

Análise Espacial e Temporal do Uso e Cobertura da Terra em Joinville/SC de 1985 a 2022 *

Juliana Melissa Maes
Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Santa
Catarina
Florianópolis/SC - Brasil
julimaes1@gmail.com

Guilherme Silva Salgueiro
Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Santa
Catarina
Florianópolis/SC - Brasil
guilhermesalgueiro1@gmail.com

Renan Furlan de Oliveira
Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Florianópolis/SC - Brasil
renan.furlan@ufsc.br

ABSTRACT

This research analyzes land use and land cover dynamics in Joinville through remote sensing images. The methodology consists of three main steps: defining the study area, acquiring and processing images and spatial data, and reclassifying the images using a geographic information system. The images used are from the Landsat series, specifically Collection 8.0 of the MapBiomias Project, covering the period from 1985 to 2022. These images represent five primary classes: forest, non-forest natural formation, agricultural land, non-vegetated areas, and water bodies. The results indicate land use and land cover change rates ranging from 5 to 167% for increases, and from 5 to 53% for decreases. In conclusion, the approach presented significantly contributes to generating territorial indicators, which are important resources for territorial planning and management.

KEYWORDS

Land use and land cover changes. Remote sensing. Geographic information system. Environmental changes.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

O crescente impacto das mudanças no uso e cobertura da terra, como o desmatamento, a agricultura intensiva e a urbanização desordenada, tem causado consequências muito importantes nos processos naturais, incluindo por exemplo a degradação do solo, a perda de biodiversidade, bem como as alterações no ciclo hidrológico [1]. Esse cenário tem evidenciado a relevância dos trabalhos de pesquisa no contexto da análise espaço-temporal de feições naturais e antrópicas para a compreensão, o monitoramento e a gestão ambiental sustentável, exigindo políticas públicas mais eficazes e ações de mitigação tanto em níveis locais e regionais quanto globais [2, 3, 4].

A avaliação dessas mudanças é essencial para ~~atividades~~ como o planejamento urbano e rural, a análise de variações de temperatura e o monitoramento ambiental, especialmente no contexto das mudanças climáticas [5]. Diversas metodologias, fundamentadas na análise de imagens de satélite, modelagem preditiva e soluções de inteligência artificial, têm contribuído

para diagnósticos ambientais multitemporais, subsidiam ações estratégicas de planejamento e gestão territorial, recuperação de áreas degradadas e formulação de políticas públicas de segurança, promovendo a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico em múltiplas escalas [6, 7].

A International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) desempenha funções de extrema importância e relevância nesses campos do conhecimento, principalmente através de suas comissões dedicadas ao sensoriamento remoto e à ciência da informação espacial. A comissão WG III/4 - Landuse and Landcover Change Detection, por exemplo, se destaca por aprimorar algoritmos e metodologias para mapear e detectar as mudanças no uso e cobertura da terra, utilizando aprendizado profundo, modelagem dinâmica e inteligência artificial [8]. Além disso, a ISPRS, por meio dos seus grupos de trabalho realiza a cooperação com outras entidades, como a International Cartographic Association (ICA) e a International Federation of Surveyors (FIG), para fortalecer o uso de dados de sensoriamento remoto e fomentar a atualização de bases de dados espaciais, contribuindo fortemente para a compreensão das dinâmicas territoriais globais.

A utilização de dados e técnicas de sensoriamento remoto permite obter métricas, indicadores e informações a partir de um amplo conjunto de dados diversificados e integrados [9, 10], que podem ser apresentados em forma de representações cartográficas, tabelas, gráficos e variados meios e ferramentas de visualização. A rede colaborativa MapBiomias, por exemplo, disponibiliza um vasto acervo de dados e imagens anuais sobre cobertura e uso da terra, monitoramento de superfícies de água, desmatamento e queimadas. Esses dados são essenciais para a elaboração de relatórios socioambientais e para o avanço do conhecimento nas áreas de sensoriamento remoto, alinhados aos princípios e objetivos desta ciência aplicada [11].

