuários da região, o que influenciou para o abandono de terras (Figura 6) (Cerqueira, 2016). Também a classe de pastagem está intimamente ligada a história do Norte de Minas, sobretudo após os incentivos fiscais fornecidos pela SUDENE, desde 1960, para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. Além disso, a posse de terras urbanas, atualmente, se mostra um meio de negócio mais rentável e atrativa para os agentes imobiliários (Führ; Santos Dias, 2013).

O crescimento do Cerrado pode ser compreendido pelo processo de criação das Unidades de Conservação (UC) em Montes Claros, como o Parque da Lapa Grande (Decreto 44.204/2006), o tombamento da Serra do Mel (Decreto 3.647), e a criação dos parques municipais Sapucaia (1987) e Guimarães Rosa (2018) (Leite; Santos; Almeida, 2011; (Galvão, 2018). Estudos mostram que Unidades de Conservação possuem grande importância na proteção de áreas ambientais e, até mesmo na regeneração da vegetação, assim como observado nas UC em Montes Claros (Silva et al., 2021) (Leite; Santos; Almeida, 2011) (Veloso et al., 2022). Em contrapartida, foi observado um decréscimo na classe da Mata Seca entre 1985 e 2010, e um modesto crescimento em 2020, o que pode compreender a inserção da Mata Seca no limite de proteção da Lei Federal 11.428/2006 (Lei da Mata Atlântica), que aplica maiores restrições ao desmatamento e conversões de uso do solo, assim, pode ter contribuído para a retomada de crescimento dessa classe em 2020 (Espírito-Santo et al., 2020).

4.1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de Montes Claros apresentou crescimento contínuo durante a análise de 1985 a 2020, o resultado foi alcançado por meio da classificação de imagens *Landsat 5* e *Landsat 8*, introduzidas no algoritmo *Random Forest*, no software *RStudio*. Todas as classificações, geradas para cada ano, apresentaram índice *kappa* elevado, considerado

como “forte”, o que reflete um bom desempenho da classificação desenvolvida pelo modelo. Dessa forma, o estudo apontou um crescimento significativo para a cidade de Montes Claros, sobretudo nas regiões norte, leste e sul, em razão da ausência de limites legislativos ambientais nessas regiões da cidade e, devido a construção de extensos residenciais populares nas áreas periféricas de Montes Claros. Assim, esse estudo pode servir como instrumento para o poder público, afim de gerir e planejar a área urbana de Montes Claros, visando a qualidade de vida dos seus habitantes e controle ambiental.

4.1.7. REFERÊNCIAS

ALBERTI, M. Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework. **Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature**, p. 623–646, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_41

ALENCAR, A. et al. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 924, 13 mar. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>

ALSHARI, E. A.; GAWALI, B. W. Modeling Land Use Change in Sana’a City of Yemen with MOLUSCE. **Journal of Sensors**, v. 2022, p. 1–15, 2022a. <https://doi.org/10.1155/2022/7419031>

ALVES, C. D.; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. G. ANÁLISE ORIENTADA A OBJETO NO MAPEAMENTO DE ÁREAS URBANAS COM IMAGENS LANDSAT. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 15, n. 1, 2009.

AMINI, S. et al. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2654, 1 jun. 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14112654>

AMORIM FILHO, O. B.; RIGOTTI, J. I. R.; CAMPOS, J. Os níveis hierárquicos das cidades médias de Minas Gerais. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 13, 2007. <https://doi.org/10.5380/raega.v13i0.7784>

ASSIS, L. F.; ARAÚJO, F. F.; GOMES, M. F. A TERCIARIZAÇÃO NA CIDADE MÉDIA DE SOBRAL E SUAS INFLUÊNCIAS NO COMÉRCIO DAS CIDADES PEQUENAS DE CARIRÉ E VARJOTA-CE (The tertiary activities intensification in the middle city of Sobral and its influence on the commerce of Cariré and Varjota small...). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 8, n. 1, 2006.

AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. Em: **Simulating social phenomena**. [s.l.] Springer, 1997. p. 21–40. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03366-1_2

BASSE, R. M. et al. Land use changes modelling using advanced methods: Cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land

cover dynamics at the cross-border region scale. **Applied Geography**, v. 53, p. 160–171, 2014a. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.016>

BORGES, M. G. FITOFISIONOMIAS DO CERRADO E AS ÁREAS POTENCIAIS DE OCORRÊNCIA DO PEQUIZEIRO (CARYOCAR BRASILIENSE) E BURITIZEIRO (MAURITIA FLEXUOSA) NO NORTE DE MINAS GERAIS. 2018.

BRITO, H. C. D. et al. Use of Spatial Data in the Simulation of Domestic Water Demand in a Semiarid City: The Case of Campina Grande, Brazil. **Urban Science**, v. 7, n. 4, p. 120, 24 nov. 2023. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040120>

BRITO, J. L. et al. EVOLUÇÃO GEOGRÁFICA DO USO/COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO VIEIRA NO NORTE DE MINAS GERAIS. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 169–194, 2013. <https://doi.org/10.7154/RDG.2013.0026.0009>

BRITO, M. F.; PEREIRA, A. M. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPORTÂNCIA DO SETOR TERCIÁRIO PARA A ECONOMIA DE MONTES CLAROS/MG. 2013.

BUĎDAY, E.; BUĎDAY, S. E. MODELING AND SIMULATING LAND USE/COVER CHANGE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FROM REMOTELY SENSING DATA. **CERNE**, v. 25, n. 2, p. 246–254, jun. 2019. <https://doi.org/10.1590/01047760201925022634>

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, p. e20028, 2021a.

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, p. e20028, 2021b.

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, p. e20028, 2021c.

CERQUEIRA, M. C. DE. **Estudo do uso e cobertura da terra e fragmentação da vegetação natural na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras no Norte de Minas Gerais, Brasil**. Master—[s.l.] Universidade de Brasília, 9 jun. 2016.

CHELIZ, P. M.; RODRIGUES, J. A.; LADEIRA, F. S. B. O papel do meio físico e relevo na ocupação humana: potencialidades, vulnerabilidades e impactos ambientais (enchentes, erosão e assoreamento) na trajetória histórica da região de Araraquara (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 1, p. 584, 5 jan. 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p584-632>

CHO, D. F. et al. Desempenho do Algoritmo de Classificação de Imagens Random Forest para Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Cerrado Brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, 31 ago. 2021. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37979

CLARKE, K. C. Mapping and modelling land use change: an application of the SLEUTH model. **Landscape analysis and visualisation: Spatial models for natural resource**

management and planning, p. 353–366, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69168-6_17

CLARKE, K. C.; GAYDOS, L. J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. **International journal of geographical information science**, v. 12, n. 7, p. 699–714, 1998. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. [s.l.] Ática, 1989. v. 174

COSTA, V. A. M.; FRANÇA, I. S. D. PRODUÇÃO DO ESPAÇO E VALORIZAÇÃO DO SOLO URBANO: um estudo acerca da valorização do solo no Ibituruna, zona Oeste da cidade de Montes Claros/MG. **Revista Cerrados**, v. 17, n. 01, p. 164–191, 18 fev. 2020. <https://doi.org/10.22238/rc2448269220191701164191>

DEUS, J. B. As cidades médias na nova configuração territorial brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 81–91, 2004.

DUARTE, T. E. P. N.; LEITE, L. B. CIDADES MÉDIAS NO CERRADO BRASILEIRO: DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Terra Plural**, v. 14, p. 1–7, 2020. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.14.2013420.006>

EL-TANTAWI, A. M. et al. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, p. 1–18, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7478-0>

ESPINDOLA, G. M. D.; CARNEIRO, E. L. N. D. C.; FAÇANHA, A. C. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. **Applied Geography**, v. 79, p. 73–83, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.018>

ESPÍRITO-SANTO, M. M. DO et al. Biophysical and socioeconomic factors associated to deforestation and forest recovery in Brazilian tropical dry forests. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 569184, 2020. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.569184>

FARIA, L. Planejamento estratégico, estatuto da cidade e plano diretor: métodos e instrumentos de organização e gestão do espaço urbano. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 32, p. 162–170, 2009. <https://doi.org/10.14393/RCG103215866>

FERREIRA ALVES, R. et al. ANÁLISE ESPACIAL DO ACESSO À EDUCAÇÃO PÚBLICA BÁSICA EM MONTES CLAROS/MG. **Revista de Geografia - PPGEO - UFJF**, v. 10, n. 2, p. 239–260, 4 dez. 2020.

