

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIMENTA, REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DE RONDÔNIA: AVALIAÇÃO E CENÁRIOS FUTUROS

Miqueias Lima Duarte¹
Janete Farias Mendonça²
Dhuliani Cristina Bonfanti³

Resumo

Compreender as modificações no uso e ocupação do solo e as demandas sociais relacionadas é de grande valia, pois permite o ordenamento territorial e o desenvolvimento de políticas públicas de forma mais adequada. Nesse sentido, este estudo avaliou as mudanças no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta, entre as décadas de 1990 e 2019, além disso, realizou-se uma simulação para cenários futuros. O uso do solo foi avaliado entre os anos de 1990, 2000, 2010 e 2019, em seguida, com base na matriz de transição histórica, foram elaborados cenários futuros para 2030 e 2040. Os resultados obtidos mostraram grandes perdas de áreas de floresta, principalmente, na primeira década, para a implementação de pastagens, seguidas pela agricultura. No cenário futuro, o modelo indicou que mais de 809,83 km² da vegetação florestal serão removidos até 2040 para o estabelecimento de práticas agropecuárias pouco produtivas.

Palavras-chave: Desmatamento, Uso do solo, Redes Neurais Artificiais.

DYNAMICS OF LAND USE AND OCCUPATION IN THE PIMENTA RIVER BASIN, SOUTHEAST REGION OF THE STATE OF RONDÔNIA: EVALUATION AND FUTURE SCENARIOS

Abstract

Understanding the changes in land use and occupation and related social demands is of great value, as it allows territorial planning and the development of public policies in a more appropriate way. In this sense, this study evaluated the changes in land use and occupation in the Pimenta river basin between the 1990 and 2019, in addition, a simulation was carried out for future scenarios. Land use was evaluated between 1990, 2000, 2010 and 2019, then, based on the historical transition matrix, future scenarios were elaborated for 2030 and 2040. The results showed great losses of forest areas, mainly in the first decade, for the implementation of pastures, followed by agriculture. In the future scenario, the model indicated that more than 809.83 km² of forest vegetation will be removed by 2040 for the establishment of unproductive agricultural practices.

Keywords: Deforestation, Land use, Artificial Neural Networks.

¹ Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp. Email: miqueiaseng@hotmail.com

² Mestra em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondônia. Email: janetefarias12@gmail.com.

³ Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondônia. Email: dhuli_cris@hotmail.com.

DINÂMICA DEL USO Y OCUPACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO PIMENTA, REGIÓN SURESTE DEL ESTADO DE RONDÁNIA: EVALUACIÓN Y ESCENARIOS FUTUROS

Resumen

Comprender los cambios en el uso y la ocupación de la tierra y las demandas sociales conexas es de gran valor, ya que permite la planificación territorial y el desarrollo de políticas públicas de una manera más apropiada. En este sentido, este estudio evaluó los cambios en el uso de la tierra y la ocupación en la cuenca del río Pimenta entre los años 1990 y 2019, además, se llevó a cabo una simulación para escenarios futuros. El uso de la tierra se evaluó entre 1990, 2000, 2010 y 2019, luego, sobre la base de la matriz de transición histórica, se elaboraron escenarios futuros para 2030 y 2040. Los resultados mostraron grandes pérdidas de áreas forestales, principalmente en la primera década, para la implementación de pastos, seguido de la agricultura. En el escenario futuro, el modelo indicaba que más de 809,83 km² de vegetación forestal serán eliminados en 2040 para el establecimiento de prácticas agrícolas improductivas.

Palabras clave: Deforestación, Uso de la tierra, Redes Neuronales Artificiales.

INTRODUÇÃO

O processo de modificação do ambiente tem evidenciado cada vez mais ser parte de um campo de disputas, tanto no meio rural quanto nas cidades, em que diversos atores com distintos interesses transformam a paisagem. Entre os principais indicadores responsáveis pelas alterações no uso e ocupação do solo, dois se destacam: o primeiro estar relacionado com o crescimento das cidades e o segundo no avanço dos setores agropecuários e florestal que tem ganhado força ao longo dos anos, por meio da expansão de novas culturas, principalmente com a expansão do agronegócio.

As transformações espaciais ocorrem sem uma gestão que tenha capacidade necessária para minimizar os impactos sobre o ambiente, tornando-se geradores de sérios problemas ambientais. Este cenário, portanto, tem se tornado um desafio para o planejamento ambiental e para o ordenamento territorial, uma vez que os impactos alcançam não apenas uma escala local, mas ampliam-se, repercutindo em escalas regional e global (MELLO & ARTAXO, 2017; DUARTE et al., 2020).

Sabe-se que nem todas as bacias hidrográficas possuem um gerenciamento e/ou fiscalização do seu uso racional e, dessa forma, esses ambientes têm sofrido alterações, cada vez mais intensas, como desmatamento, intensificação da agricultura e pecuária, dentre outros fatores que afetam diretamente no fluxo de matéria e energia, alterando assim, a capacidade de produção e manutenção dos serviços ecossistêmicos (CHOWDHURY et al., 2020; TANG et

al., 2020). Nesse sentido, é notória a busca por tecnologias e métodos eficientes que visem mitigar esses problemas ambientais, fomentar as potencialidades da região, bem como realizar projeções futuras para ter dimensão dos problemas a serem gerenciados (HAN et al., 2015; SILVA & PAIXÃO, 2019).

Nesse sentido, o uso do Sensoriamento Remoto tem se tornado mais frequente, posto que é um dos recursos tecnológicos mais eficaz e viável para estabelecer um estudo e controle de áreas extensas como as bacias hidrográficas, uma vez que essa ferramenta possibilita obter dados e detectar as modificações ocorridas na superfície do solo, isto é, na paisagem ao longo do tempo (DUARTE & SILVA, 2019; CHOWDHURY et al., 2020). Tais recursos tecnológicos são muito utilizados no estudo do uso e ocupação do solo, visto que possibilitam fazer um levantamento do avanço do desmatamento, da agricultura, assim como da área urbana, além de propiciarem a construção de cenários sobre os usos futuros (EL-TANTAWI et al., 2019; ULLAH et al., 2019).

O mapeamento do uso e ocupação do solo fornece informações importantes que podem auxiliar os planejadores e tomadores de decisão acerca das políticas e estratégias de gerenciamento de recursos naturais mais adequadas (MARSHALL & RANDHIR, 2008). Associada ao mapeamento, a previsão da dinâmica de uso e ocupação do solo, usualmente realizada por Cadeias de Markov, modelos baseados em Autômatos Celulares e Redes Neurais Artificiais podem ser úteis para um melhor direcionamento de políticas públicas que visam o gerenciamento e mitigação de possíveis impactos associados à dinâmica de uso do solo provável no futuro (HAN et al., 2015; LIPING, YUJUN & SAEED, 2018).