Investigações sobre as transformações do território são fundamentais para identificar tanto os aspectos naturais que promovem a preservação dos recursos ambientais quanto os impactos das atividades humanas, como a expansão urbana e as mudanças ambientais [12, 13]. No Brasil, o MapBiomias destaca que, em 37 anos, a Amazônia perdeu 12% de sua área de floresta. Além da perda de vegetação nativa, a Amazônia também sofre com a redução dos recursos hídricos, o que sublinha a necessidade urgente de uma ação conjunta internacional para reverter essa tendência destrutiva [14].

No cenário internacional, o Peru perdeu cerca de 50% de suas geleiras e 4% de sua vegetação natural ao longo de 37 anos devido às mudanças climáticas e ao carbono negro resultante das queimadas na Amazônia. As geleiras são fundamentais para alimentar nascentes de grandes rios que abastecem milhões de pessoas [15]. Esses dados alertam tanto as instituições quanto a comunidade científica sobre a urgência de ações integradas para mitigar os impactos dessas mudanças ambientais.

No contexto regional, abordagens de mapeamento do uso e cobertura da terra podem ser encontradas na literatura, tanto para todo o estado de Santa Catarina, como é o caso do mapa produzido no contexto do projeto MonitoraSC [16] quanto para a capital Florianópolis [17]. O mesmo acontece com trabalhos sobre análise temporal com foco nas modificações da paisagem, como as abordagens de quase quatro décadas apresentadas para o município de Florianópolis [18, 19].

Nos últimos anos, o município de Joinville tem enfrentado desafios relacionados à expansão urbana e industrial, tendo testemunhado um crescimento populacional muito expressivo, associado à valorização imobiliária, o que refletiu na alteração da sua paisagem tradicional. A migração, o crescimento interno e a expansão desordenada das áreas urbanas modificaram os usos da terra de maneira desigual, processo de urbanização comum no Brasil, que muitas vezes resulta na ocupação de áreas sem infraestrutura adequada, contribuindo assim para a degradação ambiental e social, além do surgimento de áreas de risco [20].

Destaca-se que, até o presente momento, Joinville continua a enfrentar problemas dessa natureza. Tais processos foram acompanhados por alterações tanto nas legislações federais, quanto nas estaduais e municipais, como mudanças nos planos diretores e nas leis ambientais, incluindo o Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 [21]. A compatibilidade da caracterização biótica e abiótica do território com as estipulações dessa lei possibilitou a criação de áreas de proteção e preservação ambiental no município. Neste sentido, conhecer o território e os usos e cobertura da terra torna-se essencial para monitorar as ocorrências e planejar o futuro, sobretudo, diante do atual cenário e projeções decorrentes dos efeitos e consequência das mudanças climáticas. Assim, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Joinville, entre os anos de 1985 e 2022, utilizando o processamento de dados e imagens da plataforma MapBiomas em um sistema de informação geográfica. Busca-se apresentar indicadores quantitativos que contribuam para a compreensão e interpretação das mudanças na paisagem ao longo do tempo.

Ressalta-se que as atividades de mapeamento e análise espaço-temporal são fundamentais para o desenvolvimento sustentável e o ordenamento territorial, fornecendo uma base sólida de dados e indicadores sobre o uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Com isso, é possível avaliar as mudanças ambientais e suas consequências como o desmatamento e a expansão urbana, identificando áreas críticas que demandam preservação. Além disso, estudos dessa natureza são capazes de subsidiar políticas públicas em prol do desenvolvimento sustentável do município, aprimorando a gestão dos recursos naturais, garantindo que as decisões de planejamento regional sejam embasadas tecnicamente e que levem em conta tanto o presente, quanto as necessidades futuras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra de Joinville, entre 1985 e 2022, três etapas principais foram realizadas sequencialmente. A primeira etapa consistiu na caracterização da área de estudo, onde foram identificadas as particularidades geográficas, ecológicas e socioeconômicas do município, considerando a expansão urbana e os principais vetores de mudança no uso e cobertura da terra ao longo do tempo. Na segunda etapa foi realizado o download das imagens e dos dados vetoriais provenientes da plataforma MapBiomas, Coleção 8.0 e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A terceira etapa compreendeu o processamento das imagens e dos dados vetoriais em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica, além da reclassificação dos dados de uso e cobertura da terra e a especificação gráfica para apoiar a elaboração das representações cartográficas. Por fim, foram elaborados mapas temáticos a fim de possibilitar a visualização espacial, bem como as mudanças ocorridas no município ao longo das últimas décadas.

