



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Influência do relevo na dinâmica temporal do uso e cobertura da terra no norte de Minas Gerais, Brasil

João Paulo Sena-Souza¹, Thaís Vasconcellos Crespo², Gabriel Cristian da Silva Soares³, Luís Ricardo Fernandes da Costa⁴, Manoel Reinaldo Leite⁵

¹Doutor em Ciências Ambientais, Docente do Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Universitário Prof. Darcy Ribeiro, Av. Prof. Rui Braga, s/n - Vila Mauriceia, Montes Claros - MG, CEP 39401-089, jpsenasouza@gmail.com (autor para correspondência).

²Graduanda em Geografia no Departamento de Geociências, bolsista de Iniciação Científica na Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Universitário Prof. Darcy Ribeiro, Av. Prof. Rui Braga, s/n - Vila Mauriceia, Montes Claros - MG, CEP 39401-089, tha.vasc96@gmail.com. ³Graduando em Geografia no Departamento de Geociências, bolsista de Iniciação Científica na Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Pirapora, Av. das Indústrias, s/n - Industrial, Pirapora - MG, 39270-000, gabrielcristiansilva1935@gmail.com. ⁴Doutor em Geografia, Docente do Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Universitário Prof. Darcy Ribeiro, Av. Prof. Rui Braga, s/n - Vila Mauriceia, Montes Claros - MG, CEP 39401-089, luis.costa@unimontes.br. ⁵Mestre em Geografia, Docente do Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Universitário Prof. Darcy Ribeiro, Av. Prof. Rui Braga, s/n - Vila Mauriceia, Montes Claros - MG, CEP 39401-089, manoel.leite@unimontes.br.

Artigo recebido em 30/03/2022 e aceito em 20/07/2022

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar a influência das unidades geomorfológicas na dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na Microrregião de Pirapora-MG, norte de Minas Gerais. A metodologia foi definida pela sistematização e adaptação de dados espaciais secundários de uso e cobertura da terra, disponíveis para download na plataforma digital do projeto MapBiomias; e dados de unidades de relevo da Geodiversidade de Minas Gerais disponibilizado pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). Os dados vetoriais de relevo da CPRM serviram como base para o mapeamento das unidades geomorfológicas e foram adaptados por meio de vetorização digital de composição colorida (RGB – vermelho, verde, azul) de parâmetros morfométricos (altitude, declividade e curvatura). Os dados de uso e cobertura da terra entre 1988 e 2018 foram recortados para cada unidade geomorfológica identificada na área de estudo. Isso permitiu comparar os padrões de uso e cobertura da terra nos anos analisados e observar a influência do relevo nesses padrões. Foram elaborados diagramas de Sankey separados por unidade geomorfológica para detalhar as substituições de classes de cobertura da terra predominantes em cada período. Os resultados mostraram que as unidades geomorfológicas impõem limites biogeográficos para o avanço da substituição da vegetação natural por atividades antrópicas. Unidades geomorfológicas com predomínio de terreno plano, como as chapadas e platôs, concentram o avanço das atividades agrícolas da região. Por outro lado, áreas com padrões de relevo mais movimentado, como as superfícies aplainadas degradadas, concentram a maior parte das pastagens. O trabalho reforça a importância do relevo em estudos sobre a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: dinâmica da paisagem, geomorfologia, mudanças de uso do solo, Mapbiomas.

Geomorphological Influence on the Land Use/Land Cover temporal dynamic in northern Minas Gerais, Brazil

ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of geomorphological units on the temporal dynamics of land use and land cover (LULC) in the northern Minas Gerais, Brazil. For that, we used secondary LULC data, available for download on the MapBiomias project's digital platform; and adapted the geomorphological units of the Geodiversity dataset from the *Serviço Geológico Brasileiro* (CPRM). The CPRM's relief data was the basis for mapping the geomorphological units and were adapted employing digital vectorization of color composition (RGB – red, green, blue) of morphometric parameters (altitude, slope and minimum curvature). LULC data for the years 1988, 1998, 2008, and 2018 were cut for each geomorphological unit identified in the study area. This allowed us to compare LULC patterns in the analyzed years and to observe the influence of the relief on these patterns. We elaborated Sankey diagrams for each unit geomorphological to detail the predominant LULC class changes in each period. The results showed that the geomorphological units impose biogeographic limits for the natural vegetation replacement by human activities. Geomorphological units with a predominance of flat terrain, such as high plateaus, concentrate the agricultural activities in the region. On the other hand, areas with more unstable relief patterns, such as degraded planed surfaces, concentrate most of the pastures. The results presented here reinforces the importance of geomorphology in studies on the temporal dynamics of LULC.

Keywords: landscape dynamics, geomorphology, land use change, Mapbiomas.

Introdução

O crescimento acelerado da população humana vem causando alterações nos sistemas naturais e modificando a capacidade do ambiente de prestar serviços ambientais (Hasan et al., 2020; Fernandes et al., 2021). A crescente demanda pela produção de alimentos e matéria prima intensificou a conversão de ecossistemas naturais em agroecossistemas (Winkler et al., 2021). Quando realizadas sem planejamento ou conhecimento prévio acerca do funcionamento dos ecossistemas, essas conversões podem causar perda de habitats, alterações nos ciclos biogeoquímicos de elementos e da água, mudanças no microclima local e degradação de sistemas hídricos por assoreamento e eutrofização (Santos et al., 2021; Fernandes et al., 2021; Lourenço et al., 2022; Caballero et al., 2022). Entender como, quando e onde as alterações na cobertura do solo ocorrem pode minimizar os impactos negativos e auxiliar o planejamento ambiental e territorial.

O Brasil tem um papel importante no cenário global das mudanças na cobertura da terra, com o desafio de manejar uma das maiores biodiversidades do planeta e uma das maiores reservas de água potável, enquanto se mantém como um dos maiores produtores de commodities agrícolas, o que leva a um grande avanço de áreas agropastoris sobre suas áreas naturais (Stabile et al., 2020). Neste contexto, a geração de informações espaciais sobre a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra é fundamental para a gestão dos recursos naturais. Como consequência, nas últimas décadas surgiram esforços governamentais e redes de pesquisa para o mapeamento da dinâmica de uso e cobertura da terra no Brasil em escala espacial e temporal detalhadas. Entre essas iniciativas, destaca-se a rede MapBiomas, formada por uma colaboração entre ONGs, cientistas de diversas universidades e empresas de tecnologia, que fornece séries anuais de mapas de uso e cobertura da terra no Brasil (<http://mapbiomas.org>).