FERREIRA, H. G. P. RANDOM FOREST NA PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. 2023.

FONTANA, A. G. Mapeamento temporal e predição da área da mancha urbana da região metropolitana de Porto Alegre-RS, utilizando geotecnologias e sensores remotos. 2022.

FORGET, Y. et al. Mapping 20 years of urban expansion in 45 urban areas of sub-Saharan Africa. **Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 525, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13030525>

FRANÇA, I. S. DE. A cidade média e suas centralidades: O exemplo de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. 2007a.

FRANÇA, I. S. DE; SOARES, B. R. Rede urbana regional, cidades médias e centralidades: estudo de Montes Claros e dos centros emergentes de Pirapora, Janaúba e Janaúria no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, p. 169, 30 nov. 2012. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n2p169>

FRANÇA, I. S. et al. CIDADE MÉDIA, POLARIZAÇÃO REGIONAL E SETOR DE EDUCAÇÃO SUPERIOR: ESTUDO DE MONTES CLAROS NO NORTE DE MINAS GERAIS. v. 2, 2009.

FRANÇA, I. S. et al. PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO E A DINÂMICA IMOBILIÁRIA NA CIDADE MÉDIA DE MONTES CLAROS/MG. v. 12, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2014.7611>

FRANÇA, I. S.; BARBOSA, R. S. EXPANSÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM MONTES CLAROS/MG. v. 36, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.236436>

FRANÇA, I. S. D. A CIDADE MÉDIA E SUAS CENTRALIDADES: O EXEMPLO DE MONTES CLAROS NO NORTE DE MINAS GERAIS. 2007b.

FÜHR, J. DE O. M.; SANTOS DIAS, E. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS PROVOCADOS PELO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR. **Perspectiva Geográfica**, v. 8, n. 9, 2013.

GALVÃO, L. G. M. Produção do espaço urbano na Serra do Mel por condomínios fechados em Montes Claros/MG. 2018.

GAO, J.; SKILLCORN, D. Capability of SPOT XS data in producing detailed land cover maps at the urban-rural periphery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 15, p. 2877–2891, jan. 1998. <https://doi.org/10.1080/014311698214325>

GHARAI BEH, A. et al. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>

KAFY, A.-A. et al. Modelling future land use land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100314, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100314>

KAISER, E. A. DINÂMICA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS: DIAGNÓSTICOS E PROGNÓSTICOS A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO PROXIMAL A ORBITAL. 2023.

KUNEN, A. et al. Contextualização do desenvolvimento urbano do município de Pato Branco-PR nos últimos dez anos a partir de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 02, p. 681–696, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p681-696>

- LEFEBVRE, H. **O direito à cidade**. [s.l.] Centauro São Paulo, 2001. v. 5
- LEITE, M. E.; BRITO, J. L. S. MAPEAMENTO DA DESIGUALDADE SOCIOECONÔMICA DE MONTES CLAROS/MG. 2011.
- LEITE, M. E.; MELO, M. A. S. S. DE. Juventudes e espaço urbano: uma análise geográfica na cidade d Montes Claros/MG. **Caderno de Geografia**, 2017.
- LEITE, M. E.; PEREIRA, A. M. Metamorfose do espaço intra-urbano de Montes Claros/MG. **Montes Claros: Unimontes**, 2008.
- LEITE, M. E.; SANTOS, I. DE S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2011.
- LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Alterações na Cobertura do Solo em Teresina, Piauí, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 33, 23 jul. 2021. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-58922>
- MA, Y.; XU, R. Remote sensing monitoring and driving force analysis of urban expansion in Guangzhou City, China. **Habitat International**, v. 34, n. 2, p. 228–235, abr. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.007>
- MAXWELL, A. E.; WARNER, T. A.; FANG, F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. **International journal of remote sensing**, v. 39, n. 9, p. 2784–2817, 2018. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- MEDEIROS, H. R.; TOREZAN, J. M. D.; NETO, O. C. P. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DE PROJETOS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA INFLUENCIANDO NA REGENERAÇÃO DO SUB-BOSQUE. 2010.
- MELLO, B. J. et al. A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A DESASTRES: CENÁRIOS E DESAFIOS PARA O MUNICÍPIO DE BRUSQUE (SC). **B. J.**, 2023. <https://doi.org/10.5585/geas.v12i2.22368>
- MENESES, G. DE O. Projeção da expansão urbana do distrito Sede do município de Ouro Preto e a formação de áreas de risco. 2023.
- NATIONS, U. World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights. department of economic and social affairs. **Population Division, United Nations**, v. 32, 2014.
- NUNES, I. DA S.; FILHO, B. DE F. B. Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV): influências na expansão urbana em Pau dos Ferros/RN. **Revista Pensar Geografia**, 2020. <https://doi.org/10.26704/pgeo.v4i1.2111>
- OLIVEIRA, H. C. M. D.; SOARES, B. R. CIDADE MÉDIA: APONTAMENTOS METODOLÓGICOS E TIPOLOGIA. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 52, 12 dez. 2014. <https://doi.org/10.14393/RCG155223678>

OSHIRO, T. M. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Bioinformática. 2013.

PARFITT, C. M.; GALLO, B. B.; ALBA, J. M. F. A evolução da periferia na conurbação Pelotas- Capão do Leão. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 2, p. 244–263, 7 ago. 2020a. <https://doi.org/10.5216/ag.v14i1.51794>

PEREIRA, F. V.; CARSALADE, F. D. L. DO PLANEJAMENTO URBANO AO INVENTÁRIO COMO INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 9, p. 15491–15514, 25 set. 2023.

PEREIRA, G. C.; SILVA, S. C. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. DE. **Salvador no século XXI: Transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas-cenários e desafios**. [s.l.] Letra Capital/Observatório das Metrópoles, 2017. <https://doi.org/10.56083/RCV3N9-108>

PEREIRA, J. D. A. et al. Análise espaço-temporal das transformações ambientais do município de Sousa (PB). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 340–348, 2 jul. 2022. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0027>

PEREIRA, L. A. G.; FERREIRA, W. R. COMÉRCIO INTERNACIONAL, REDES DE TRANSPORTES E FLUXOS DAS EXPORTAÇÕES DE MERCADORIAS EM MONTES CLAROS – MG. v. 12, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i23.32474>

POLIDORI, M. C.; TOMIELLO, F.; PERES, O. M. A segunda onda e as bordas da cidade: simulação de crescimento urbano com autômatos celulares. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 6, p. 4683–4695, 26 jun. 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.6-102>

ROSA, M. R. Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Geography Department University of Sao Paulo**, p. 15–21, 9 set. 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145784>

ROSA, T. et al. MODIFICAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL-REI - MG COM ÊNFASE PARA ÁREAS DE REGENERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL. **Caminhos de Geografia**, 24 jul. 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196622>

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

SANTANA, M. DE O.; SILVA, M. P. Hegemonia do capital imobiliário na (re)produção do espaço da Orla Atlântica de Salvador, Bahia, Brasil, entre 2006 e 2018. **Geografares**, v. 3, n. 37, p. 307–333, 1 dez. 2023. <https://doi.org/10.47456/geo.v3i37.41031>

SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 476–495, 8 abr. 2021. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887>

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia**. 1988.

SAPUTRA, M. H.; LEE, H. S. Prediction of Land Use and Land Cover Changes for North Sumatra, Indonesia, Using an Artificial-Neural-Network-Based Cellular Automaton. **Sustainability**, v. 11, n. 11, p. 3024, 28 maio 2019. <https://doi.org/10.3390/su11113024>

SARAIVA, M.; POLIDORI, M. C. **Simulando crescimento urbano com apoio em SIG, grafos e autômatos celulares**. Em: ANAIS DA XIII CONFERÊNCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. TOLUCA, MÉXICO: EDITORA DA UAEM. 2011.