2.1 Área de estudo

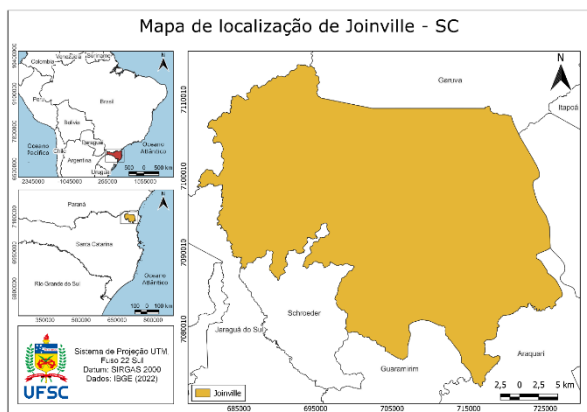
O município de Joinville está localizado no estado de Santa Catarina, região Sul do país. Situa-se no litoral norte do estado e confronta-se a leste com a Baía da Babitonga e a oeste com trecho da cadeia de montanhas da Serra do Mar. Joinville é um importante município situado entre os paralelos 26° 18' S e 26° 15' S de latitude e os meridianos 48° 50' W e 48° 55' W de longitude, conforme mostra a Figura 1. Com uma área total de 1.127,947 km² é considerada a maior cidade de Santa Catarina em termos populacionais e um dos principais polos industriais e econômicos do estado. Segundo dados de 2019 do IBGE [22], aproximadamente 137,60 km² é urbanizado, o que representa um desenvolvimento significativo da infraestrutura urbana local.

Joinville se destaca pela diversidade geográfica e ambiental, com rios e lagos que abastecem a região e embelezam a sua paisagem. A geologia e a topografia, marcadas por morros e barragens, abrigam extensas áreas de Mata Atlântica, habitat de diversas espécies. Esses fatores reforçam a sua importância na preservação ambiental. O desenvolvimento industrial e tecnológico nas últimas décadas consolidou a cidade como um importante centro econômico, atraindo empresas de setores como metalurgia, tecnologia da informação e fabricação de máquinas [23].

O estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra em Joinville é particularmente relevante devido ao avanço da urbanização e da expansão das atividades econômicas, que impactam diretamente as áreas naturais e os recursos hídricos. A convivência entre desenvolvimento urbano e preservação ambiental exige monitoramento contínuo e indicadores para guiar a gestão e a sustentabilidade. Analisar as mudanças de 1985 a 2022 permite compreender os padrões de ocupação, identificar pressões ambientais e avaliar a influência de políticas públicas e iniciativas empresariais [24]. Trata-se, portanto, de uma atividade fundamental para orientar estratégias que conciliam desenvolvimento e preservação,

contribuindo para o planejamento sustentável e a proteção dos recursos naturais, a médio e longo prazo. [25].

Figura 1: Mapa de localização de Joinville/SC.



2.2 Imagens e dados vetoriais

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos por meio da plataforma MapBiomias, Coleção 8.0 [14, 26], que fornece mosaicos de imagens com resolução espacial de 30 m/pixel, provenientes da série Landsat. A plataforma oferece ao usuário conjuntos de ferramentas, os toolkits, no ambiente do Google Earth Engine (GEE), permitindo a visualização dos dados. Para realizar a análise específica para o município de interesse foi necessário ajustar o código dos toolkits. Portanto, inicialmente, foram incorporados os dados vetoriais da malha municipal dos municípios de Santa Catarina como assets no ambiente do GEE. Em seguida, foram incluídas no código original "*mapbiomas-user-toolkit-lulc.js*" as linhas de código para filtrar e exibir os dados de uso e cobertura da terra em função dos atributos da geometria correspondente à malha municipal de Joinville, em sua versão mais atual, ano de 2022, disponibilizada pelo IBGE, delimitando a área de estudo.