A partir do MapBiomas, Souza et al. (2020) mostraram que o total de áreas agrícolas no Brasil cresceu 176% entre 1985 e 2017, o que representa uma expansão de 32,6 milhões de ha, principalmente concentrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pampas (Souza. et al., 2020). Sabe-se que essas mudanças da cobertura da terra não ocorrem de forma linear no espaço e que a expansão agrícola avança até limites impostos por elementos da paisagem como o relevo ou fatores climáticos. A influência do relevo na dinâmica da cobertura da terra é evidente em locais específicos

e diferentes sistemas antrópicos e naturais (Couto Junior et al., 2010; Furrier e Gonzales, 2015; Santos et al., 2016; Assis et al., 2016; Machowski et al., 2016; Neves et al., 2017; Garcia et al., 2020; Zonatta et al., 2020; Melo e Couto Júnior, 2021).

No caso do bioma Cerrado, a incorporação de novas tecnologias agrícolas e incentivos do poder público levaram ao aumento da produtividade nos planaltos do Brasil central (Brannstrom et al. 2008; Silva, 2018). Embora nessas áreas haja o predomínio de solos antigos com baixa aptidão natural para a agricultura em termos de fertilidade, as características topográficas com grandes extensões de relevo plano permitiram a mecanização e a intensificação agrícola por meio de aplicação de técnicas de manejo do solo (Brannstrom et al., 2008; Silva, 2018).

Estudos recentes confirmaram essa relação do avanço da agricultura com as unidades do relevo em regiões específicas do Cerrado (Assis et al., 2016; Neves et al., 2017; Melo e Couto Júnior, 2021). Assis et al. (2016) estudaram as relações entre unidades de relevo e os sistemas agrícolas na região do Sudoeste Goiano e observaram que a expansão agrícola ocorreu nas áreas de relevo plano e superfícies contínuas, ao passo que as áreas de vegetação preservada se concentraram nas porções de relevo com declividade mais acentuada. Neves et al. (2017) observaram o mesmo padrão no Distrito Federal, onde o desenvolvimento urbano e das atividades agropecuárias se concentraram nas chapadas e rampas de colúvio; e nos vales colinosos e frentes de recuo erosivo houve uma maior preservação da cobertura vegetal natural.

Os estudos desta natureza no contexto do bioma Cerrado foram realizados em ambientes planálticos e destacaram o relevo como importante limitante biogeográfico da ação humana e da preservação de ecossistemas naturais. Entretanto, não há estudos que relacionem diretamente a dinâmica temporal de uso e ocupação da terra com o relevo em regiões de depressões regionais no Cerrado. O objetivo deste estudo é descrever a influência das unidades geomorfológicas na dinâmica temporal da cobertura da terra em áreas de depressões regionais com influência fluvial entre as zonas fisiográficas do alto e médio rio São Francisco. Neste contexto, a microrregião de Pirapora em Minas Gerais foi escolhida como área de estudos. A hipótese do estudo é que a dinâmica do uso da terra na área estudada segue o mesmo padrão de relação com as unidades de relevo encontrado nos planaltos do Cerrado, com o avanço

das atividades antrópicas predominantemente em áreas mais planas e estáveis da paisagem.

Metodologia

Área de Estudos

A Microrregião de Pirapora está inserida na Mesorregião do Norte de Minas Gerais e é composta por dez municípios: Riachinho, São Romão, Santa Fé de Minas, Buritizeiro, Ibiaí, Lagoa dos Patos, Jequitaiá, Várzea da Palma, Lassance e Pirapora (Figura 1). Está localizada entre as coordenadas geográficas 16,01° e 18,15° de latitude Sul; e 46,27 e 44,26° de longitude Oeste no Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum

SIRGAS 2000. A Microrregião está inserida no contexto morfoclimático do Cerrado, com características de clima tropical úmido ou subúmido, com um período de chuvas concentradas no verão e com invernos secos. A média de precipitação é de aproximadamente 1100 mm. O contexto geomorfológico do norte de Minas Gerais é marcado pela interface do Cráton do São Francisco com o Orógeno Aracuaí (Costa, 2021).

A Microrregião é cortada pelo rio São Francisco, com grande parte no contexto geológico-geomorfológico de predomínio de sedimentos arenosos fluvio-lacustres e coberturas detrito-lateríticas do Cenozóico (CPRM, 2010).