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo mapear o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta entre as décadas de 1990 e 2019, além de elaborar um possível cenário do uso do solo para os anos de 2030 e 2040. Para tanto, foi utilizado o *Modules for Land Use Change Evaluation* implementado no software QGIS.

METODOLOGIA

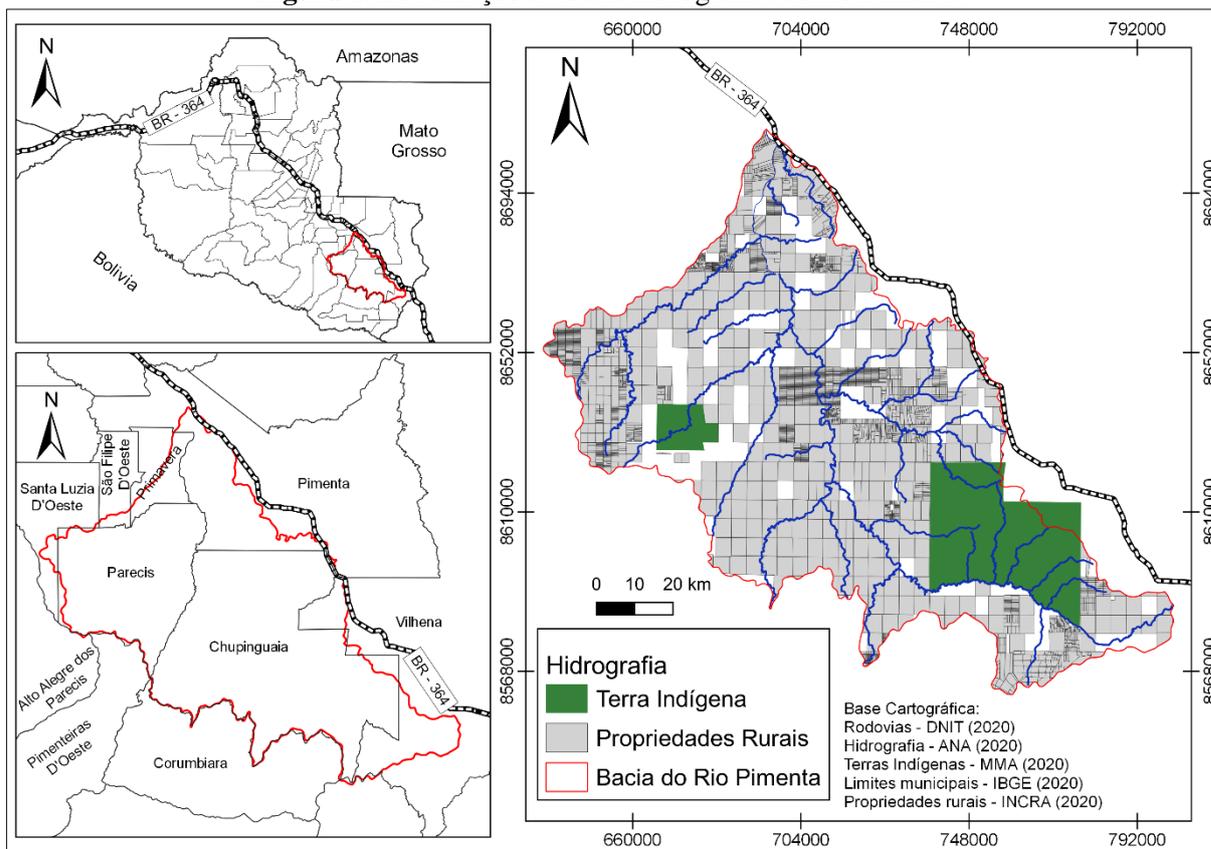
Localização e caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pimenta está localizada na região sudeste do estado de Rondônia, entre as coordenadas geográficas métricas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) 678721 a 799508 m E, 8574884 a 8680033 m S, com área aproximada de 10.130 km², abrangendo sete municípios, sendo eles: Chupinguaia, Parecis, Pimenta Bueno, Vilhena,

Primavera, São Filipe D'Oeste e Santa Luzia D'Oeste. Em seus domínios, estão inseridas, predominantemente, propriedades rurais, nas quais são desenvolvidas atividades de pecuária extensiva e agricultura familiar (IBGE, 2020), incluindo a Terra Indígena Kwazá do Rio São Pedro, localizada na região oeste da bacia, e a Terra Indígena Tubarão/Latundê, na região sudeste (Figura 1).

O clima da região, segundo a caracterização climática de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical chuvoso), com precipitação média anual de 2.100 mm.ano⁻¹, com máxima de 300 mm no mês de janeiro, e mínima de 12 mm no mês de julho. A temperatura média anual da região é de 25,5°C, com máxima de 34,4°C em agosto e mínima de 19,2°C em julho (FRANCA, 2015; SILVA et al., 2018). A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savanas ou Floresta de Transição, além de áreas de ação antrópica ocupadas, especialmente, por pastagens e agricultura familiar (SEMA, 2012; SCHLINDWEIN et al., 2012).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Pimenta.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do IBGE (2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise de uso e ocupação do solo

A análise de uso e ocupação do solo para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2019 foi realizada a partir da classificação supervisionada de imagens dos sensores Landsat-5 TM (*Thematic Mapper*) e o Landsat-8 OLI (*Operational Land Imager*), obtidas no website *Earth Explorer* do *United States Geological Survey - USGS* (USGS, 2020), com resolução espacial de 30 metros. Na Tabela 1, encontram-se as principais características das cenas utilizadas.

Tabela 1. Órbita/ponto e data de cenas utilizadas no mapeamento.

Órbita/Ponto	Data de aquisição	Data de aquisição	Data de aquisição	Data de aquisição
229/69	19/05/1990	17/07/2000	27/06/2010	07/08/2019
230/68	14/08/1990	25/08/2000	18/06/2010	29/07/2019
230/69	14/08/1990	25/08/2000	18/06/2010	29/07/2019

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A classificação das imagens foi realizada no *Semi Automatic Classification Plugin* (versão 6.2.2) com uso do software QGIS (versão 3.2 “Bonn”). Neste estudo, foram seguidas as etapas descritas por Duarte e Silva (2019), sendo realizada uma projeção cartográfica das cenas para o sistema de coordenadas planas UTM, Datum SIRGAS 2000, zona 20 sul, posteriormente, realizada a correção atmosférica pelo método DOS1 (*Dark Object Subtraction*), e desenvolvida a composição colorida 5R-4G-3B para o Landsat-5 e 6R-5G-4B para o Landsat-8 (CONGEDO, 2018).