SILVA, R. F. DA et al. Sensoriamento Remoto aplicado à análise da regeneração da vegetação natural do Parque Estadual da Lapa Grande, Montes Claros, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 65, p. 304, 22 abr. 2021. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p304>

SIRAKOULIS, G. C.; KARAFYLLIDIS, I.; THANAILAKIS, A. A cellular automaton model for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation. **Ecological Modelling**, v. 133, n. 3, p. 209–223, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00294-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00294-5)

SOARES FILHO, B. S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. **Escola Politécnica. São Paulo, Universidade de São Paulo**, 1998.

SOUZA, C. M. D. et al. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico. **Labor e Engenho**, v. 13, p. e019014, 9 nov. 2019. <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8654619>

SOUZA, C. M. P. D. et al. Multivariate Analysis and Machine Learning in Properties of Ultisols (Argissolos) of Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 0, 6 dez. 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170419>

SOUZA, C. Y. V. DE; PEREIRA, A. M. Expansão das instituições de ensino superior e as dinâmicas espaciais intraurbanas em Montes Claros/MG. **Geografares**, n. 32, 2021a. <https://doi.org/10.47456/geo.v1i32.30893>

SOUZA, C. Y. V. DE; PEREIRA, A. M. Expansão das instituições de ensino superior e as dinâmicas espaciais intraurbanas em Montes Claros/MG. **Geografares**, n. 32, 2021b. <https://doi.org/10.47456/geo.v1i32.30893>

TAMIMINIA, H. et al. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 164, p. 152–170, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

TRENTI, G.; FREITAS, M. I. C. Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 1, p. 295–305, 2010. <https://doi.org/10.14393/rbcv62n0-43709>

VELOSO, M. DAS D. M. et al. Dinâmica Espaço-Temporal da Cobertura e Uso do Solo em Unidades de Conservação no Norte de Minas Gerais, Brasil, entre 1986 e 2015. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 12, n. 2, 5 maio 2022. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i2.2032>

VENDRUSCOLO, D. G. S. et al. ESTIMATIVA DA ALTURA DE EUCALIPTO POR MEIO DE REGRESSÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS. 2016.

VIÉGAS, V. S.; CRUZ, C. B. M.; SOUZA, E. M. F. D. R. D. Autômatos celulares no contexto da modelagem dinâmica: desafios da modelagem de espaços urbanos. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 41, p. e181171, 21 jun. 2021. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.181171>

WOLFRAM, S. **A new kind of science**. [s.l.] Wolfram media Champaign, IL, 2002. v. 5

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>

4.2. CAPÍTULO 2 - SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO URBANO DE MONTES CLAROS PARA O ANO DE 2050.

4.2.1. RESUMO

É esperado um crescimento considerável das cidades até o ano de 2050, o que pode afetar diretamente na qualidade de vida dos habitantes, devido as alterações que são feitas no uso e cobertura do solo a partir da expansão da mancha urbana. Assim, esse trabalho tem como objetivo simular o crescimento da área urbana de Montes Claros/MG para o ano de 2050, utilizando o *plugin* MOLUSCE do *software* do Qgis, que utiliza o modelo de células autômatos para gerar a simulação. A simulação mostrou que a área urbana pode crescer cerca de 30,49 km², principalmente, sobre áreas de Cerrado e Pastagem, classes que apresentaram maior redução. Dessa forma, a cidade apresentou maior tendência de crescimento nos sentidos leste e sul, regiões que já apresentam poucas amenidades ambientais e que podem sofrer maiores impactos ambientais no futuro e contribuir para uma menor valorização. No sentido sudoeste, também é identificado um crescimento urbano, no entanto, essa região é ocupada por casas de alto padrão e próximos a área de proteção ambiental, o que contribui para maior conforto ambiental dos habitantes e valorização da terra.

Palavras-chave: Crescimento urbano; MOLUSCE, Células autômatos.

4.2.2. INTRODUÇÃO

A conversão do uso do solo causada pela expansão da mancha urbana resulta na diminuição de áreas vegetadas e no aumento de áreas construídas, o que afeta diretamente na qualidade de vida e bem-estar urbano. Esses cenários se tornam cada vez mais frequentes e são esperados para os anos seguintes, devido ao constante crescimento das cidades e aumento populacional que, até o ano de 2050, o planeta poderá alcançar cerca de 9 bilhões de habitantes, com 70% residindo em cidades (FAO, 2022). Assim, os mapeamentos e estudos relacionados ao crescimento urbano, sobretudo sua expansão

sobre áreas ambientais, são necessários e devem ocorrer continuamente, para que haja o monitoramento da qualidade ambiental urbana a medida que ocorre a expansão urbana, além de servir como apoio para o poder público gerir e planejar as cidades (Santos; Nunes, 2021).

Para o monitoramento do crescimento urbano, desde 1980, os autômatos celulares (CA) são usados em maior escala para o desenvolvimento de estudos da expansão urbana, devido a sua capacidade de relacionar o espacial e o temporal, e apresentar diferentes resultados à medida que variáveis são inseridas ou excluídas do modelo (Viégas; Cruz; Souza, 2021). Os CA's quando são associados a outras ferramentas, como a *Artificial Neural Network* (ANN), alcançam resultados ainda melhores, em razão da capacidade da ANN em otimizar e integrar grande quantidade de variáveis que são utilizadas para gerar e simular o uso do solo (Basse et al., 2014b). Além disso, a evolução do sensoriamento remoto com a disponibilização de imagens de satélite em boa qualidade, contribuiu para o desenvolvimento de estudos com resultados cada vez mais reais e para a simulação de cenários para diferentes fenômenos ambientais (Viégas; Cruz; Souza, 2021).

A cidade de Montes Claros, localizada na região Intermediária de Montes Claros (REGIC, 2017) e é considerada como a cidade polo da região, atuando como referência no Norte de Minas, Vale do Jequitinhonha e Sul da Bahia (Ferreira Alves et al., 2020). Devido a importância dessa cidade e o crescimento urbano expressivo nas últimas décadas, há a necessidade de pensar e planejar Montes Claros afim de alcançar um futuro em um espaço urbano mais organizado e confortável para a população residente. Dessa forma, esse capítulo tem como objetivo desenvolver a simulação da área urbana de Montes Claros para o ano de 2050, e analisar a distribuição social da população nesse espaço urbano.

4.2.3. MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.3.1. Área de estudo

O município de Montes Claros está localizado na Região Intermediária de Montes Claros (RIMC) (IBGE, 2017), ao norte do estado de Minas Gerais (Figura 7). Possui população de 414.240 habitantes (IBGE, 2022), o que representa um crescimento populacional de 14,46% em relação ao censo de 2010. A economia do município baseia-se, principalmente, no setor terciário, com PIB per capita de R\$ 23.426,26, que aumentou

cerca de 75,06% em relação ao último censo (IBGE, 2020). E possui Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 0,770 (IBGE, 2010).