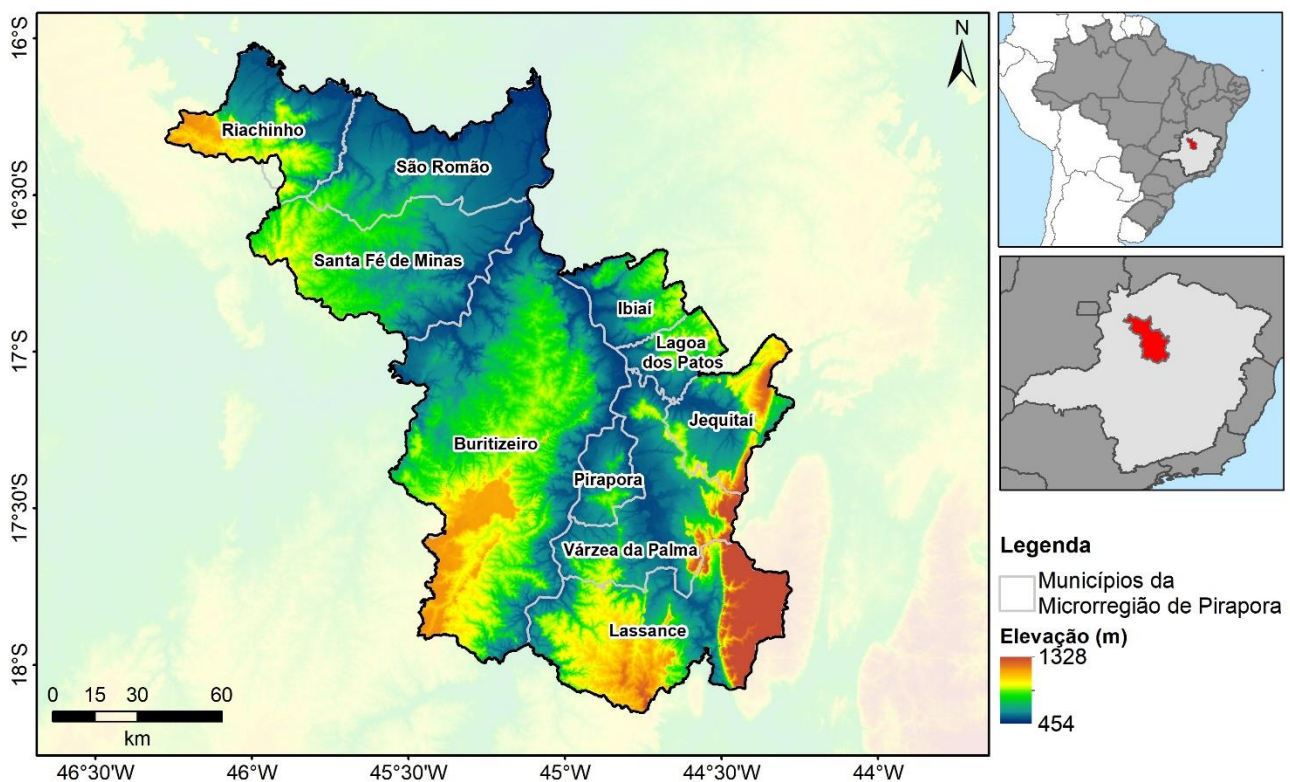


Figura 1. Mapa de localização da Microrregião de Pirapora-MG. O mapa mostra a variação altimétrica da área de estudos e a indicação dos limites dos municípios que fazem parte da microrregião.

Dados geomorfológicos

Para elaboração deste mapa geomorfológico foram utilizadas quatro folhas do Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponíveis para download no banco de dados Topodata (Valeriano et al., 2005), que abarcam a Microrregião de Pirapora, sendo elas 17S45, 17S465, 16S45 e 16S465. As quatro folhas foram unidas em um mosaico.

A partir dos dados de altimetria foram gerados parâmetros morfométricos do terreno

(declividade e curvatura). Esses dados serão sobrepostos em uma composição colorida RGB, onde o dado de elevação preenche a banda do vermelho (R) e a declividade corresponde ao verde (G). O terceiro canal é preenchido de acordo com o objetivo do trabalho e as características da área de estudo. No presente estudo, a banda do azul (B) foi preenchida pelo dado de curvatura, derivado da elevação (Sena-Souza et al., 2013).

Foi realizada a vetorização digital em tela a partir de uma interpretação visual dos dados morfométricos, utilizando os dados da

Geodiversidade de Minas Gerais (CPRM, 2010) como base para interpretação. O shapefile original foi cortado para os limites da Microrregião e foi adaptado a partir da interpretação visual da composição colorida dos parâmetros morfométricos utilizando a classificação presente na coluna *RELEVO* na tabela de atributos. A interpretação visual levou em conta a cor e a textura da composição colorida seguindo a chave de interpretação proposta por Sena-Souza et al. (2013). A nomenclatura das unidades geomorfológicas foi baseada na Geodiversidade de Minas Gerais (CPRM, 2010).

Dados de uso e cobertura da terra

Os dados utilizados para representar a dinâmica temporal da cobertura da terra foram adquiridos seguindo o protocolo de download do projeto MapBiomas, em formato matricial na plataforma do Google Earth Engine. Foi realizado o download dos rasters para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 da coleção 5 do MapBiomas para o bioma Cerrado. A classificação anual do uso e cobertura da terra pelo MapBiomas é realizada por meio de uma classificação de imagens do satélite Landsat (resolução espacial de 30 metros) em uma classificação pixel-por-pixel usando algoritmos de machine learning (Souza et al., 2020). Neste estudo, foi considerado o Nível 2 de classificação do Mapbiomas com as seguintes classes de uso e cobertura: Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Floresta Plantada, Agricultura, Pastagem, Infraestrutura Urbana, Água e Outras Áreas não Vegetadas.

O uso de dados secundários para avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra precisa considerar o nível de incerteza da classificação e do banco de dados. Para isso, foram consideradas as análises de acurácia para o bioma Cerrado disponibilizada na plataforma do Mapbiomas. É possível acessar a acurácia global e o erro associado a cada classe de uso e cobertura da terra. Os índices de acurácia do usuário e acurácia global para o bioma Cerrado considerando o ano de 2018 como referência foram usados para auxiliar na interpretação e análise da dinâmica temporal da cobertura da terra na área de estudos. Detalhes sobre os procedimentos adotados pelo programa para a classificação, elaboração dos mapas e para acessar a acuracidade podem ser encontrados no link <https://mapbiomas.org/> (Souza et al., 2020).

Influência do relevo na dinâmica de uso do solo

Para avaliar a influência do relevo, os dados de uso e cobertura do solo foram recortados

para o limite de cada classe de unidade do relevo. O mesmo procedimento de cálculo de área e porcentagem realizado para todo o município foi repetido dentro do limite de cada uma das principais unidades do relevo. Assim, foi possível comparar a porcentagem ocupada por cada classe de uso do solo dentro de cada unidade de relevo. Diagramas de Sankey foram usados para mostrar as mudanças de uso e cobertura da terra (Cuba, 2015). O diagrama representa a quantidade de pixels na imagem classificada que mudou ou permaneceu na mesma classe em cada intervalo de 10 anos.

Resultados e discussão

Geomorfologia da Microrregião de Pirapora

O procedimento adotado permitiu identificar as seguintes unidades geomorfológicas, seguindo a nomenclatura adotada no dado de Geodiversidade de Minas Gerais (CPRM 2010): Terraços Fluviais (28,54% da área de estudos), Planaltos e Baixos Platôs (25,44%), Domínio de Colinas Amplas e Suaves (11,34%), Superfícies Aplainadas Degradadas (8,36%), Chapadas e Platôs (7,74%), Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (7,49%), Planícies Fluviais e flúvio-lacustres (7,21%), Escarpas Erosivas (2,71%) e Vales Encaixados (0,72%) (Figura 2). As unidades geomorfológicas mapeadas são subdivisões das unidades de relevo Planalto Norte-mineiro, Superfície São Francisco e Serra do Cabral, além de platôs lateríticos remanescentes, presentes na Microrregião de Pirapora (Costa, 2021).