Em seguida, realizou-se uma identificação prévia das classes baseada em interpretação visual a partir de composição RGB, o que possibilitou definir seis categorias de uso do solo, sendo estas: **Floresta (1)**: área ocupada por Floresta Ombrófila Densa e Aberta; **Campos Naturais (2)**: área ocupada por vegetação natural, constituída por gramíneas e pequenos arbustos distribuídos de forma densa e/ou esparsa; **Pastagem (3)**: área antrópica ocupada, majoritariamente por gramíneas; **Área Agrícola (4)**: área ocupada por agricultura anual e perene sob diversos estágios de cultivo; **Área Urbana (5)**: área construída, e **Corpos d’água (6)**: rios, represas e lagos.

A classificação supervisionada foi realizada mediante a utilização do método Máxima Verossimilhança (MaxVer). Foram obtidas amostras de treinamento do classificador em forma de polígonos em cada classe identificada previamente. Após a classificação das imagens, os

ruídos das classes com dimensões inferiores a 4 pixels foram removidos com uso do *Majority* filtro a fim de melhorar a visualização das classes mapeadas (DUARTE & SILVA, 2019). Em seguida, verificou-se a qualidade da classificação do uso e ocupação do solo por meio da análise da matriz de confusão. Essa etapa foi produzida com base em 50 amostras distribuídas de forma randômica, o que possibilitou obter o índice Kappa, o qual foi classificado conforme intervalos definidos por Congalton e Green (2008).

Simulação de uso do solo

Com o intuito de avaliar o possível cenário de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta Bueno, realizou-se uma simulação de uso do solo para os anos de 2030 e 2040, utilizando o *Modules for Land Use Change Evaluation* desenvolvido pela *Asia Air Survey* e NextGIS para o QGIS (NextGIS, 2012). O método adotado neste estudo seguiu etapas descritas em El-Tantawi et al. (2019) e Ullah et al. (2019), no qual foi realizado o ajuste dos modelos com base em variáveis de entrada dependentes e independentes.

As variáveis dependentes correspondem ao uso e ocupação do solo para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2019, enquanto que as variáveis independentes estão relacionadas à distância de rodovias e vicinais e à declividade do terreno. A distância de rodovias e vicinais da área de estudo foi obtida pela distância euclidiana a partir da malha rodoviária disponibilizada na base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (DNIT, 2019), e retificada de acordo com imagens do Google Earth Pro para o ano de 2019. Já a declividade do terreno em percentual foi obtida no QGIS a partir de dados de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros disponibilizada pela USGS (USGS, 2020), e cenas sob número S12W061, S12W062, S13W61 e S13W062.

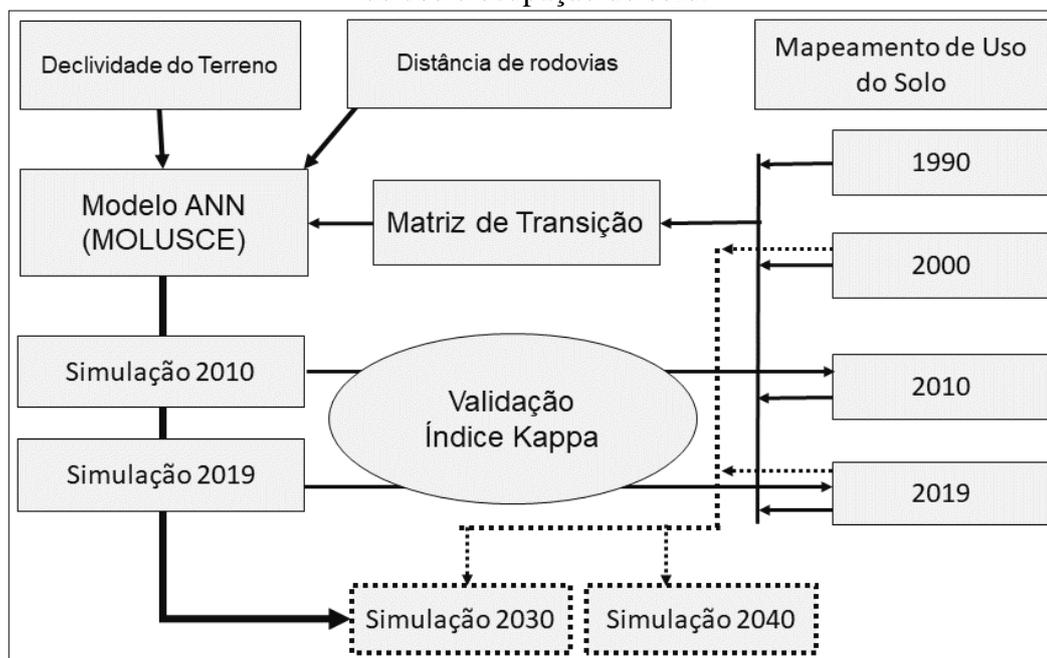
Seguindo a metodologia descrita por El-Tantawi et al. (2019) e Ullah et al. (2019), utilizou-se o método de Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Network - ANN*), Perceptron multicamadas (*Multi-layer Perceptron*) para previsão de uso do solo. O primeiro passo foi o ajuste do modelo. Nessa etapa, foram simulados o uso e ocupação do solo para os anos de 2010 e 2019 a partir da matriz de transição potencial observada entre 1990-2000 e 2000-2010. No *Modules for Land Use Change Evaluation*, usou-se o método de amostragem de forma aleatória, com limite máximo de 1.000 interações e matrizes de vizinhança de 3x3.

A qualidade do modelo foi avaliada por meio do índice Kappa geral e índice Kappa de localização, comparando os produtos cartográficos observados (classificação real) em 2010 e 2019 com os produtos construídos pelo modelo (simulação de uso) para os anos de 2010 e 2019.

Nesse caso, o índice Kappa geral indica a proporção classificada corretamente entre o mapa real e o simulado, enquanto o índice Kappa de localização representa não apenas a proporção de classificação correta, mas também, leva em consideração as classificações corretas em função de sua localização geográfica (SAYEMUZZAMAN & JHA, 2014).

Após verificada a consistência dos modelos de previsão de uso e ocupação do solo, foi elaborado o cenário futuro para os anos de 2030 e 2040, segundo matriz de transição entre 2000 e 2019. Todo processo foi desenvolvido com uso do *Modules for Land Use Change Evaluation* no QGIS (versão 2.18.18). Na Figura 2 está apresentado um fluxograma ilustrando, de modo simplificado, as etapas seguidas para o modelo de simulação de uso do solo desenvolvido no *Modules for Land Use Change Evaluation*.