Com a adaptação do *toolkits*, o GEE passou a permitir a visualização dos dados por meio de caixas de seleção, com a API do MapBiomias. Em particular, foi possível utilizar o atributo "NM_MUN" dos dados vetoriais para selecionar o município de Joinville. Com isso, os dados do MapBiomias foram processados e visualizados através do GEE, resultando no download de 38 imagens, anualmente, de 1985 a 2022, para serem manipuladas em um ambiente de sistema de informação geográfica.

As imagens da série Landsat, com resolução espacial de 30 m/pixel, obtidas da Coleção 8.0 da plataforma MapBiomias, são originalmente referenciadas ao sistema de referência World Geodetic System 1984 (WGS 84). Para a análise no município de Joinville, foi necessário converter o sistema de referência para SIRGAS 2000 e aplicar a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul, conforme a localização geográfica do município e seguindo os padrões da cartografia sistemática brasileira. Essa transformação garantiu a utilização de uma projeção métrica adequada, permitindo o cálculo de áreas de interesse dentro do município, em função das classes de uso e cobertura da terra. Para a realização dos procedimentos foi utilizado o software QGIS, versão 3.28.4.

2.3 Processamentos e detecção de mudanças

Nesta etapa foi realizada a reclassificação dos dados de uso e cobertura da terra da plataforma MapBiomias, conforme os códigos de legenda para os valores de pixel da Coleção 8.0, que apresenta diferentes níveis de classificação variando de 1 a 4, totalizando 29 classes de uso e cobertura da terra [27]. Nesse processo, foi realizada uma análise das classes originalmente utilizadas pelo MapBiomias e, em seguida, uma reclassificação foi proposta, com base nas diretrizes do Manual Técnico de Uso da Terra [28], bem como na classificação nível 1 da Coleção 8.0 do MapBiomias, conforme mostra a Tabela 1. Cinco classes principais foram adotadas para seguir com as análises.

Tabela 1: Uso e cobertura da terra, classe nível 1 da Coleção 8.0 (MapBiomias) em consonância com o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE).

Classes (nível 1)	Classes agrupadas (nível 2 e 3 e 4): Coleção 8.0 do MapBiomias
Floresta	Formação florestal; formação savânica; mangue; floresta alagável (beta) e restinga arbórea
Formação natural não florestal	Campo alagado e área pantanosa; formação campestre; apicum, afloramento rochoso; restinga herbácea e outras formações não florestais
Agropecuária	Pastagem; agricultura (lavoura temporária e lavoura perene); silvicultura e mosaico de usos
Área não vegetada	Praia, duna e areal; área urbanizada; mineração e outras áreas não vegetadas
Corpo d'água	Rio, lago e oceano; aquicultura

Após a reclassificação apresentada na Tabela 1, as cinco classes (nível 1) foram organizadas em três novos grupos, quais sejam: natural, antrópico e água. Sendo assim, o grupo natural contemplou as classes floresta e formação natural não florestal, o grupo antrópico contemplou as classes agropecuária e área não vegetada, enquanto o grupo água permaneceu separado das demais classes em função da dificuldade de distinção, que ocorre de forma geral, entre corpos d'água de cursos naturais e represamento, por exemplo. A reclassificação e o agrupamento das classes foram especificadas graficamente para apoiar a elaboração das representações cartográficas temáticas e todo o processamento das imagens e das geometrias foi realizado no software QGIS, versão 3.28.4, com auxílio da ferramenta *Semi Automatic Classification Plugin* [29].