Os Terraços Fluviais correspondem às zonas de acumulação fluvial antigas, com relevo plano ou suavemente ondulados. São um ou alguns níveis mais elevados que as planícies fluviais atuais e estão inseridas nos domínios de unidades agradacionais. Grande parte dos Terraços Fluviais da área de estudos são classificados como Tabuleiros nos dados da Geodiversidade de Minas Gerais. A classificação foi modificada no presente estudo por entender que essas unidades do relevo fazem parte das áreas de sedimentação dos rios São Francisco, Velhas e Paracatu, presentes na área de estudos (CPRM, 2010).

As Chapadas e platôs são áreas tabulares em relevo plano ou aplainado e pouco ou nada dissecado, geralmente circundados por escarpas serranas ou rebordos erosivos. Nas Chapadas e platôs, o processo dominante é a pedogênese e formação de cangas lateríticas nas bordas. Ocorrem no topo da Serra do Cabral e na porção sul do município de Buritizeiro. Os planaltos com elevação intermediária entre as Chapadas e os

Terraços Fluviais constituem a unidade dos Planaltos e Baixos platôs, com formas planas e suavemente onduladas e predomínio de pedogênese. Em áreas denudacionais levemente mais dissecadas que as áreas anteriores estão as

Colinas amplas e suaves, onde ocorrem processos pedogenéticos com intercalação com processos erosivos lineares e geração de rampas de colúvio (CPRM, 2010).

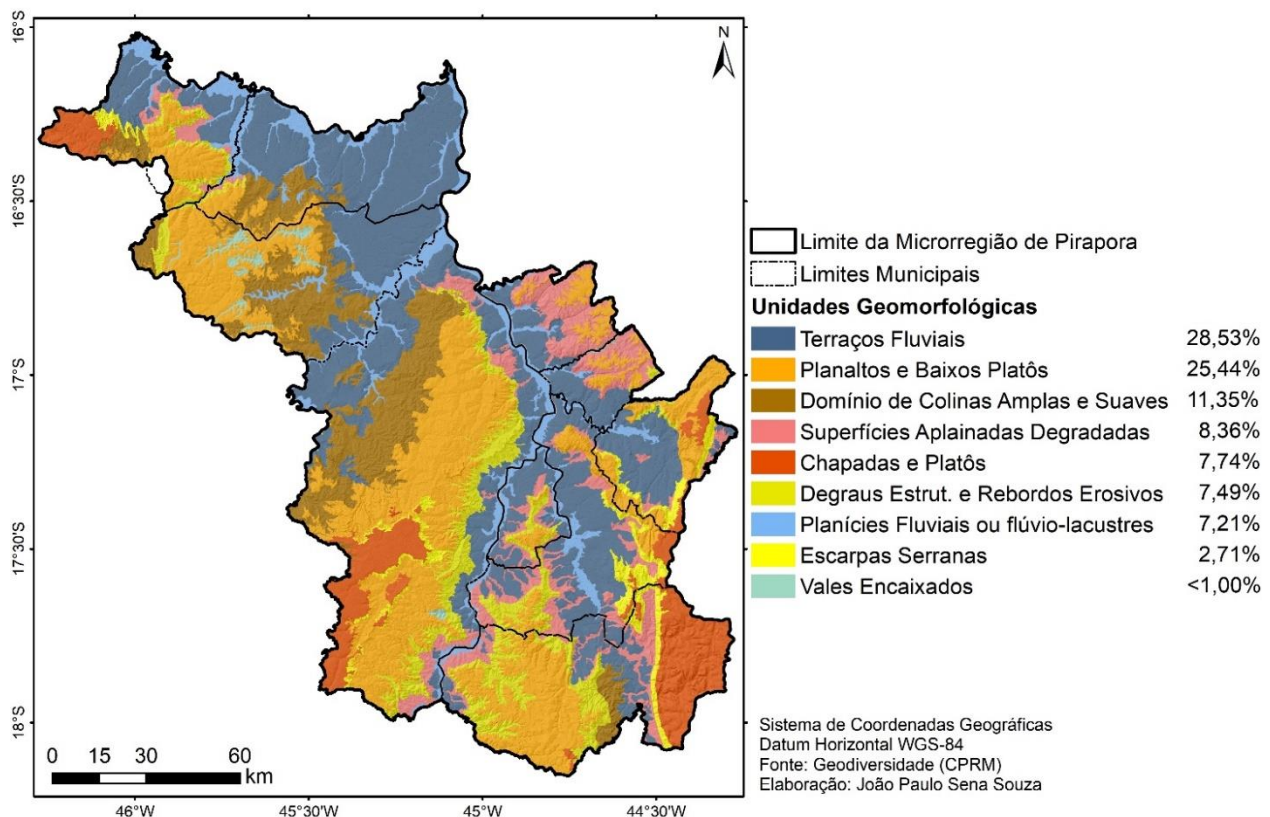


Figura 2. Mapa das unidades geomorfológicas da Microrregião de Pirapora-MG.

As duas principais unidades geomorfológicas com predomínio de processos de morfogênese presentes na área de estudos são as Escarpas serranas e os Degraus estruturais e rebordos erosivos. A primeira corresponde a um relevo acidentado muito declivoso que circunda principalmente as Chapadas e platôs, com uma declividade que pode chegar próxima dos 90° em algumas áreas da Serra do Cabral. Os Degraus estruturais e rebordos erosivos, por sua vez, são formas também acidentadas com declividade menos acentuada (entre 20 e 45°) onde se vê o processo de entalhamento do talvegue. Ambos são unidades morfológicas de transição entre diferentes níveis altimétricos (CPRM, 2010).

Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra na Microrregião de Pirapora, MG

O diagrama de Sankey mostra a evolução e as transformações ocorridas entre as principais classes de uso e cobertura do solo na área de estudos (Figura 3). As barras cinzas e transparentes representam a quantidade de pixels na imagem que

permaneceram ou mudaram de classe ao longo do período analisado. Linhas mais finas podem representar ruídos causados por erro de classificação. Nota-se, por exemplo, uma confusão de transição entre as classes de Formação Savânica e Pastagens.