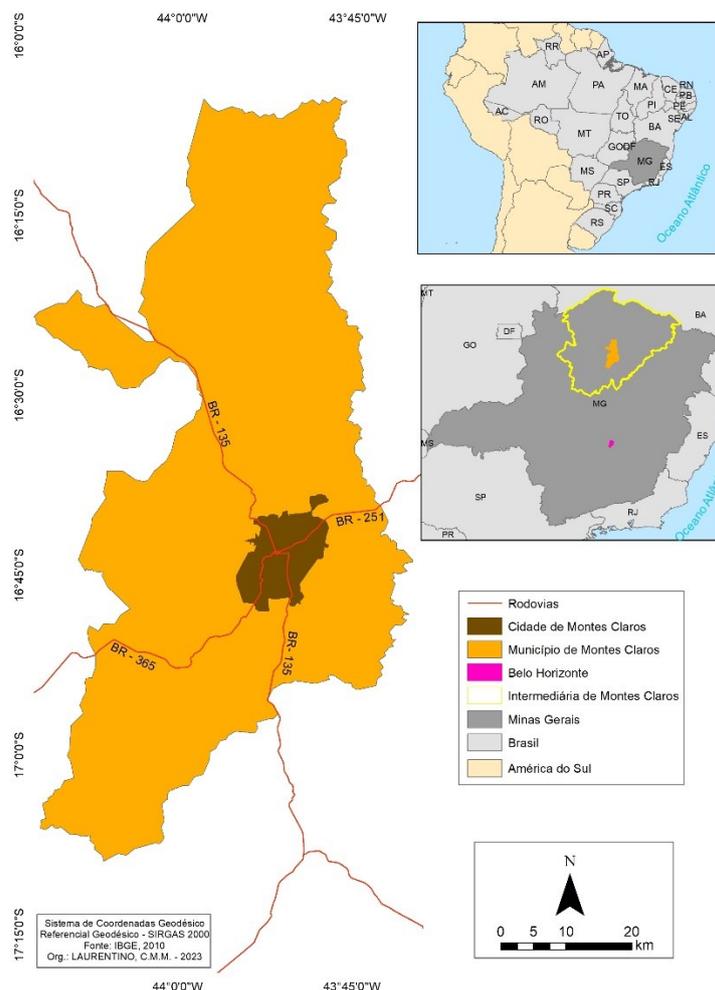


Figura 7: Localização do Município de Montes Claros/MG

Devido as funções exercidas no cenário norte mineiro, Montes Claros possui uma função centralizadora na região, assim, é classificada como cidade média (França, 2007; Amorim Filho; Rigotti; Campos, 2007). Também, é considerada como Capital Regional B, que sofre influência direta da capital Belo Horizonte, conectadas pela BR 135 (REGIC, 2020). O município também pode ser acessado por rodovias federais BR 365 e BR 251. O desenvolvimento de Montes Claros foi impulsionado, principalmente, a partir da década de 1960, após a inserção do município na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Sudeste (SUDENE), que contribuiu para o processo de industrialização, oportunidades de emprego e, conseqüentemente, atração populacional (França, 2007).

4.2.3.2. Procedimentos metodológicos

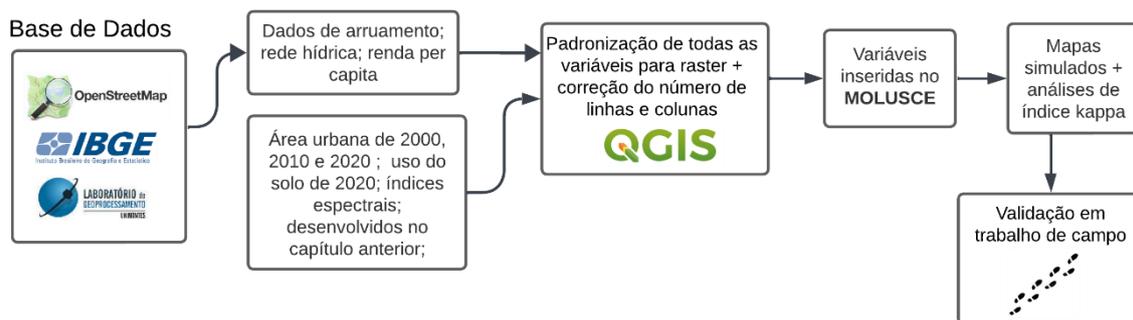


Figura 8: Fluxograma das etapas executadas no estudo

Para gerar a simulação de crescimento para o ano de 2050 da área urbana de Montes Claros, foi realizado a extração da mancha urbana, identificada nos usos do solo desenvolvidos para os anos de 2000, 2010 e 2020, no capítulo 1 deste trabalho. Também foram adicionadas as imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30m; dados do arruamento de Montes Claros (OSM, 2023), rede hídrica (IBGE, 2017) e renda *per capita* dos moradores de Montes Claros por região de planejamento (Laboratório de Geoprocessamento, 2010), para o processo de treinamento e desenvolvimento da simulação. A manipulação dos dados, confecção dos mapas e a simulação de crescimento urbano foram realizados no *software* livre Qgis.2.18 e no *plugin* MOLUSCE.

4.2.3.3. Elaboração do cenário futuro

Para gerar a simulação futura da área urbana de Montes Claros, foi utilizado o *plugin* MOLUSCE, no *software* Qgis 2.18, única versão que o disponibiliza. O MOLUSCE utiliza células autômatos (CA), método comum em trabalhos sobre análises e simulações de mudanças de uso e cobertura do solo, que se fundamenta em regras de transição. Nesse modelo, o estado futuro do alvo representado em um pixel é estimado a partir do seu estado inicial (Clarke; Gaydos, 1998; Saputra; Lee, 2019).

No Qgis, o MOLUSCE realiza o processamento apenas com arquivos em formato *raster*, contendo o mesmo número de linhas e colunas. Assim, foi necessária a conversão e padronização de todas as variáveis usadas nesse estudo para o formato *raster* de entrada do MOLUSCE. A conversão e padronização foram feitas no *software* Qgis 2.18. Para otimizar o processo de simulação, em razão do tempo e capacidade de processamento do hardware, foi realizado apenas a extração da classe urbano dos usos do solo, desenvolvidos anteriormente neste trabalho.

Inicialmente, foi feita a inserção das variáveis independentes e dependentes, ou seja, variáveis que influenciam e sofrem efeitos de alteração na paisagem ao longo do tempo (Medeiros; Torezan; Neto, 2010). As variáveis independentes usadas foram: a) distância euclidiana do arruamento; b) distância euclidiana da hidrografia; c) altitude d) declividade; e) renda *per capita* dos moradores. A variável dependente é a classe urbano, extraída dos usos do solo dos anos de 2000, 2010 e 2020.

No MOLUSCE podem ser utilizados vários métodos de previsão. Nesse estudo, para a projeção/previsão do uso e cobertura do solo, na área de estudo, para o ano de 2050, foi escolhido o método por *Artificial Neural Network (ANN)* - Rede Neural Artificial, pois possui capacidade de simular inúmeras mudanças de uso do solo, considerando a influência de diferentes variáveis (Saputra; Lee, 2019).

Para treinar o MOLUSCE, para o processo de simulação/previsão, foram estabelecidos os seguintes parâmetros: a) *neighbourhood* (vizinhança), que define a quantidade de pixels vizinhos ao pixel raiz, com matriz 3x3; b) *learning rate* (taxa de aprendizagem), em 0,002; c) *maximum iterations* (número máximo de iterações), em 1000; d) *Hidden layers* (camadas ocultas, que fazem as transformações não lineares na rede), em 10 camadas; e) *Momentum* (valor de momento), em 0,40. Não há uma padronização estabelecida para esses parâmetros, para defini-los foram necessários alguns testes até alcançar o melhor resultado. Nesse processo empírico, também foram testados valores já utilizados na literatura, em trabalhos similares (Alshari; Gawali, 2022; Buğday; Buğday, 2019).

Após o treinamento do modelo, com as imagens de 2000 e 2010, foram geradas duas imagens simuladas para os anos de 2020 e 2050. O produto simulado para o ano de 2020 considerou os padrões observados entre os usos de 2000 e 2010. Para validar o dado simulado de 2020, o MOLUSCE realiza uma comparação entre o dado simulado e o mapa real do mesmo ano, neste caso, o mapa real é a área urbana extraída do uso do solo gerado para o ano de 2020. O outro produto, gerado da simulação/previsão para o ano de 2050, teve por objetivo a análise do estado do uso e cobertura para o ano em questão. A análise estatística da simulação foi realizada com base no índice *kappa*, calculado a partir dos mapas simulados e de referência/real. Após gerar a simulação para o ano de 2050, a área urbana da simulação foi sobreposta ao uso e cobertura do solo de 2020, para a analisar sobre quais classes a área urbana apresentou maiores tendências de crescimento ao longo das três décadas seguintes.

4.2.4. RESULTADOS

4.2.4.1. Crescimento urbano de Montes Claros entre os anos de 2000 e 2020

A área urbana de Montes Claros apresentou 45,51 km² em 2000 - já em 2020, registrou 72,55 km² de extensão, o que representa um crescimento de 27,04 km², ou seja, em 20 anos observados, a área urbana cresceu 59,41%. No período analisado, a área urbana apresentou maior crescimento nos sentidos norte, leste e sul da cidade (Figura 9).