Ressalta-se que a metodologia adotada pela Plataforma MapBiomias, contemplando todo o processo de aquisição das imagens, mosaicagem, pré-processamento, classificação, pós-classificação, além de estratégias de validação e acurácia para a Coleção 8.0, no que se refere aos dados de uso e cobertura da terra, pode ser consultada tanto nas abordagens quanto nos manuais da plataforma MapBiomias [26, 27].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada classe de uso e cobertura da terra, apresentada na Tabela 1, foi atribuída uma especificação gráfica, adaptada a partir da legenda da Coleção 8.0 do MapBiomias e alinhada às diretrizes do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE [28]. A Tabela 2 apresenta a especificação gráfica, em função do sistema de cor e da simbologia, utilizada para as classes de uso e cobertura da terra, importante para apoiar a elaboração das representações cartográficas temáticas no período analisado, de 1985 a 2022.

Tabela 2: Especificação gráfica das classes de uso e cobertura da terra para elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra.

Classe de informação	Sistema de cor (Hexacode number)	Símbolo
Floresta	#32a65e	
Formação natural não florestal	#ad975a	
Agropecuária	#FFFFB2	
Área não vegetada	#d4271e	
Corpo d'água	#0000FF	

As representações cartográficas temáticas elaboradas a partir da reclassificação das imagens da série Landsat para o município de Joinville, entre 1985 e 2022, são apresentadas nas Figuras 2 a 9, com intervalos de cinco anos, exceto para a Figura 9, em que os dados mais recentes são detalhados para melhor refletir as mudanças ocorridas no último ano disponibilizado pela Coleção 8.0. Essa visualização possibilita a interpretação das mudanças no uso e cobertura da terra ao longo de quase quatro décadas, com base na manifestação das diversas classes na região estudada. Além disso, as representações cartográficas temáticas auxiliam na identificação de padrões de expansão urbana, alterações em áreas agrícolas, variações na cobertura vegetal e nos recursos hídricos.

Figura 2: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 1985.

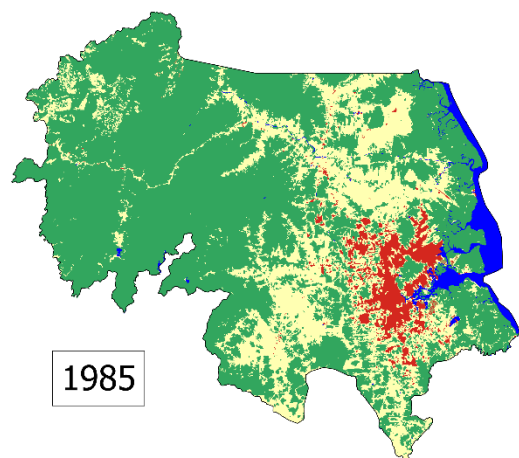


Figura 3: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 1990.

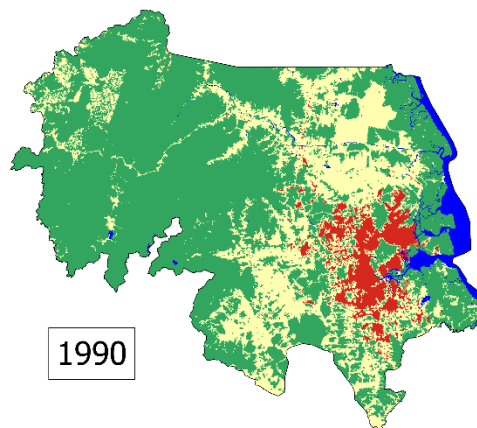


Figura 4: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 1995.

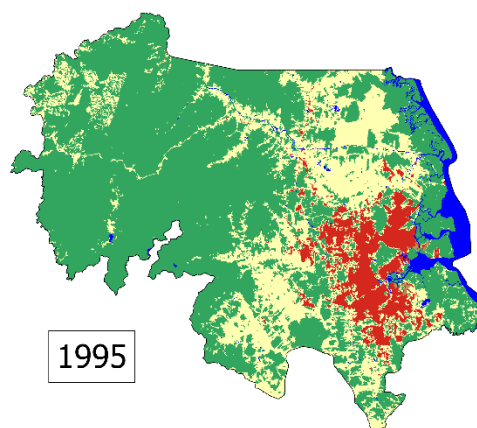


Figura 5: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 2000.