Segundo os dados da análise de acurácia do MapBiomas para o Cerrado, cerca de 60% da área classificada como Formação Savânica foi classificada corretamente pela metodologia adotada, enquanto 18,68% da área classificada como Formação Savânica era, na realidade, Pastagem (Souza et al., 2020). Erros de omissão como esse, principalmente em relação às pastagens não identificadas, podem ser explicados pela resolução espacial do sensor utilizado na classificação (Parente e Ferreira, 2018). Estudos apontam que a classificação de Pastagens com sensores de resolução espacial mais refinada, como o Sentinel-2, pode diminuir erros de omissão e melhorar a acuracidade do mapeamento (Brito e Brito, 2020). Além disso, cerca de 47% das pastagens de Minas Gerais foram classificadas

como pastagens degradadas por Pereira et al. (2018), o que pode indicar um abandono de pastagens e o surgimento de arbustos que altera o comportamento espectral e pode explicar esse

retorno de Pastagens para Formação Savânica entre os anos analisados.

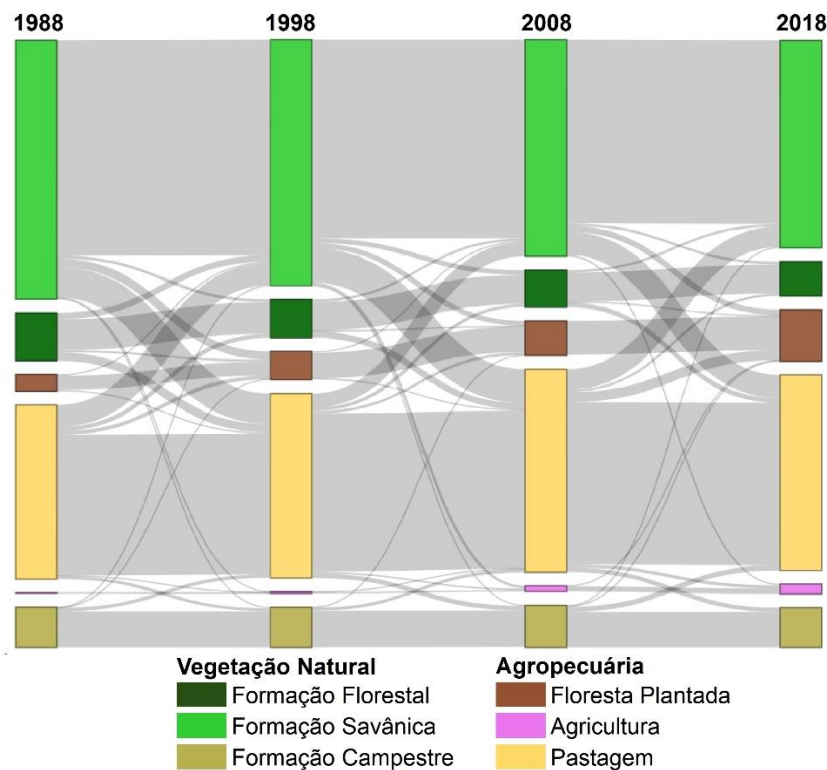


Figura 3. Diagrama de Sankey mostrando as tendências de transformações do uso e cobertura da terra na Microrregião de Pirapora entre os anos 1988, 1998, 2008 e 2018.

Mesmo com as possíveis inconsistências na classificação, foi possível observar padrões claros de mudança no uso e cobertura da terra na área de estudos (Figuras 3 e 4). Houve uma diminuição gradual de área ocupada por vegetação natural em toda a microrregião de Pirapora. A diminuição mais visível é na Formação Savânica, que perdeu grande parte de sua área para pastagens, principalmente entre 1998 e 2008. Entre 2008 e 2018, uma porção das Pastagens foi transformada em Florestas Plantadas, representadas

principalmente pelas monoculturas de eucalipto. Nesse período, houve uma pequena retração das áreas de Pastagens e um aumento significativo na área ocupada por Floresta Plantada. A classe de Agricultura ocupou um espaço pequeno no diagrama de Sankey, e fica mais aparente em 2018 (Figura 3). As atividades agrícolas mais intensivas se concentraram nas porções sudoeste e noroeste da área de estudos, e se expandiram principalmente entre 1998 e 2018 (Figura 4).