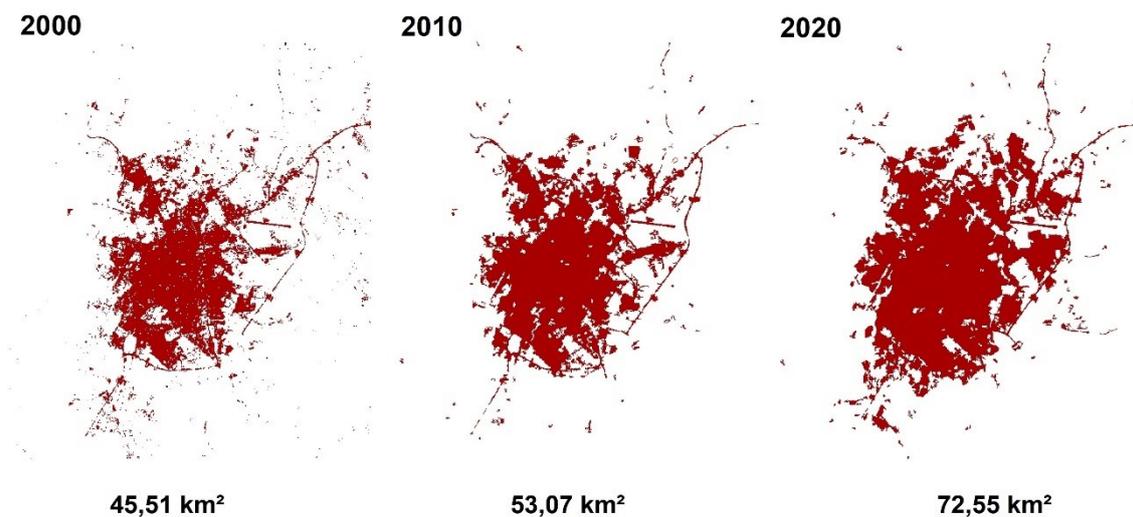


Figura 9: Área Urbana de Montes Claros para os anos de 2000, 2010 e 2020, obtida pelo algoritmo de classificação Random Forest.

4.2.4.2. Simulação de crescimento de 2020 a 2050

A validação do mapeamento ocorreu entre a comparação do mapa de uso e cobertura do solo, obtido pelo algoritmo classificador *Random Forest* no *software* RStudio, e o dado simulado para 2020, pelo próprio MOLUSCE. A diferença entre esses dois produtos resultou em um percentual de certeza de 92,62%; *kappa overall* (acurácia total dos pixels classificados corretamente) em 0,77%; *kappa Histogram* (frequência de distribuição da simulação) em 0,99%; *kappa location* (habilidade de distribuição da simulação) em 0,77% (Figura 10).

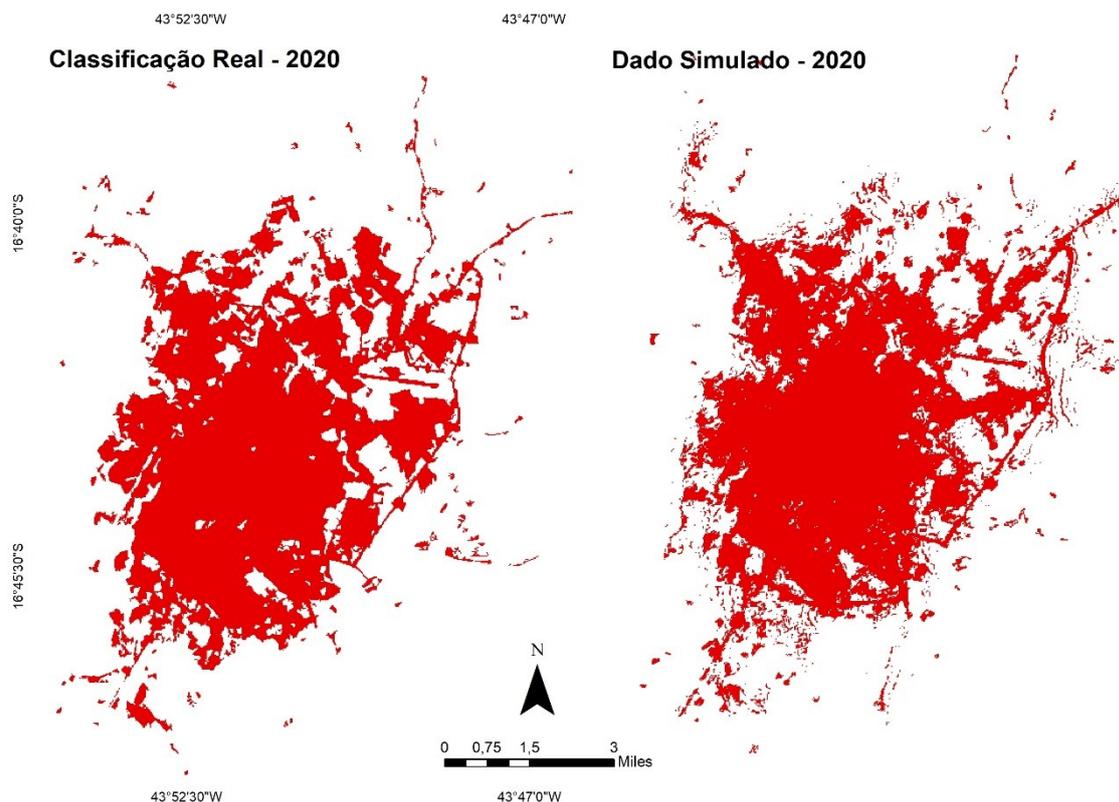


Figura 10: Classificação real do uso e cobertura do solo (2020) e o dado simulado (2020) no MOLUSCE da área urbana de Montes Claros/MG.

Após o treinamento e validação do resultado para 2020, foi gerado a projeção/simulação da área urbana de Montes Claros para o ano de 2050. A área urbana derivada da classificação de 2020 registrou 72,55 km². Já a projeção para 2050, apresentou uma área urbana de 103,04 km² (Mapa A/Figura 11). Assim, para os próximos 30 anos, foi projetado um crescimento de 30,49 km², ou seja, um aumento de 42,03%. As maiores tendências de crescimento urbano podem ser observadas nos sentidos leste e sul da cidade de Montes Claros.

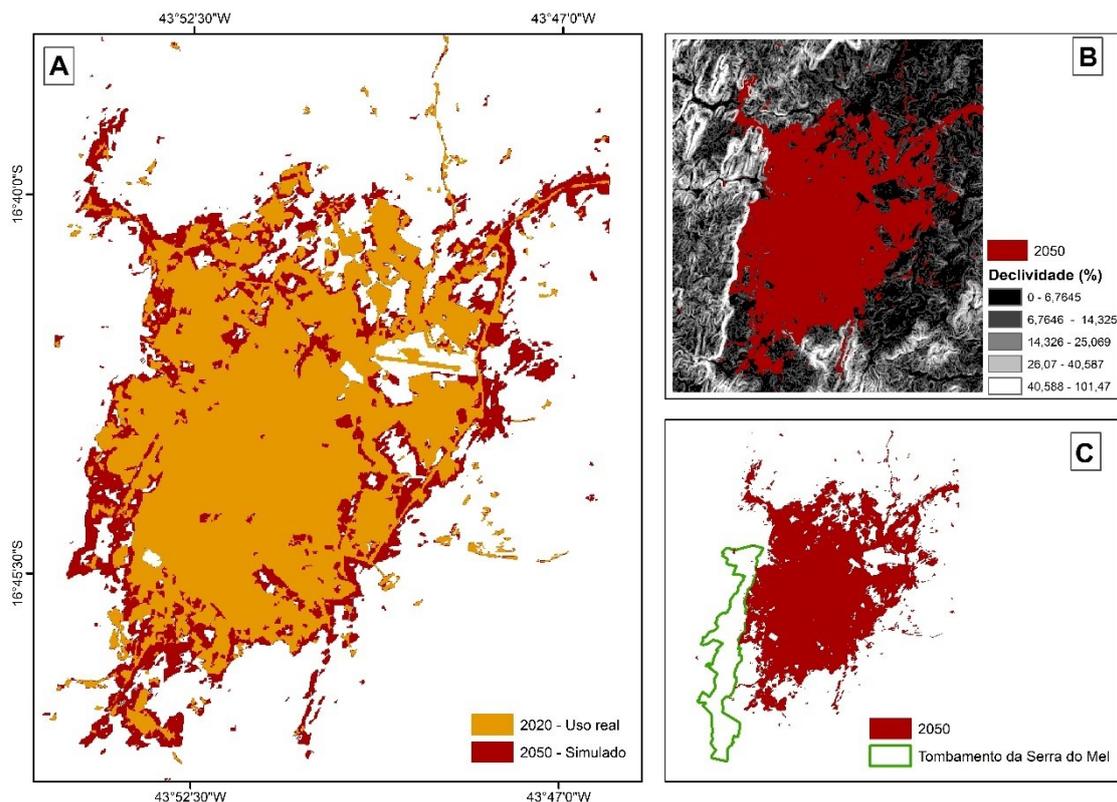


Figura 11: Projeção de crescimento urbano para o ano de 2050 da área urbana de Montes Claros/MG.