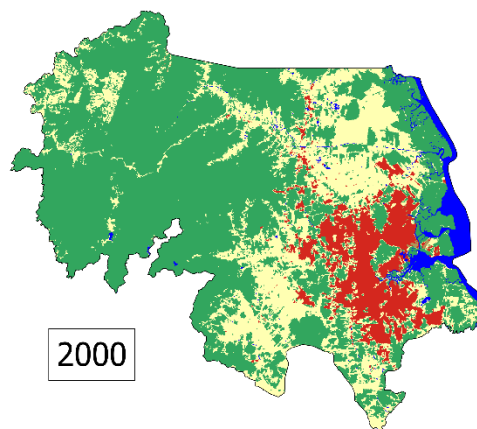


Figura 6: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 2005.

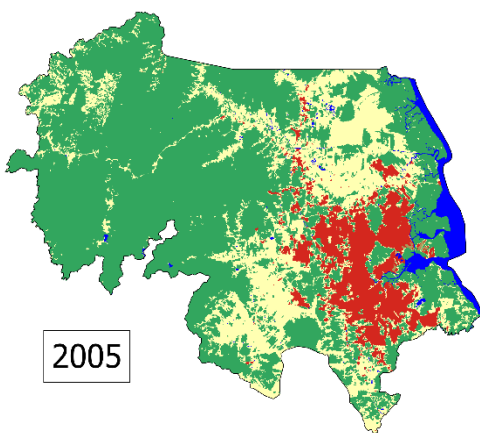


Figura 7: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 2010.

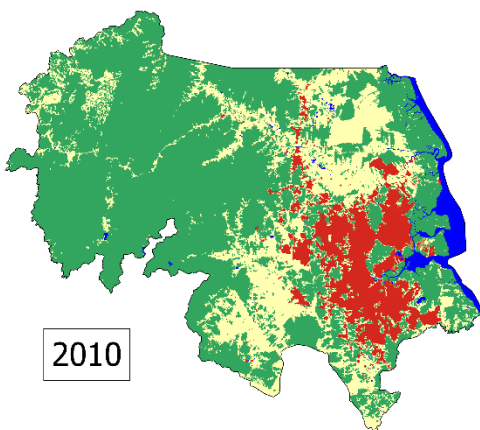


Figura 8: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 2015.

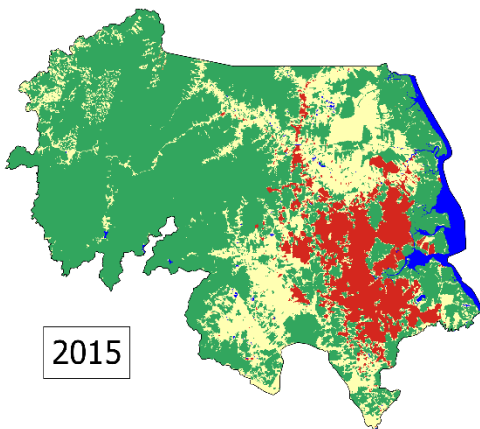
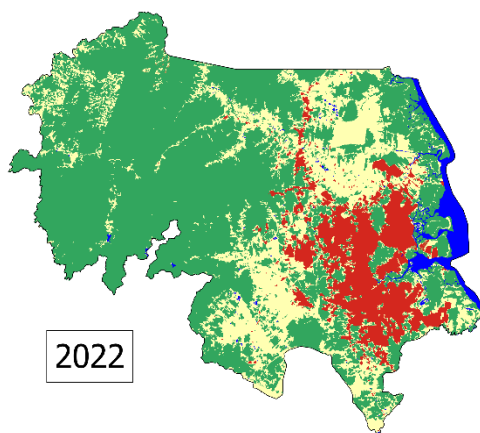


Figura 9: Uso e cobertura da terra para Joinville no ano de 2022.