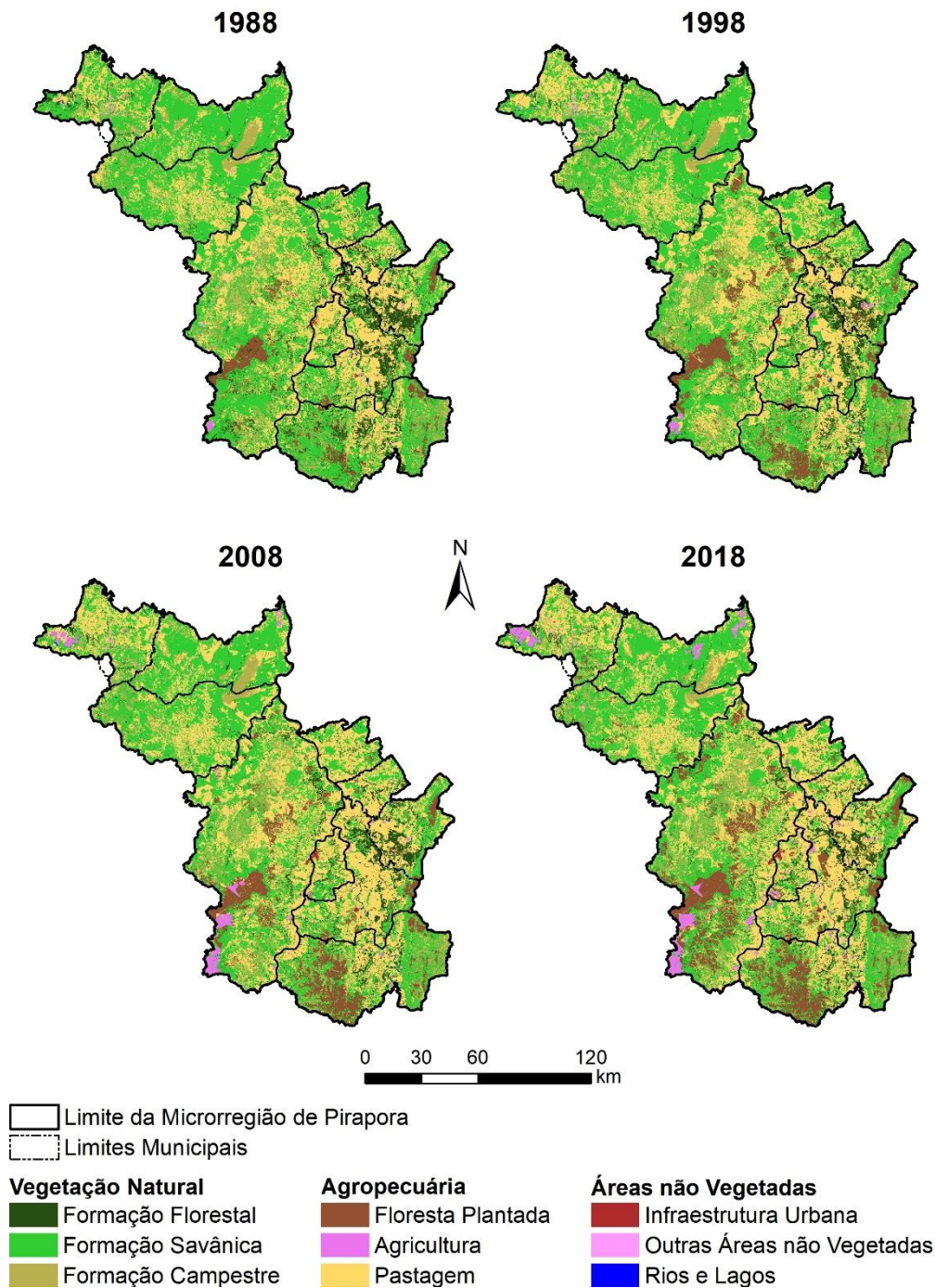


Figura 4. Evolução da cobertura da terra entre 1988 e 2018 na Microrregião de Pirapora-MG.

Influência do relevo na dinâmica de uso da terra

A análise do uso e cobertura da terra por unidades geomorfológicas evidenciou diferentes padrões de mudanças guiadas pelos padrões de relevo. De modo geral, houve uma diminuição contínua de área de vegetação natural em todas as unidades geomorfológicas, mas com diferentes padrões de substituição que dependem da aptidão de uso de cada unidade de paisagem (Figura 5).

Em 1988, 68,3% da área de Chapadas e Platôs ainda era coberta por vegetação natural na área de estudos. Essa área caiu para 44,4% em

2018. Isso representa a maior perda de cobertura natural entre as unidades geomorfológicas. Embora a Formação Campestre tenha se mantido estável no período analisado, a Formação Savânica saiu de 49,5% em 1988 para 30,8% em 2018, sendo substituída inicialmente por Pastagem e Floresta Plantada (entre 1988 e 1998) e posteriormente por Pastagem e Agricultura (entre 1998 e 2008). As Florestas Plantadas já ocupavam 23,1% das Chapadas e Platôs em 1988. Isso se deve ao avanço das monoculturas de pinus e eucaliptos a partir do incentivo de ações governamentais, que inseriram

a área de estudos na fronteira agrícola a partir da década de 1970 (Baggio Filho, 2008). Esse número subiu para 34,2% em 2018.

As Chapadas e Platôs concentraram a maior parte das áreas agrícolas da área de estudos. Em 1988, a Agricultura cobria apenas 1,1% dessa unidade geomorfológica, passando para 13,6 % em 2018. O período com maior avanço da agricultura nas Chapadas e Platôs foi entre 1998 e 2008, quando saltou de 3,9% para 11,2% de área ocupada, principalmente pela substituição de Formação Savânica em Agricultura (Figura 5A). Esse padrão pode ser explicado pelo potencial de mecanização dessa unidade geomorfológica (Neves et al., 2017; Garcia et al., 2020), caracterizada por relevo plano ou aplainado e pouco ou nada dissecado (CPRM, 2010). O fator de

mecanização é uma variável essencial para o avanço da agricultura moderna e depende diretamente das condições de dissecação e declividade do terreno (Silva, 2016).

Nos Terraços Fluviais, 61,85% da área era coberta por vegetação natural em 1988 e passou para 47,24% em 2018. Uma pequena porção de cobertura de vegetação natural deu lugar à Agricultura, que ocupava apenas 55 km² dos Terraços Fluviais em 2008 (0,83 %) e passou a ocupar 181,7 km² em 2018 (2,74 %). Embora represente uma área pequena, esse avanço pode representar o aumento da agricultura irrigada na região com o avanço de tecnologias de irrigação que favorecem a instalação de pivô-central próximos aos corpos hídricos (Neves et al., 2017).