Após a sobreposição da projeção de 2050 sobre a classificação de uso e cobertura do solo de 2020, foi observado que a área urbana de Montes Claros crescerá, principalmente, sobre áreas de Cerrado e Pastagem, isso porque, foram as classes que apresentaram maior redução espacial; Cerrado (-16,4 km² / -14,83%) e Pastagem (-9,22 km² / -20,05%). Já para a Mata Seca, é esperado uma redução menos significativa, cerca de 1,75%.

4.2.5. DISCUSSÕES

A área urbana de Montes Claros apresentou maior expansão nos sentidos leste e sul da cidade, entre os anos de 2000 e 2020 (Figura 9) e, sobre essas mesmas regiões, a projeção para o ano de 2050 revela uma tendência de crescimento (Figura 11). Assim como em outras cidades médias, as áreas periféricas de Montes Claros apresentam distintos padrões de ocupação, marcadas por diferentes grupos sociais e padrões arquitetônicos (Calixto, 2021) (Figura 12). Dessa forma, as regiões de maior crescimento urbano – regiões leste e sul - possuem elevada ocupação populacional, com estrutura etária jovem e com renda *per capita* baixa (Leite; Brito, 2011). Devido esse perfil social, essas regiões da cidade possuem a forte presença de casas e loteamentos populares,

desenvolvidos por programas habitacionais do governo que visam atender a esse público (França; Barbosa, 2019).

A construção de loteamentos populares, sobretudo em formato horizontal, contribui fortemente para a expansão da área urbana. Logo, essa população se encontra distante das atividades econômicas do centro e dependentes de longas viagens de transporte público, além, de sofrerem com a escassez de equipamentos urbanos básicos (França; Barbosa, 2019; Calixto, 2021). A exemplo, o campo realizado na região leste de Montes Claros revela a presença de casas padronizadas, com baixo padrão arquitetônico e construídas em larga escala. Também, é observado a ausência de vegetação, o que afeta a qualidade ambiental da região.



Figura 12: Casas padronizadas no bairro Independência, na região leste de Montes Claros/MG.

Já na região sudoeste da cidade, onde estão localizados bairros de maior renda per capita de Montes Claros, é possível observar um crescimento urbano pouco significativo entre os anos de 2000 e 2020 (Figura 9). No entanto, a simulação de 2050 relevou um crescimento urbano mais expressivo para essa região, o que pode significar o aumento de condomínios fechados e imóveis de alto padrão, destinados ao público de maior poder aquisitivo, já predominante dessa região (França et al., 2014; Calixto, 2021) (Figura 13). O aumento da mancha urbana nessa área da cidade, releva um crescimento em direção a área de proteção ambiental de Montes Claros, a Serra do Mel (Decreto nº 3.647), que abriga parques municipais e estaduais. Todavia, mesmo com o crescimento urbano em direção a área ambiental, a projeção para o ano de 2050 não ultrapassou os limites da legislação ambiental vigente e não ocupou as áreas mais íngremes do relevo, com declividade superior a 45 graus, que correspondem a áreas de APP, segundo resolução do

CONAMA n° 303/2002 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002) (Mapa B / Mapa C / Figura 11).



Figura 13: Casas de alto padrão no bairro Ibituruna, região sudoeste de Montes Claros/MG.

O trabalho de campo realizado na região sudoeste de Montes Claros comprova a presença de casas de alto padrão, construídas em uma área com vegetação, onde desfrutam de maior qualidade ambiental e segurança, sobretudo pela presença de condomínios fechados com portaria 24 horas e forte sistema de segurança (Figura 13).

Ademais, ao fazer a sobreposição da projeção de 2050 ao uso do solo de 2020, foi observado uma redução das classes de Cerrado e Mata Seca, o que significa um crescimento urbano sobre as áreas vegetadas em 2050, capaz de afetar na qualidade de vida dos montes-clarenses (Souza et al., 2019), sobretudo a população localizada nas regiões norte, leste e sul, onde não há limite legislativo ambiental e apresenta crescimento urbano constante desde o primeiro ano analisado, ano 2000. A figura 14 mostra um novo loteamento em implantação na região sul da cidade, que reforça o crescimento urbano que é esperado para essa área nos próximos anos conforme a simulação. Além disso,

também é possível observar o avanço urbano sobre a vegetação, o que justifica a redução das classes de Cerrado e Mata Seca.



Figura 14: Novo loteamento na região sul de Montes Claros/MG

A projeção de 2050 mostra uma área urbana 30,49 km² maior, logo, espera-se um espaço urbano mais complexo e marcado por efeitos da urbanização, assim, as áreas da cidade que possuem maior amenidade ambiental, derivada da concentração do verde na região, sofrem com ação dos agentes imobiliários, que visam o lucro e fomentam a sua valorização (Calixto, 2021). Sendo assim, essa realidade pode favorecer a disparidade social de Montes Claros, mantendo a região sudoeste sobre uma frente periférica de maior valorização em detrimento das demais.

Ao analisar a projeção de 2050, observa-se um crescimento urbano no sentido nordeste da cidade, onde está localizado a BR 251, no entanto, essa expansão se mostra pouco possível, devido essa área da cidade não apresentar, atualmente, uma urbanização consolidada e não ser foco de investimentos imobiliários. Mas, devido a importância do relevo no direcionamento da expansão urbana, acredita-se que o modelo atribuiu essa variável como importante para o crescimento, devido a região apresentar um relevo mais aplainado e propício a expansão.

4.2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação desenvolvida para a cidade de Montes Claros até o ano de 2050 revelou um crescimento expressivo para a área urbana, onde foi possível observar as maiores tendências de crescimento, com destaque para as regiões leste e sul, estimuladas pela implantação de habitações sociais desenvolvidas pelo poder público, pelo relevo

propício ao desenvolvimento urbano e ao baixo preço de terra dessas regiões. Assim, as simulações de cenários futuros, geradas por meio das geotecnologias e da inteligência artificial, contribuem para a construção de cenários irreais para cidades reais, capazes de auxiliarem nas decisões do poder público, afim de conduzirem a cidade para o melhor cenário futuro e garantir a qualidade de vida de seus habitantes. Dessa forma, as geotecnologias se evidenciam como um instrumento importante, acessível e hábil para as questões urbanas.

5. CONCLUSÃO GERAL

Ao analisar o crescimento da área urbana de Montes Claros, entre os anos de 1985 e 2050, foi identificado e projetado uma expansão urbana expressiva. Na cidade, destacam-se a região leste e sul, que apresentaram alterações no solo durante todo o período analisado. Já no sentido sudoeste, também é esperado uma expansão urbana, no entanto, para essa região cabe maior atenção, devido a presença da área de proteção ambiental. Nas demais áreas, o crescimento urbano se mostra menos expressivo, em razão do pouco investimento urbano que é empregado nessas áreas atualmente. A análise espacial permitiu a visualização das áreas que mais carecem da aplicação de medidas públicas, sobretudo aquelas que sofreram maior alteração na paisagem em função do crescimento urbano. Isso porque, a preservação de áreas verdes proporcionam melhor qualidade de vida aos habitantes, o que influencia diretamente na valorização do solo urbano. Logo, também contribui para a disparidade social da cidade.

Assim, esse estudo revela as alterações já sofridas na área urbana de Montes Claros e projeta um cenário para o ano de 2050, que podem servir ao poder público como um instrumento de referência para tomar as melhores medidas públicas e garantir a qualidade de vida urbana dos habitantes montes-clarense em todo o seu contexto urbano e, não somente, a valorização de parte da população. Ainda, reforçou a importância das Geotecnologias e da evolução das técnicas computacionais, bem como os *softwares* e algoritmos, que permitiram a análise do processo de expansão urbana de Montes Claros, de forma ágil e com custos reduzidos, devido a disponibilidade de ferramentas gratuitas.