A transição ao longo do tempo, contemplando as mudanças ocorridas em todo o período analisado, ou seja, de 1985 para 2022, entre as classes de uso e cobertura da terra, foi ilustrada graficamente por meio do diagrama de Sankey (Figura 10). Este diagrama, originalmente proposto por [30], permitiu visualizar o fluxo das alterações entre as cinco diferentes classes ao longo de quase quatro décadas. Adicionalmente, foram calculadas as áreas correspondentes para cada classe, em 1985 e em 2022, além de suas respectivas variações percentuais, como mostra a Tabela 3. A matriz de transição entre as classes é apresentada na Tabela 4, na sequência.

Figura 10: Diagrama de Sankey, transição entre as classes de uso e cobertura da terra de 1985 para 2022.

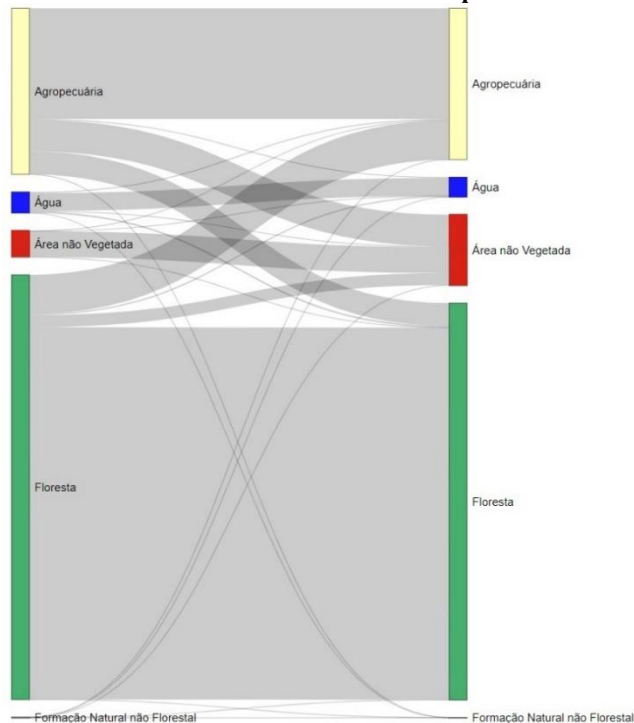


Tabela 3: Estimativa das áreas e alteração das classes de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2022.

Classes	Área (Km ²) 1985	Área (Km ²) 2022	Mudança (%)
Floresta	752,340	702,940	-6,57
Formação natural não florestal	1,310	0,620	-52,67
Agropecuária	294,200	268,160	-8,85
Área não vegetada	47,040	125,300	166,37
Corpo d'água	37,030	34,900	-5,75

Tabela 4: Matriz de transição entre as classes de uso e cobertura da terra (1985 - 2022).

22 85	F	FNF	A	ANV	C	T
F	659,6	0,014	69,43	21,22	2,043	752,3
FNF	0,002	0,467	0,091	0,750	0,001	1,31
A	40,56	0,121	195,9	56,41	1,129	294,2
ANV	0,179	0	0,945	45,86	0,048	47,04
C	2,565	0,014	1,725	1,045	31,67	37,03
T	702,9	0,620	268,1	125,3	34,90	1131

F = Floresta;

FNF = Formação natural não florestal;

A = Agropecuária;

ANV = Área não vegetada;

C = Corpo d'água;

T = Total aproximado (km²).

De acordo com análise dos dados apresentados tanto nas Figuras 2 a 9, quanto nas Tabelas 3 e 4, é possível observar mudanças significativas em diferentes classes. A classe de uso e cobertura da terra que mais sofreu alteração entre 1985 e 2022 foi a área não vegetada, com um aumento significativa de 78,26 km², representando uma expansão marcante dessa categoria. Apesar desse crescimento, é importante notar que esta classe, especificamente, se refere a áreas desprovidas de vegetação e, possivelmente, ligadas à expansão urbana ou à manipulação ambiental.