Figura 2. Fluxograma simplificado das etapas seguidas na simulação de uso e ocupação do solo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, estão dispostos os valores absolutos referentes a cada classe de uso e ocupação do solo, percentuais da taxa de transição entre 1990 e 2019 e o desempenho do índice Kappa (*) para cada ano na classificação de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta. No que se refere ao desempenho da classificação realizada pelo método MaxVer, os resultados obtidos podem ser considerados de boa qualidade, pois atingiram valores variando entre 0,81 e 1,00 (CONGALTON & GREEN, 2008).

Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo na bacia do rio Pimenta entre 1990 e 2019.

Uso do solo e cobertura da terra (km²)				
Classes de uso	1990*	2000*	2010*	2019*
Floresta	8.165,83	5.955,12	4.987,37	4.766,51
Campo natural	41,49	38,33	39,66	39,26
Pastagem	1.900,06	4.117,57	4.932,22	5.000,21
Agricultura	12,50	5,20	150,71	302,00
Área urbana	4,98	4,90	5,62	6,85
Rios e lagos	5,91	9,66	15,31	17,55
Taxas de transição (%)				
Classes de uso	1990-2000	2000-2010	2010-2019	1990-2019
Floresta	-21,82	-9,55	-2,18	-33,56
Campo natural	-0,03	0,01	0,00	-0,02
Pastagem	21,89	8,04	0,66	30,59
Agricultura	-0,07	1,44	1,49	2,86
Área urbana	0,00	0,01	0,01	0,02
Rios e lagos	0,04	0,06	0,02	0,11

Intervalos do índice Kappa *: entre 0,81 e 1,00 (quase perfeito), **: entre 0,61 e 0,80 (substancial)

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Em relação ao uso do solo, observou-se que houve uma redução crescente na classe representada por floresta, ocorrendo um desmatamento maior na década de 1990 a 2000, com uma perda de 2.210,61 km² em sua área, o que corresponde a cerca de 21,82%. Nas décadas seguintes, as perdas de floresta reduziram de forma significativa, sendo 9,55% para 2000-2010 e 2,18% entre 2010 e 2019. A redução no desmatamento observada nas últimas duas décadas na área de estudo pode ter ocorrido em consequência da implementação e aperfeiçoamento de Plano de Combate e Controle do Desmatamento na Amazônia, conforme descrito por Mello e Artaxo (2017).

A redução da área de floresta decorre do aumento em áreas ocupadas pelas demais classes, em especial, por áreas ocupadas com pastagem. Nesse caso, verificou-se que, entre as décadas de 1990 e 2000, as áreas de pastagem tiveram um aumento de 2.217,51 km², representando um ganho de 21,89% nessa classe. Nas décadas seguintes, esse acréscimo não permaneceu constante, porém, ao final do período avaliado (1990-2019), as áreas ocupadas por pastagem aumentaram em torno de 30,59%, o que representa cerca de 49,34% da área de estudo.

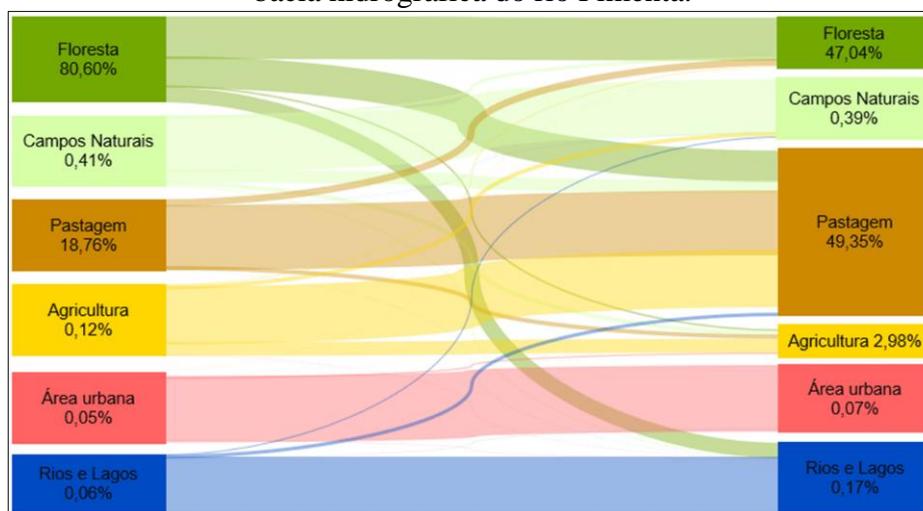
Notou-se ainda um aumento nas demais classes (agricultura, área urbana e rios e lagos). Essas classes apresentaram uma extensão de crescimento inferior à pastagem. Porém, indica um cenário de aumento exponencial, principalmente para a classe agricultura, que obtém uma expansão considerável e se destaca das demais em relação às últimas décadas analisadas. Entre 1990 e 2000 as áreas ocupadas por agricultura tiveram uma redução de 0,07%, entretanto nas décadas de 2000 a 2010, essas áreas aumentaram cerca de 1,44%, e entre 2010 e 2019, aumentaram cerca de 1,49%, perfazendo um aumento de 2,86% entre 1990 e 2019.

Em relação a transição das classes de uso do solo entre 1990 a 2019 (Figura 3), notou-se que as áreas desmatadas foram substituídas, predominantemente por pastagens, agricultura e rios e lagos. Observou-se ainda pequenas transições entre pastagem/floresta nesse período, o que pode significar a recuperação de áreas de preservação permanente ou o desenvolvimento de silvicultura, prática que tem se intensificado nos últimos anos no estado de Rondônia, sobretudo na região sul do estado (CIPRIANI et al., 2013). Além disso, constatou-se que os ganhos observados em áreas de pastagem foram maiores que as perdas observadas para a classe ocupada por floresta, significando que a expansão de áreas de pastagem ocorreu não apenas sobre áreas de florestas, mas também em áreas de campo natural, ou mesmo a substituição de áreas anteriormente ocupadas por agricultura familiar.

A agricultura passa a assumir também uma extensa área quando comparada à década de 1990, no entanto ainda menor que a pastagem, mas que ganha espaço no ano de 2019. Observa-se que essa classe dobrou a sua extensão e que, majoritariamente, parte desse espaço ocupado é resultante de áreas anteriormente ocupadas por pastagem, e não proveniente de desmatamento. Nesse sentido, é possível assegurar que a agricultura tem avançado em áreas nas quais o solo já foi desmatado previamente.

Os rios e lagos da bacia do rio Pimenta mesmo sendo menor em relação as demais classes, quando considerado sua área inicial de abrangência tornam-se extensos. Nas últimas décadas os rios e lagos podem ter aumentado consideravelmente em virtude do estabelecimento de pequenas barragens (< 5 hectares) para a criação de peixes em cativeiro, prática comum nos municípios que compõem a bacia do rio Pimenta (MEANTE & DÓRIA, 2017).