6. REFERÊNCIAS

ALBERTI, M. Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework. **Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature**, p. 623–646, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_41

ALENCAR, A. et al. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 924, 13 mar. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>

ALSHARI, E. A.; GAWALI, B. W. Modeling Land Use Change in Sana'a City of Yemen with MOLUSCE. **Journal of Sensors**, v. 2022, p. 1–15, 2022a. <https://doi.org/10.1155/2022/7419031>

ALVES, C. D.; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. G. ANÁLISE ORIENTADA A OBJETO NO MAPEAMENTO DE ÁREAS URBANAS COM IMAGENS LANDSAT. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 15, n. 1, 2009.

AMINI, S. et al. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2654, 1 jun. 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14112654>

AMORIM FILHO, O. B.; RIGOTTI, J. I. R.; CAMPOS, J. Os níveis hierárquicos das cidades médias de Minas Gerais. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 13, 2007. <https://doi.org/10.5380/raega.v13i0.7784>

ASSIS, L. F.; ARAÚJO, F. F.; GOMES, M. F. A TERCIARIZAÇÃO NA CIDADE MÉDIA DE SOBRAL E SUAS INFLUÊNCIAS NO COMÉRCIO DAS CIDADES PEQUENAS DE CARIRÉ E VARJOTA-CE (The tertiary activities intensification in the middle city of Sobral and its influence on the commerce of Cariré and Varjota small...). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 8, n. 1, 2006.

AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. Em: **Simulating social phenomena**. [s.l.] Springer, 1997. p. 21–40. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03366-1_2

BASSE, R. M. et al. Land use changes modelling using advanced methods: Cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. **Applied Geography**, v. 53, p. 160–171, 2014a. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.016>

BORGES, M. G. FITOFISIONOMIAS DO CERRADO E AS ÁREAS POTENCIAIS DE OCORRÊNCIA DO PEQUIZEIRO (CARYOCAR BRASILIENSE) E BURITIZEIRO (MAURITIA FLEXUOSA) NO NORTE DE MINAS GERAIS. 2018.

BRITO, H. C. D. et al. Use of Spatial Data in the Simulation of Domestic Water Demand in a Semiarid City: The Case of Campina Grande, Brazil. **Urban Science**, v. 7, n. 4, p. 120, 24 nov. 2023. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040120>

BRITO, J. L. et al. EVOLUÇÃO GEOGRÁFICA DO USO/COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO VIEIRA NO NORTE DE MINAS GERAIS. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 169–194, 2013. <https://doi.org/10.7154/RDG.2013.0026.0009>

BRITO, M. F.; PEREIRA, A. M. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPORTÂNCIA DO SETOR TERCIÁRIO PARA A ECONOMIA DE MONTES CLAROS/MG. 2013.

BUĎDAY, E.; BUĎDAY, S. E. MODELING AND SIMULATING LAND USE/COVER CHANGE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FROM REMOTELY SENSING DATA. *CERNE*, v. 25, n. 2, p. 246–254, jun. 2019. <https://doi.org/10.1590/01047760201925022634>

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. *Mercator (Fortaleza)*, v. 20, p. e20028, 2021a.

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. *Mercator (Fortaleza)*, v. 20, p. e20028, 2021b.

CALIXTO, M. J. M. S. Da lógica centro-periferia à lógica socioespacial fragmentária em uma cidade média. *Mercator (Fortaleza)*, v. 20, p. e20028, 2021c.

CERQUEIRA, M. C. DE. **Estudo do uso e cobertura da terra e fragmentação da vegetação natural na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes Geraizeiras no Norte de Minas Gerais, Brasil**. Master—[s.l.] Universidade de Brasília, 9 jun. 2016.

CHELIZ, P. M.; RODRIGUES, J. A.; LADEIRA, F. S. B. O papel do meio físico e relevo na ocupação humana: potencialidades, vulnerabilidades e impactos ambientais (enchentes, erosão e assoreamento) na trajetória histórica da região de Araraquara (SP). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 1, p. 584, 5 jan. 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p584-632>

CHO, D. F. et al. Desempenho do Algoritmo de Classificação de Imagens Random Forest para Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Cerrado Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 31 ago. 2021. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37979

CLARKE, K. C. Mapping and modelling land use change: an application of the SLEUTH model. *Landscape analysis and visualisation: Spatial models for natural resource management and planning*, p. 353–366, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69168-6_17

CLARKE, K. C.; GAYDOS, L. J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International journal of geographical information science*, v. 12, n. 7, p. 699–714, 1998. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. [s.l.] Ática, 1989. v. 174

COSTA, V. A. M.; FRANÇA, I. S. D. PRODUÇÃO DO ESPAÇO E VALORIZAÇÃO DO SOLO URBANO: um estudo acerca da valorização do solo no Ibituruna, zona Oeste da cidade de Montes Claros/MG. *Revista Cerrados*, v. 17, n. 01, p. 164–191, 18 fev. 2020. <https://doi.org/10.22238/rc2448269220191701164191>

DEUS, J. B. As cidades médias na nova configuração territorial brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 81–91, 2004.

DUARTE, T. E. P. N.; LEITE, L. B. CIDADES MÉDIAS NO CERRADO BRASILEIRO: DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Terra Plural**, v. 14, p. 1–7, 2020. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.14.2013420.006>

EL-TANTAWI, A. M. et al. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, p. 1–18, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7478-0>

ESPINDOLA, G. M. D.; CARNEIRO, E. L. N. D. C.; FAÇANHA, A. C. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. **Applied Geography**, v. 79, p. 73–83, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.018>

ESPÍRITO-SANTO, M. M. DO et al. Biophysical and socioeconomic factors associated to deforestation and forest recovery in Brazilian tropical dry forests. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 569184, 2020. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.569184>

FARIA, L. Planejamento estratégico, estatuto da cidade e plano diretor: métodos e instrumentos de organização e gestão do espaço urbano. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 32, p. 162–170, 2009. <https://doi.org/10.14393/RCG103215866>

FERREIRA ALVES, R. et al. ANÁLISE ESPACIAL DO ACESSO À EDUCAÇÃO PÚBLICA BÁSICA EM MONTES CLAROS/MG. **Revista de Geografia - PPGEO - UFJF**, v. 10, n. 2, p. 239–260, 4 dez. 2020.

FERREIRA, H. G. P. RANDOM FOREST NA PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. 2023.

FONTANA, A. G. Mapeamento temporal e predição da área da mancha urbana da região metropolitana de Porto Alegre-RS, utilizando geotecnologias e sensores remotos. 2022.

FORGET, Y. et al. Mapping 20 years of urban expansion in 45 urban areas of sub-Saharan Africa. **Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 525, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13030525>

FRANÇA, I. S. DE. A cidade média e suas centralidades: O exemplo de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. 2007a.

FRANÇA, I. S. DE; SOARES, B. R. Rede urbana regional, cidades médias e centralidades: estudo de Montes Claros e dos centros emergentes de Pirapora, Janaúba e Janaúria no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, p. 169, 30 nov. 2012. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n2p169>

FRANÇA, I. S. et al. CIDADE MÉDIA, POLARIZAÇÃO REGIONAL E SETOR DE EDUCAÇÃO SUPERIOR: ESTUDO DE MONTES CLAROS NO NORTE DE MINAS GERAIS. v. 2, 2009.

FRANÇA, I. S. et al. PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO E A DINÂMICA IMOBILIÁRIA NA CIDADE MÉDIA DE MONTES CLAROS/MG. v. 12, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2014.7611>

FRANÇA, I. S.; BARBOSA, R. S. EXPANSÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM MONTES CLAROS/MG. v. 36, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.236436>

FRANÇA, I. S. D. A CIDADE MÉDIA E SUAS CENTRALIDADES: O EXEMPLO DE MONTES CLAROS NO NORTE DE MINAS GERAIS. 2007b.

FÜHR, J. DE O. M.; SANTOS DIAS, E. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS PROVOCADOS PELO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR. **Perspectiva Geográfica**, v. 8, n. 9, 2013.

GALVÃO, L. G. M. Produção do espaço urbano na Serra do Mel por condomínios fechados em Montes Claros/MG. 2018.