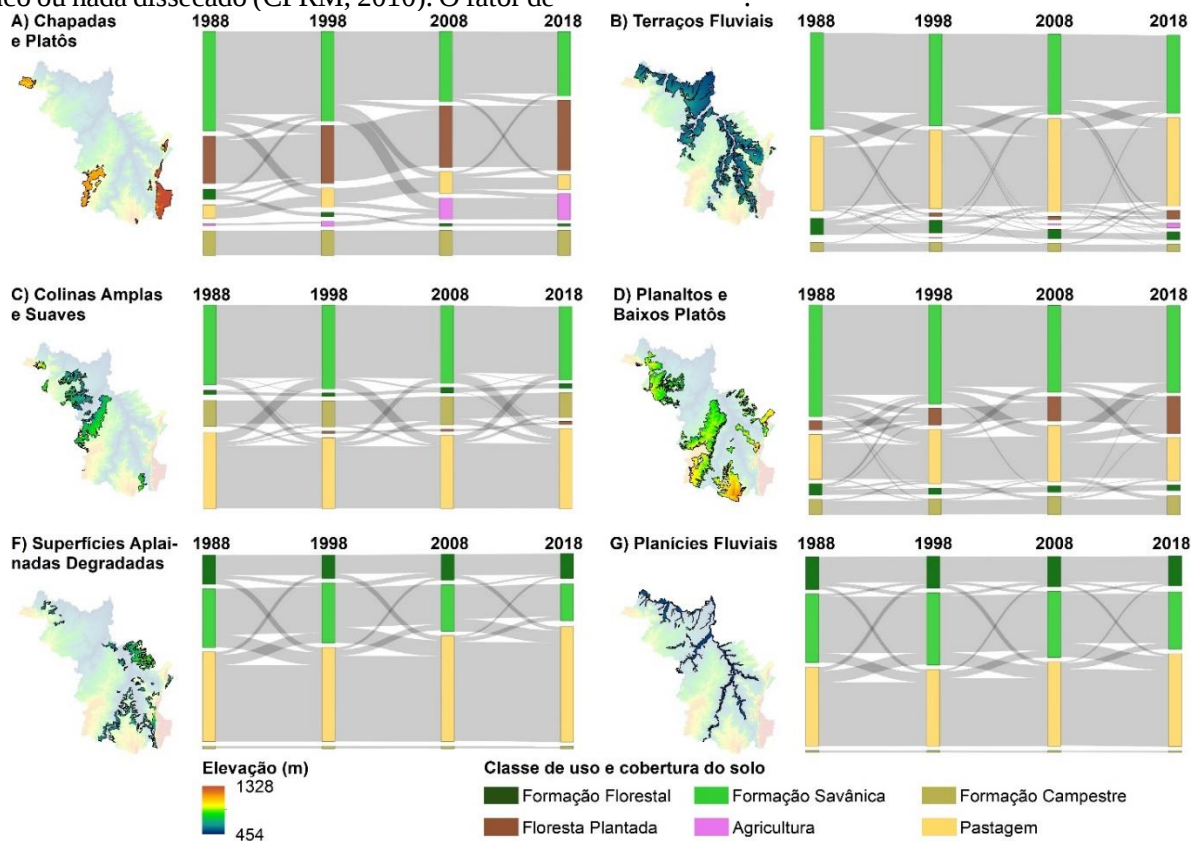


Figura 5. Evolução da cobertura da terra entre 1988 e 2018 separada por unidades geomorfológicas da Microrregião de Pirapora-MG. Para cada unidade geomorfológica é apresentado um recorte espacial com representação da elevação, seguido por um diagrama de Sankey. As cores dos diagramas de Sankey representam a classe de uso e cobertura da terra; as barras cinzas representam a quantidade de pixels na imagem classificada que mudou ou permaneceu na mesma classe em cada intervalo de 10 anos.

Nos Terraços Fluviais, as principais mudanças se deram principalmente pela substituição da Formação Savânica em Pastagem. Assas transformações se concentraram entre 1998 e 2008 (Figura 5B), quando as Pastagens passaram de 39,8% da área para 47,5%.

Os padrões encontrados nos Terraços Fluviais são semelhantes às mudanças detectadas nas unidades de Superfícies Aplainadas Degradadas e nas Planícies Fluviais (Figura 5F; G). Metade das áreas de Superfícies Aplainadas Degradadas já eram ocupadas por Pastagens em 1988. Essa ocupação se manteve estável entre 1988

e 1998, mas aumentou rapidamente entre 1998 e 2018, numa média de 6% da área por década. Em 2018, as Pastagens já ocupavam 63,31% das Superfícies Aplainadas Degradadas, substituindo principalmente áreas de Formação Savânica, que cobriam 32,9 % dessa unidade geomorfológica em 1988 e passou a ocupar 20,54% em 2018 (Figura 5F).

Nos Planaltos e Baixos Platôs houve uma intensa substituição de Formação Savânica em Pastagens entre 1988 e 1998. A formação Savânica caiu de 57,3% dos Baixos Platôs em 1988 para 50,9% em 1998. No mesmo período, as Pastagens que correspondiam a 23,4% da área passaram a cobrir 28%. Entre 1998 e 2008 a Formação Savânica continuou perdendo espaço nos Planaltos e Baixos Platôs, mas sendo substituída por Florestas Plantadas. Floresta Plantada cobria 4,8 % dos Baixos Platôs e saltou para 19,3 % em 2018. Entre 2008 e 2018, a área ocupada por pinus e eucaliptos cresceu de 19,3 para 19,3, mas substituindo principalmente as Pastagens, que diminuíram de 29% para 22,2% no mesmo período. Isso indica que na última década houve um trabalho de recuperação de pastagens nos Planaltos e Baixos Platôs.

Embora o estudo apresente padrões claros de uso do solo por unidade geomorfológica, futuros trabalhos podem contribuir para detalhar essas relações. A definição de unidades de paisagem pode evidenciar outras relações da dinâmica da cobertura da terra com o meio físico seguindo uma abordagem geossistêmica (Rosa e Ferreira, 2021; Braz e Marquez Neto, 2021).

Conclusões

O relevo é um condicionante estrutural da dinâmica de uso e cobertura da terra em áreas de depressões regionais com influência fluvial entre as zonas fisiográficas do alto e médio rio São Francisco. Assim como ocorre em outras regiões do bioma Cerrado, áreas planas favorecem a mecanização agrícola e o avanço de monoculturas. Por outro lado, áreas com padrões de relevo mais movimentado vêm sendo utilizadas como pastagens. Os diagramas de Sankey separados por unidade geomorfológica conseguiram mostrar os tipos de substituições de cobertura da terra predominantes em cada período. Evidenciaram não somente a supressão de vegetação natural para usos antrópicos, mas também mudanças de potencialidades de usos como a substituição de Pastagens por Floresta Plantada nos Planaltos e Baixos Platôs na última década.

O estudo apresentou uma abordagem integrada pouco utilizada entre a dinâmica de uso e cobertura do solo e a geomorfologia da área de estudos. Essa abordagem tem grande potencial para contribuir para o planejamento territorial e gestão dos recursos naturais. Uma das vantagens é definir limites naturais e biogeográficos dentro de limites políticos no processo de planejamento e ocupação territorial, que direciona a elaboração de estratégias de ocupação de acordo com as potencialidades de cada unidade da paisagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes) pelo apoio aos projetos de pesquisa (Res. CEPEX168-2019; Res. CEPEX127-2021) e pela bolsa de Iniciação Científica concedida aos autores Thaís Vasconcellos Crespo e Gabriel Cristian da Silva Soares (PIBIC/FAPEMIG e BIC/CAMPI).