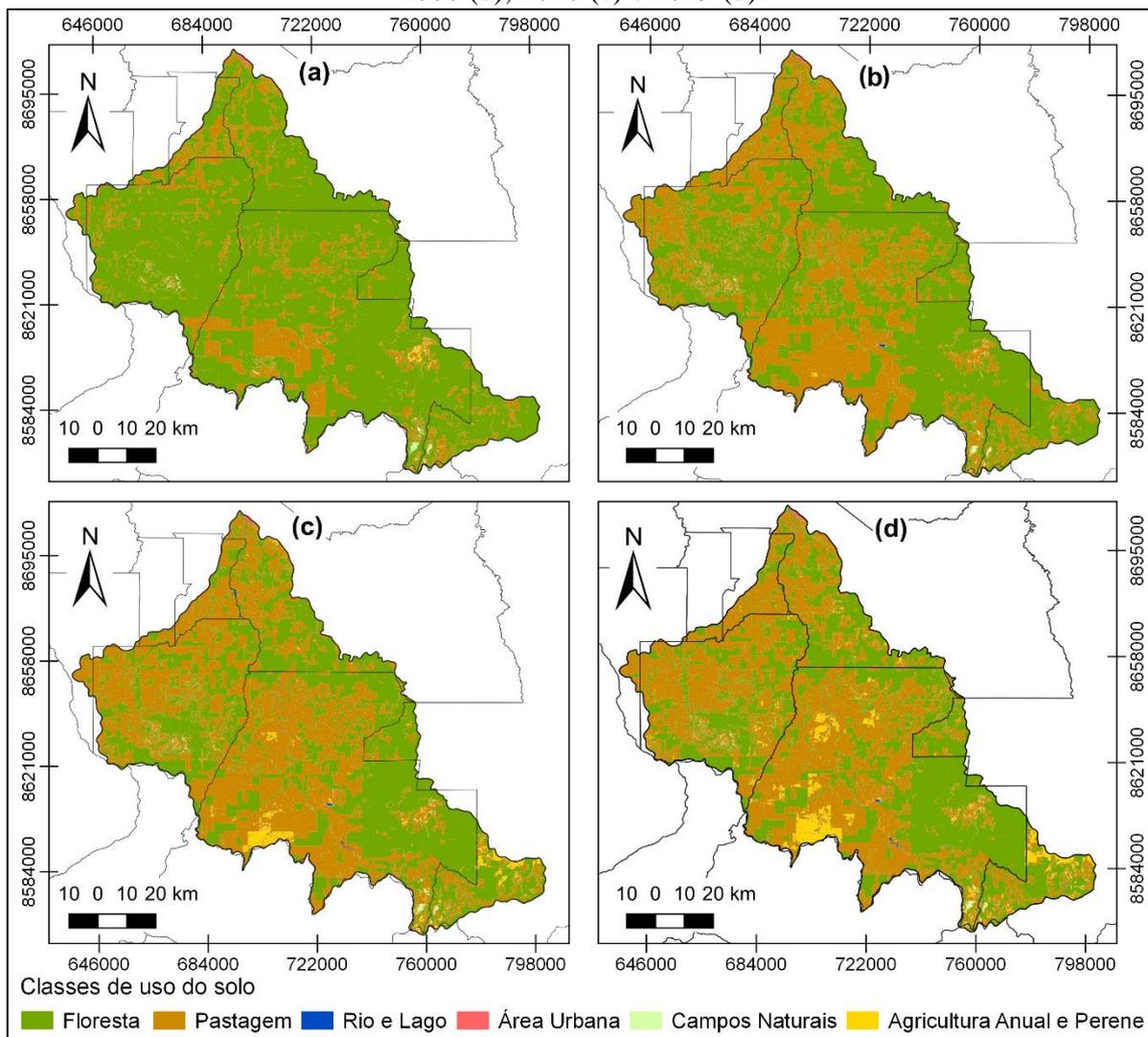
Figura 3. Diagrama de Sankey indicando a transição de uso do solo entre 1990 e 2019 na bacia hidrográfica do rio Pimenta.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A distribuição espacial do uso e ocupação do solo entre 1990 e 2019 é apresentada na Figura 4. Nela, é possível observar a transição entre as classes, os espaços alterados e as classes que passam a ser dominantes dentro do perímetro da bacia do rio Pimenta.

Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Pimenta para os anos de 1990 (a), 2000 (b), 2010 (c) e 2019 (d).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Pela análise do mapa de uso e ocupação do solo apresentado na Figura 4, percebeu-se que a maior parte da bacia foi composta por uma extensa área de floresta em 1990 (Figura 4a), no entanto, os municípios de Parecis e Chupinguaia apresentaram as primeiras manchas de áreas de pasto utilizadas em grandes extensões na criação de bovinos e agricultura. Em 2000 (Figura 4b), o desmatamento avançou, alcançando os demais municípios que fazem parte da bacia, o que indica a supressão mais acentuada da floresta, uma vez que no cultivo dessa atividade econômica quanto maior o rebanho bovino, mais áreas precisam ser desmatadas, ou a

substituição de outras áreas anteriormente ocupadas por demais usos para o estabelecimento de pastagem (WALKER et al., 2013; DUARTE et al., 2020).

Nas décadas de 2010 e 2019 (Figura 4c, d), além das extensas áreas de pastagem, observou-se a expansão da agricultura, sobretudo, nos municípios de Pimenta Bueno, Parecis, Chupinguaia e Vilhena. Esses municípios destacam-se pela produção de culturas, como café, milho e soja, juntamente com a pecuária extensiva (IBGE, 2020). Essas atividades que fazem parte do agronegócio representam a mola propulsora do desenvolvimento regional, uma vez que são atividades rentáveis com baixo investimento e pouca mão de obra, mas que ocupam grandes espaços para serem implantadas.

De acordo com Costa Silva (2014), duas importantes alterações corroboraram a expansão do agronegócio em Rondônia. A primeira consistiu na substituição da pecuária extensiva pela produção de soja e dos demais grãos, sendo que a redução do rebanho bovino foi superior nos municípios onde a soja avançou, como é o caso do município de Vilhena. A segunda alteração ocorreu quando os agricultores, impulsionados pela capitalização que a agricultura globalizada promoveu, acabaram por vender e/ou arrendar suas terras, visto que não havia capital suficiente para investir na propriedade.