GAO, J.; SKILLCORN, D. Capability of SPOT XS data in producing detailed land cover maps at the urban-rural periphery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 15, p. 2877–2891, jan. 1998. <https://doi.org/10.1080/014311698214325>

GHARAIBEH, A. et al. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>

KAFY, A.-A. et al. Modelling future land use land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100314, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100314>

KAISER, E. A. DINÂMICA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS: DIAGNÓSTICOS E PROGNÓSTICOS A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO PROXIMAL A ORBITAL. 2023.

KUNEN, A. et al. Contextualização do desenvolvimento urbano do município de Pato Branco-PR nos últimos dez anos a partir de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 02, p. 681–696, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p681-696>

LEFEBVRE, H. **O direito à cidade**. [s.l.] Centauro São Paulo, 2001. v. 5

LEITE, M. E.; BRITO, J. L. S. MAPEAMENTO DA DESIGUALDADE SOCIOECONÔMICA DE MONTES CLAROS/MG. 2011.

LEITE, M. E.; MELO, M. A. S. S. DE. Juventudes e espaço urbano: uma análise geográfica na cidade d Montes Claros/MG. **Caderno de Geografia**, 2017.

LEITE, M. E.; PEREIRA, A. M. Metamorfose do espaço intra-urbano de Montes Claros/MG. **Montes Claros: Unimontes**, 2008.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. DE S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2011.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Alterações na Cobertura do Solo em Teresina, Piauí, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 33, 23 jul. 2021. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-58922>

MA, Y.; XU, R. Remote sensing monitoring and driving force analysis of urban expansion in Guangzhou City, China. **Habitat International**, v. 34, n. 2, p. 228–235, abr. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.007>

MAXWELL, A. E.; WARNER, T. A.; FANG, F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. **International journal of remote sensing**, v. 39, n. 9, p. 2784–2817, 2018. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

MEDEIROS, H. R.; TOREZAN, J. M. D.; NETO, O. C. P. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DE PROJETOS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA INFLUENCIANDO NA REGENERAÇÃO DO SUB-BOSQUE. 2010.

MELLO, B. J. et al. A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A DESASTRES: CENÁRIOS E DESAFIOS PARA O MUNICÍPIO DE BRUSQUE (SC). **B. J.**, 2023. <https://doi.org/10.5585/geas.v12i2.22368>

MENESES, G. DE O. Projeção da expansão urbana do distrito Sede do município de Ouro Preto e a formação de áreas de risco. 2023.

NATIONS, U. World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights. department of economic and social affairs. **Population Division, United Nations**, v. 32, 2014.

NUNES, I. DA S.; FILHO, B. DE F. B. Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV): influências na expansão urbana em Pau dos Ferros/RN. **Revista Pensar Geografia**, 2020. <https://doi.org/10.26704/pgeo.v4i1.2111>

OLIVEIRA, H. C. M. D.; SOARES, B. R. CIDADE MÉDIA: APONTAMENTOS METODOLÓGICOS E TIPOLOGIA. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 52, 12 dez. 2014. <https://doi.org/10.14393/RCG155223678>

OSHIRO, T. M. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Bioinformática. 2013.

PARFITT, C. M.; GALLO, B. B.; ALBA, J. M. F. A evolução da periferia na conurbação Pelotas- Capão do Leão. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 2, p. 244–263, 7 ago. 2020a. <https://doi.org/10.5216/ag.v14i1.51794>

PEREIRA, F. V.; CARSALADE, F. D. L. DO PLANEJAMENTO URBANO AO INVENTÁRIO COMO INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 9, p. 15491–15514, 25 set. 2023.

PEREIRA, G. C.; SILVA, S. C. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. DE. **Salvador no século XXI: Transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas-cenários e desafios**. [s.l.] Letra Capital/Observatório das Metrôpoles, 2017. <https://doi.org/10.56083/RCV3N9-108>

PEREIRA, J. D. A. et al. Análise espaço-temporal das transformações ambientais do município de Sousa (PB). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 340–348, 2 jul. 2022. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0027>

PEREIRA, L. A. G.; FERREIRA, W. R. COMÉRCIO INTERNACIONAL, REDES DE TRANSPORTES E FLUXOS DAS EXPORTAÇÕES DE MERCADORIAS EM MONTES CLAROS – MG. v. 12, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i23.32474>

POLIDORI, M. C.; TOMIELLO, F.; PERES, O. M. A segunda onda e as bordas da cidade: simulação de crescimento urbano com autômatos celulares. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 6, p. 4683–4695, 26 jun. 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.6-102>

ROSA, M. R. Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Geography Department University of Sao Paulo**, p. 15–21, 9 set. 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145784>

ROSA, T. et al. MODIFICAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL-REI - MG COM ÊNFASE PARA ÁREAS DE REGENERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL. **Caminhos de Geografia**, 24 jul. 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196622>

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

SANTANA, M. DE O.; SILVA, M. P. Hegemonia do capital imobiliário na (re)produção do espaço da Orla Atlântica de Salvador, Bahia, Brasil, entre 2006 e 2018. **Geografares**, v. 3, n. 37, p. 307–333, 1 dez. 2023. <https://doi.org/10.47456/geo.v3i37.41031>

SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 476–495, 8 abr. 2021. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887>

SANTOS, M. *Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia*. 1988.

SAPUTRA, M. H.; LEE, H. S. Prediction of Land Use and Land Cover Changes for North Sumatra, Indonesia, Using an Artificial-Neural-Network-Based Cellular Automaton. **Sustainability**, v. 11, n. 11, p. 3024, 28 maio 2019. <https://doi.org/10.3390/su11113024>

SARAIVA, M.; POLIDORI, M. C. **Simulando crescimento urbano com apoio em SIG, grafos e autômatos celulares**. Em: ANAIS DA XIII CONFERÊNCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. TOLUCA, MÉXICO: EDITORA DA UAEM. 2011.

SILVA, R. F. DA et al. Sensoriamento Remoto aplicado à análise da regeneração da vegetação natural do Parque Estadual da Lapa Grande, Montes Claros, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 65, p. 304, 22 abr. 2021. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p304>

SIRAKOULIS, G. C.; KARAFYLLIDIS, I.; THANAILAKIS, A. A cellular automaton model for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation. **Ecological Modelling**, v. 133, n. 3, p. 209–223, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00294-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00294-5)

SOARES FILHO, B. S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. **Escola Politécnica. São Paulo, Universidade de São Paulo**, 1998.

SOUZA, C. M. D. et al. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico. **Labor e Engenharia**, v. 13, p. e019014, 9 nov. 2019. <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8654619>

SOUZA, C. M. P. D. et al. Multivariate Analysis and Machine Learning in Properties of Ultisols (Argissolos) of Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 0, 6 dez. 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcv20170419>

SOUZA, C. Y. V. DE; PEREIRA, A. M. Expansão das instituições de ensino superior e as dinâmicas espaciais intraurbanas em Montes Claros/MG. **Geografares**, n. 32, 2021a. <https://doi.org/10.47456/geo.v1i32.30893>

SOUZA, C. Y. V. DE; PEREIRA, A. M. Expansão das instituições de ensino superior e as dinâmicas espaciais intraurbanas em Montes Claros/MG. **Geografares**, n. 32, 2021b. <https://doi.org/10.47456/geo.v1i32.30893>

TAMIMINIA, H. et al. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 164, p. 152–170, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

TRENTI, G.; FREITAS, M. I. C. Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 1, p. 295–305, 2010. <https://doi.org/10.14393/rbcv62n0-43709>

VELOSO, M. DAS D. M. et al. Dinâmica Espaço-Temporal da Cobertura e Uso do Solo em Unidades de Conservação no Norte de Minas Gerais, Brasil, entre 1986 e 2015. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 12, n. 2, 5 maio 2022. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i2.2032>

VENDRUSCOLO, D. G. S. et al. ESTIMATIVA DA ALTURA DE EUCALIPTO POR MEIO DE REGRESSÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS. 2016.

VIÉGAS, V. S.; CRUZ, C. B. M.; SOUZA, E. M. F. D. R. D. Autômatos celulares no contexto da modelagem dinâmica: desafios da modelagem de espaços urbanos. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 41, p. e181171, 21 jun. 2021. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.181171>

WOLFRAM, S. **A new kind of science**. [s.l.] Wolfram media Champaign, IL, 2002. v. 5

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>