Referências

- Assis, T., Martins, E.S., Couto Junior, A.F. 2016. Relações entre o relevo e a organização espacial dos agroecossistemas na ecorregião Paraná-Guimarães. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Pernambuco 9, 498-510.
- Baggio Filho, H. 2008. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento decorrente na bacia do rio do formoso, município de Buritizeiro – MG. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 234.
- Brannstrom, C., Jenpson, W., Filippi, A. M., Redo, D, Xu, Z., Ganesh, S. 2008. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implication for land-use policy. *Land Use Policy* 25, 579-595.
- Braz, J. S., Marquez Neto, R. 2021. As Unidades de Paisagem no município de Areado, sul de Minas Gerais: uma proposta de estudo ambiental integrado a partir da concepção geossistêmica. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 02, 3406-3421.
- Brito, B.N., Brito, J.L.S. 2020. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel 2. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 24.
- Caballero, C.B., Ruhoff, A., Biggs, T. 2022. Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmospheric interactions in Brazil: A systematic review. *Science of The Total Environment*. 808, 152134.

- Costa, L.R.F. 2021. Considerações sobre as macrounidades geomorfológicas do estado de Minas Gerais – Brasil. William Morris Davis – Revista de Geomorfologia 2, 1-9.
- Couto Junior, A.F., Souza, V.V., Carvalho Junior, O.A., Martins, E.S., Santana, O.A., Fretas, L.F., Gomes, R.A.T. 2010. Integração de parâmetros morfométricos e imagem ASTER para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. Revista Brasileira de Geomorfologia. 11.
- CPRM - Serviço Geológico Brasileiro. Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14704>. Acesso em: 03 Set. 2020
- Cuba, N. 2015. Research note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. Landscape and Urban Planning 139, 163-167.
- Fernandes, M.M., Fernandes, M.R.M., Garcia, J.R., Matricardi, E.A.T., Lima, A.H.S., Araújo Filho, R.N., Gomes Filho, R. Piscoya, V.C., Piscoya, T.O.F., Cunha Filho, M.C. 2021. Land use and land cover changes and carbon stock valuation in the São Francisco River basin, Brazil. Environmental Challenges. 5, 01-10.
- Furrier, M., González, C.C.M. 2015. Caracterización geomorfológica y su relación con el uso y ocupación del suelo em la porción central del litoral del Estado de Paraíba - Brasil. Revista Entorno Geográfico 11, 176-193.
- Garcia, P.M.B., Augustin, C.H.R.R., Casagrande, R.B. 2020. Geomorphological index as support urban planning. Mercator. 09, 001-024.
- Garcia, Y.M, Campos, S., Tagliarini, F.S.N, Campos, M, Rodrigues, B.T. 2020. Delimitação e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do ribeirão Pederneiras – Pederneiras/SP. Brazilian Journal of Biosystems Engineering 14, 62-72.
- Hasan, S.S., Zhen, L., Miah, M.G., Ahmed, T., Samie, A. 2020. Impact of land use change on ecosystem services: A review. Environmental Development. 34, 100527.
- Lourenço, R.W., Sales, J.C.A., Arantes, L.T., Silva, C.V., Cunha, D.C.C. 2022. Reflexos ambientais do desenvolvimento e expansão das atividades humanas sobre a qualidade da água. Revista Brasileira de Geografia Física. 01, 175-198.
- Machowski, R., Rzetala, M.A., Rzetala, M. Solarski, M. 2016. Geomorphological and hydrological effects of subsidence and land use change in industrial and urban areas. Land Degradation and Development 27, 1740-1752.
- Melo, A.C.A., Couto Junior, A.F. 2021. O relevo como elemento organizador da ocupação antrópica na ecorregião do Planalto Central. Espaço & Geografia. 2, 154-177.
- Neves, G, Sena-Souza, J.P., Vasconcelos, V, Martins, E.S, Couto Júnior, A.F. 2017. Dinâmica da cobertura da terra do Distrito Federal dentro de suas unidades geomorfológicas. Sociedade & Natureza 29, 383-396.
- Parente, L.L., Ferreira, L. G. 2018. Assessing the Spatial and Occupation Dynamics of the Brazilian Pasturelands Based on the Automated Classification of MODIS Images from 2000 to 2016. Remote Sensing 10, 1-14.
- Pereira, O.J.R., Ferreira, L.G., Pinto, F., Baumgarten, L. 2018. Assessing Pasture Degradation in the Brazilian Cerrado Based on the Analysis of MODIS NDVI Time-Series. Remote Sensing 10, 1761.
- Rosa, R.M., Ferreira, V.O. 2021. Compartimentação paisagística multiescalar da bacia hidrográfica do rio Uberabinha (Minas Gerais, Brasil) por meio da perspectiva geossistêmica. Sociedade & Natureza. 34, 001-024.
- Santos, A.R., Chimalli, T., Peluzio, J.B.E., Silva, A. G., Santos, G. M. A. D. A., Lorenzon, A. S., Teixeira, T. R., Castro, N. L. M., Ribeiro, C. A. A. S. 2016. Influence of relief on permanent preservation areas. Science of the Total Environment 541, 1296-1302.
- Santos, F.L.S., Couto Junior, A.F., Reatto, A., Martins, E.S., Carvalho, A.M., Nardoto, G.B. 2021. Soil carbon and nitrogen under different land-use and landscape locations in central Brazil. Journal of Biotechnology and Biodiversity. 2, 178-186.
- Sena-Souza, J.P., Martins, E.S., Couto Junior, A.F., Reatto, A., Vasconcelos, V., Gomes, M.P., Carvalho Junior, O.A., Reis, A. M. 2013. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. Embrapa Cerrados Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 314, 1-38.
- Silva, C.O. 2016. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento agrícola para cana-de-açúcar irrigada do estado do Piauí. Tese (Doutorado em Agronomia-Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 72.
- Souza, C.M., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L. L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W. M., Oliveira, S.W., Rocha, W.F., Fonseca,

- A.V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D. Rosa, E.R., Vélez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Paternost, F.F., Pareyn, F.C., Siqueira, J.V., Vieira, J.L., Ferreira Neto, L.C., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V.V., Azevedo, T. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12, 2735.
- Stabile, M.C.C., Guimarães, A.L., Silva, D.S., Ribeiro, V., Macedo, M.N., Coe, M.T., Pinto, E., Moutinho, P., Alencar, A. 2020. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and solving Amazon deforestation. 91, 104362.
- Valeriano, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1-8.
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., Herold, M. 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12, 2501.
- Zonatta, F.A.S., Lupinacci, C.M., Boin, M.N. 2020. Correlação entre uso da terra e feições geomorfológicas: uma proposta de análise a partir da cartografia retrospectiva. *Sociedade & Natureza*. 32, 494-512.