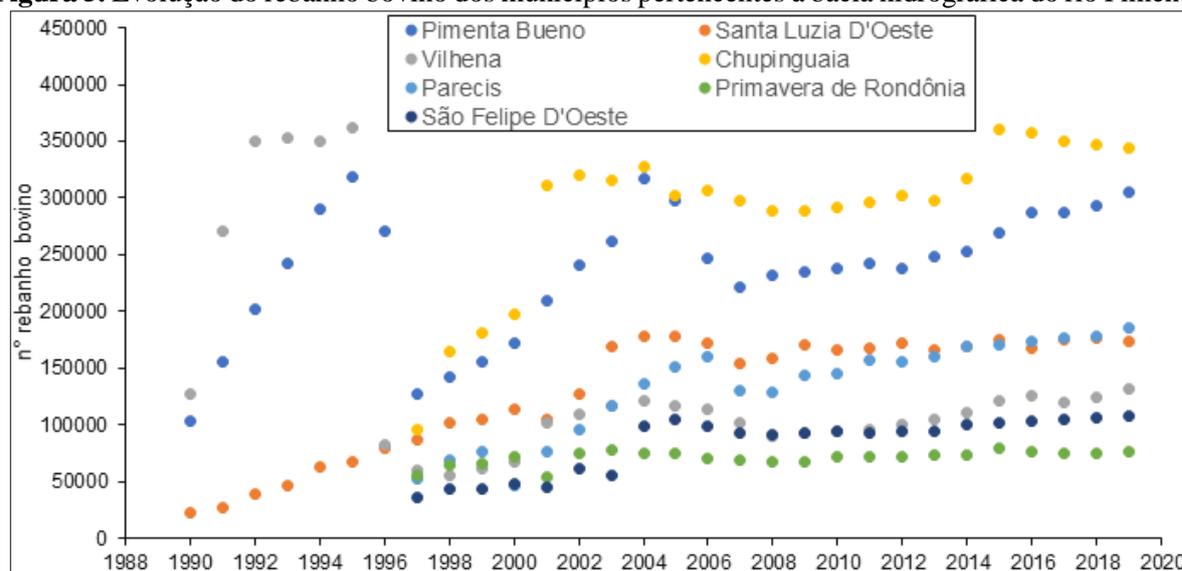
Por outro lado, Souza et al. (2018) chamam atenção para a degradação do solo por práticas agrícolas inadequadas no território rondoniense. Em conformidade com os autores, os solos da região não suportam atividades agrícolas por período superior a cinco anos, pois apesar de possuir boa qualidade, o manejo inadequado do solo tem causado grandes perdas no conteúdo de matéria orgânica e nutrientes do solo, acarretando desequilíbrio. Nesse sentido, os agricultores necessitam realizar o desmatamento de novas áreas para o estabelecimento de atividades agrícolas, ou, então, promover a atividade pecuária em áreas já desmatadas (DUARTE et al., 2020).

No cenário atual (Figura 4d), as áreas com maior percentual de cobertura florestal preservada compreendem os remanescentes florestais representados pelas terras indígenas e pequenos fragmentos em seu entorno (região oeste e sudeste da bacia hidrográfica). Porém, é notório o avanço de áreas ocupadas por pastagem ao entorno, o que se torna preocupante, posto que na região existe a predominância de solos com alta vulnerabilidade à erosão (Neossolos Quartzarênicos), que associada ao uso e ocupação inadequados do solo por criação extensiva de gado e monoculturas de grãos, tem favorecido a perda de solo acelerada por voçorocas em áreas no entorno da Terra Indígena Kwazá do Rio São Pedro e a Terra Indígena Tubarão/Latundê (SANTOS & GOMIDE, 2015; GOMIDE & AIKANÃ, 2020).

Os impactos associados ao desenvolvimento de atividades agropecuárias de forma inadequada são preocupantes, em especial, no que se refere à criação extensiva de gado na região, ocupação predominante atual e, possivelmente, nas próximas duas décadas, conforme indicado o histórico de uso do solo.

Com o segundo maior rebanho bovino da região Norte, o estado de Rondônia teve um aumento de 735,90% entre 1990 e 2018 (IBGE, 2020). Nos municípios pertencentes à bacia do rio Pimenta, o crescimento do rebanho bovino foi exponencial entre 1990 e 2000 (Figura 5), período representado pela maior perda de vegetação florestal na bacia hidrográfica (notou-se o aumento exponencial do rebanho bovino nos municípios de Pimenta Bueno e Vilhena entre 1990 e 1995, e a consequente redução do seu rebanho por causa do desmembramento dos municípios para emancipação de Chupinguaia, Parecis, São Felipe D'Oeste e Primavera de Rondônia).

Figura 5. Evolução do rebanho bovino dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Pimenta.



Fonte: Elaborado pelos autores do trabalho com base em dados do IBGE (2020).

CENÁRIOS FUTUROS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A construção de cenários futuros quanto ao uso e ocupação do solo é pertinente, visto que possibilita compreender e destacar as possíveis modificações e alterações potenciais que podem acontecer no futuro (EL-TANTAWI et al., 2019).

Neste estudo, as previsões de uso do solo para os anos de 2010 e 2019, realizadas por meio de ANN com base em tendências históricas (matriz de transição entre 1990-2000 e 2000-2010), apresentaram bons resultados (índice Kappa geral de 79,91% e índice Kappa de

localização de 0,62 para 2010; índice Kappa geral de 89,13% e índice Kappa de localização de 0,85 para 2019), o que, de certo modo, são considerados fortes, tornando razoável realizar projeções futuras plausíveis (MUNTHALI et al., 2020). Nesse caso, foi realizada a projeção de cenários para os anos de 2030 e 2040.

Na Tabela 3, encontra-se o resultado das taxas de transições observadas nos anos anteriores, bem como dos possíveis cenários de uso e ocupação do solo para 2030 e 2040.

Tabela 3. Taxas de transição de uso do solo e cobertura da terra para os anos de 1990 a 2040.

Classes de uso do solo	Área (%)				Mudança de uso do solo (%)		
	1990	2019	2030	2040	1990-2019	2019-2030	2030-2040
Floresta	80,60	47,04	41,58	39,05	-33,56	-5,46	-2,53
Campo Natural	0,41	0,39	0,10	0,03	-0,02	-0,29	-0,08
Pastagem	18,76	49,35	55,14	58,27	30,59	5,79	3,13
Agricultura	0,12	2,98	2,88	2,33	2,86	-0,10	-0,54
Área Urbana	0,05	0,07	0,13	0,14	0,02	0,06	0,01
Rios e Lagos	0,06	0,17	0,17	0,18	0,11	0,00	0,01

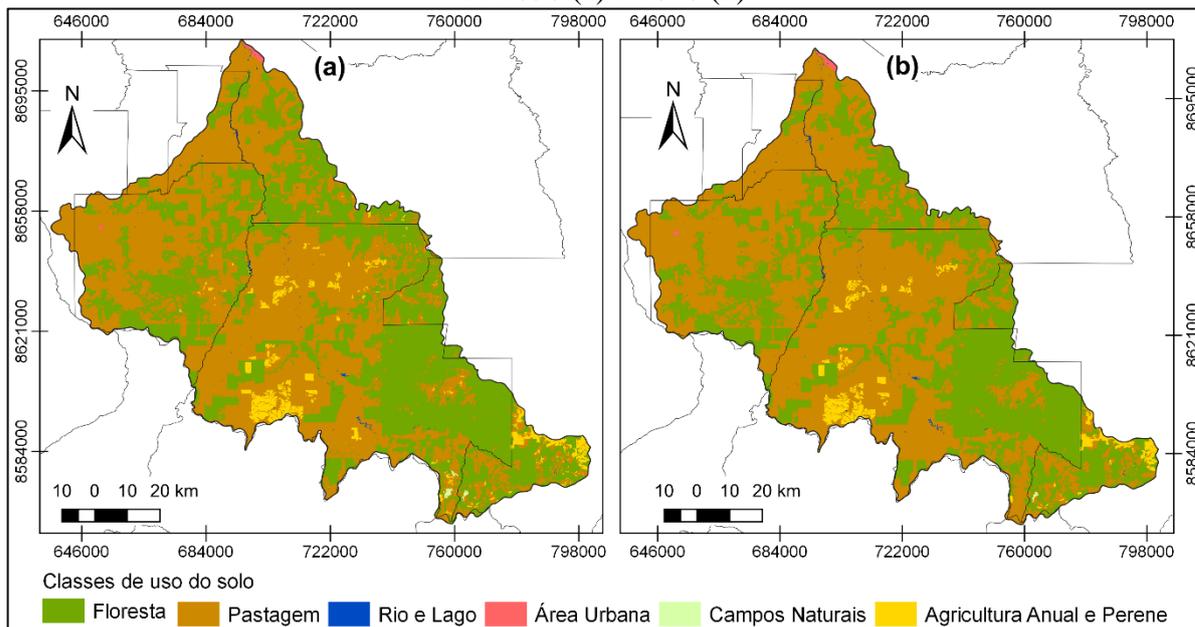
Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Constatou-se que existe uma tendência de perda de áreas florestais, ou seja, no cenário de uso para o ano de 2030, o modelo de ANN prevê uma perda de 5,46% de sua totalidade e mais 2,53% até 2040, essas perdas ocorreram sobretudo nos menores fragmentos florestais, tal como a redução em área dos maiores fragmentos. As transições de uso do solo previstas pelo modelo indicam que as áreas desmatadas serão convertidas, especialmente, em pastagem e área urbana.

O modelo indicou uma tendência de redução em 0,29% de áreas ocupadas por campos naturais até 2030, e cerca de 0,08% até 2040, onde essas áreas são substituídas, principalmente, por pastagem. Na Figura 6, é possível verificar a espacialização da simulação de uso e ocupação do solo na bacia do rio Pimenta para os anos de 2030 e 2040, realizada por ANN.

O resultado do modelo mostra que enquanto as áreas de floresta e campos naturais diminuíam, as áreas ocupadas por pastagens aumentavam gradativamente, o que provavelmente torna essa atividade econômica o principal padrão de uso nos municípios que fazem parte da bacia. As perdas consideráveis de floresta ocorreram, em especial, sobre os fragmentos florestais nas áreas de maior pressão próximos às principais rodovias e áreas urbanas, além da redução em área dos maiores fragmentos.

Figura 6. Mapa de uso e ocupação do solo previsto por ANN para os anos de 2030 (a) e 2040 (b).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

O modelo de previsão indica ainda o avanço do desmatamento em áreas no entorno da Terra Indígena Kwazá do Rio São Pedro e Terra Indígena Tubarão/Latundê até 2040, fato observado em trabalhos anteriores realizados por Santos e Gomide (2015) e Gomide e Aikanã (2020) nessas áreas, tal como em demais áreas ocupadas por Terras Indígenas e Unidades de Conservação no estado de Rondônia (SANTOS & FREDERICO, 2018; OLIVEIRA et al., 2019; LOPES & SOUZA, 2020).

Seguindo a dinâmica de uso e ocupação do solo no estado descrita por Souza et al. (2018), o cenário futuro nessa região pode ser impulsionado pela crescente demanda por alimentos, tendo em vista que será necessário um aumento em 70% no rebanho bovino até 2050 para atender à demanda futura (Meirelles Filho, 2014). Essa previsão, de acordo com os padrões atuais de ocupação do solo e pelo sistema de produção (pouco produtivo) pode significar a abertura de novas áreas de floresta para o estabelecimento da agropecuária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostraram modificações intensas na paisagem local, com a perda de áreas de floresta, principalmente na primeira década. Tais áreas foram desmatadas e ocupadas, predominantemente, por pastagens seguidas pela agricultura familiar. Entre 1990 e 2019, cerca de 33,56% da vegetação florestal da bacia hidrográfica foram removidos para o estabelecimento de práticas agropecuárias.

Se os padrões atuais de uso do solo não mudarem, a tendência é que a área de estudo perca por desmatamento mais 7,99% da vegetação florestal até 2040. Essas áreas serão ocupadas por práticas agropecuárias pouco produtivas e sujeitas à perda de solo em função da alta fragilidade regional.

Garantir o aumento na produção de alimentos a fim de suprir a crescente demanda e, ao mesmo tempo, reduzir as taxas de desmatamento são alguns dos desafios a serem enfrentados pelo Estado e pela sociedade nas próximas décadas. Todavia, esses objetivos, por vez, conflitantes, podem ser alcançados com o investimento na melhoria da produtividade agrícola da região.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

CHOWDHURY, M.; HASAN, M. E.; ABDULLAH-AL-MAMUN, M. M. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. v. 23, n. 1, p. 63-75, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.11.003>

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. P. C. Crescimento inicial de clones de eucalipto em Vilhena, RO. **Comunicado Técnico - EMBRAPA**, n. 388. p. 1-3. 2013.

CONGALTON, R. G., GREEN, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices, Second Edition. **Nova York, Boca Raton: Lewis Publishers**, 200p. 2008. <https://doi.org/10.1201/9781420055139>

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. 2018. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-ptbr/latest/semiautomaticclassificationmanual-ptbr.pdf>, Acesso em: 05 jul. 2020.

COSTA SILVA, R. G. A regionalização do agronegócio da soja em Rondônia. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 18, n. 2, p. 298-312, 2014.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2019). **Atlas e Mapas - Shapefiles**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>, Acessado em: 05/03/2020.

DUARTE, M. L., SILVA, T. A. Avaliação do Desempenho de Três Algoritmos na Classificação de Uso do Solo a Partir de Geotecnologias Gratuitas. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 21, 1, p. 6-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2019v21n1p6-16>

DUARTE, M. L.; BRITO, W. B. M.; SILVA, T. A.; CASTRO, A. L. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia Brasileira. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 117-127, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2790.117-127>

EL-TANTAWI, A. M., BAO, A., CHANG, C., LIU, Y. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 480, p. 1-18, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7478-0>

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Geografias**. v. 11, n. 1. p. 44-58, 2015.

GOMIDE, M. L. C.; AIKANÃ, C. Terras Indígenas em áreas de transição Cerrado-Amazônia em Rondônia: o caso da T. I. Tubarão Latunde. **Revista NERA**. v. 23, n. 54, p. 233-258. 2020.

HAN, H.; YANG, C.; SON, J. Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 4260-4279, 2015. <https://doi.org/10.3390/su7044260>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática–SIDRA**. Várias consultas. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/V/105/T/Q>. Acesso em 17 de julho de 2020.

LIPING, C., YUJUN, S., SAEED, S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques - A case study of a hilly area, Jiangle, China. **PLoS ONE**, v. 13, n. 7, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>

LOPES, C. A. V.; SOUZA, R. A. Análise da cobertura florestal da Terra Indígena Sete de Setembro, entre os anos de 1997 a 2017. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**. v. 9, n. 1 p. 1–7. 2019.

MARSHALL, E., RANDHIR, T. Spatial modeling of land cover change and watershed response using Markovian cellular automata and simulation. **Water Resources Research**, v. 44, n. 4, p. 1-11, 2008. <https://doi.org/10.1029/2006WR005514>

MEANTE, R. E. X.; DÓRIA, C. R. C. Caracterização da cadeia produtiva da piscicultura no estado de Rondônia: desenvolvimento e fatores limitantes. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**. v. 9, n. 4. p. 164-181, 2017. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v9n4p164-181>

MEIRELLES FILHO, J. C. S. Is it possible to overcome the legacy of the Brazilian dictatorship (1964-1985) and keep deforestation in the Amazon under control? Not as long as cattle ranching continues as the main cause of deforestation. **Boletim do Museu Paraense**

Emílio Goeldi. Ciências Humanas. v. 9, n.1, p. 219-241. 2014.

<https://doi.org/10.1590/S1981-81222014000100014>

MELLO, N. G. R.; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66. p. 108-129, 2017. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-901x.v0i66p108-129>

MOLOSSI, L.; HOSHIDE, A. K.; PEDROSA, L. M.; OLIVEIRA, A. S.; ABREU, D. C. Improve Pasture or Feed Grain? Greenhouse Gas Emissions, Profitability, and Resource Use for Nelore Beef Cattle in Brazil's Cerrado and Amazon Biomes. **Animals**. v. 10, n. 8. p. 1-21. 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10081386>

MUNTHALI, M. G.; MUSTAK, S.; ADEOLA, A.; BOTAI, J.; SINGHS. K.; DAVIS, N. Modelling land use and land cover dynamics of Dedza district of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 17, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100276>

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39 n.1, p. 170– 178. 2017. <https://doi.org/10.5902/2179460X21737>

NEXTGIS. 2012. **Modules for Land Use Change Evaluation – MOLUSCE**. Disponível em: <http://nextgis.com/blog/molusce/>, Acessado em: 20/12/2019.

OLIVEIRA, P. C. S. S.; SANTOS, A. M.; FERREIRA, N. C. Modelagem dinâmica do desmatamento no sul da Amazônia Ocidental. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3. P. 188-206. 2019. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i3.42643>

SANTOS, A. M.; FREDERICO, J. L. D. Vulnerabilidade natural a perda de solos no município de Alto Alegre dos Parecis e seus impactos sobre a terra indígena Rio Méquens – Rondônia. **Revista Caminhos de Geografia**. v. 19, n 66. p. 97-115, 2018. <http://dx.doi.org/10.14393/RCG196607>

SANTOS, A. M.; GOMIDE, M. L. C. A ocupação no entorno das terras indígenas em Rondônia, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 35, n. 3. p. 417-436. 2015. <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i3.38834>

SAYEMUZZAMAN, M.; JHA, M. K. Modeling of future land cover land use change in North Carolina using Markov chain and cellular automata model. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**. v.7, n. 3, p. 295-306, 2014. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2014.295.306>

SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; FIORELI-PERIRA, E. C.; PEQUENO, P. L. L.; MILITÃO, J. S. T. L. Solos de Rondônia: usos e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciência da Amazônia**, v. 1, n. 1. p. 213-231, 2012.

SEMA-SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. 2012. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Natural Municipal de Porto Velho**. 244pp. <https://sema.portovelho.ro.gov.br/artigo/23660/protecao-integral>, Acessado: 19/11/2019.

SILVA, L. P.; PAIXÃO, A. N. Modelagem e análise temporal da dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia do rio Cuiá-PB. **InterEspaço**, v. 5, n. 17 p. 01-20, 2019. <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.2019.11617>

SILVA, M. J. G.; QUERINO, C. A. S.; NETO, L. A. S.; MACHADO, N. G.; MILITÃO, J. S.; BIUDES, M. S. Efeito da ocupação do solo sobre o clima de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **RA'EGA**, v. 43, p. 232-251, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.48753>

SOUZA, J. A. O. (Des)Florestamento: influência no desenvolvimento socioeconômico de Rondônia. In: Cerqueira et al. **Café Geográfico: colonização, floresta e sistemas agroflorestais na Amazônia**. 2ed. **CRV**, v. 1, p. 75-86, 2018.

TANG, F.; FU, M.; WANG, L.; ZHANG, P. Land-use change in Changli County, China: Predicting its spatio-temporal evolution in habitat quality. **Ecological Indicators**. v. 117, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106719>

ULLAH, S., AHMAD, K., SAJJAD, R. U., ABBASI, A. M., NAZZER, A. TAHIR, A. A. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. **Journal of Environmental Management**, v. 245, n. 1, p. 348-357, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.063>

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Dados Landsat**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Acessado em: 10/03/2020.

WALKER, N. F., PATEL, S. A., KEMEL, A. B. K. From Amazon Pasture to the High Street: Deforestation and the Brazilian Cattle Product Supply Chain. **Tropical Conservation Science**. v. 6, n. 3, p. 446-467, 2013. <https://doi.org/10.1177/194008291300600309>

Recebido em 24 de agosto de 2020

Aceito em 01 de fevereiro de 2021

Publicado em 07 de abril de 2021