No mesmo período, a classe floresta apresentou uma redução de 49,4 km², o que corresponde a uma redução de aproximadamente 6,57%. Esta mudança reflete um impacto específico e importante em termos de perda de cobertura florestal, com destaque para a pressão sobre os ecossistemas florestais, enquanto a classe formação natural não florestal teve uma queda ainda mais expressiva, de 52,67%, passando de 1,31 km² para 0,62 km². A classe agropecuária também diminuiu em 26,04 km², o que representa uma redução de 8,85%. Já a classe corpo d'água teve uma redução de 2,13 km², equivalente a uma queda de 5,75%. Essas alterações refletem uma tendência de expansão urbana em detrimento de áreas naturais e agrícolas.

O Diagrama de Sankey, apresentado na Figura 10, revela mudanças significativas no uso e cobertura da terra ao longo do período analisado, com destaque para a redução expressiva da classe agropecuária. Destaca-se que parte dessa classe/área foi convertida principalmente para as classes área não vegetada e floresta, indicando uma possível transição de uso da terra e que, possivelmente, foi motivada por demandas de urbanização e práticas de reflorestamento, respectivamente. A classe área não vegetada apresentou um aumento notável, possivelmente associado ao crescimento de áreas urbanas ou industriais, enquanto a classe floresta permanece relativamente estável, destacando esforços de conservação ou expansão florestal.

A classe formação natural não florestal apresenta pouca variação, mantendo-se praticamente inalterada, assim como a classe corpo d'água, que também apresenta uma estabilidade, sinalizando que os corpos d'água na região de estudo não sofreram mudanças significativas no período. Tais dados apontam para uma transformação no uso da terra, destacando a diminuição da agropecuária e o aumento das áreas não vegetadas e florestadas, refletindo possivelmente políticas de urbanização e conservação ambiental.

No que se refere à alteração das classes de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2022, por meio do agrupamento em natural, antrópico ou água, a referência para o processamento de análise da mudança foi a imagem de 1985 e, portanto, comparada a imagem mais recente, correspondente ao ano de 2022, conforme a Coleção 8.0 do MapBiomas. O processamento permitiu verificar as alterações entre as classes de 1985 para 2022. Para auxiliar na elaboração do mapa de alteração do uso e cobertura da terra, bem como na estimativa das áreas das classes, baseou-se tanto na nova classificação em função das alterações entre classes resultantes do processamento, bem como em uma nova especificação gráfica (Tabela 5) para apoiar a elaboração da representação cartográfica. A representação cartográfica temática resultante da operação de subtração entre as imagens classificadas de 2022 e 1985 é apresentada na Figura 11.

Tabela 5: Especificação gráfica em função das alterações das classes de uso e cobertura da terra.






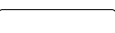
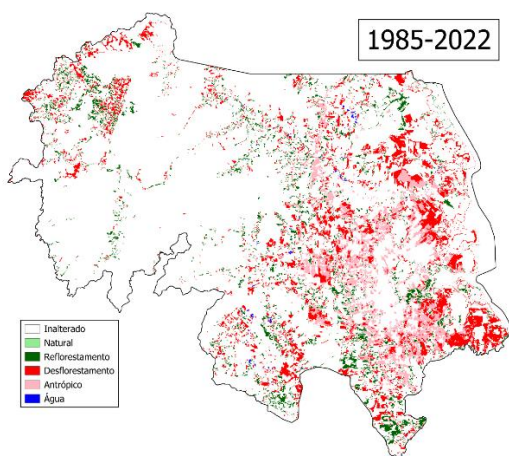
Possibilidades de alteração entre classes		Resultado da alteração entre classes	Símbolo
1985	2022		
Natural	Natural	Natural	
Antrópico	Antrópico	Antrópico	
Água	Antrópico		
Antrópico	Água	Água	
Natural	Antrópico	Desflorestamento	
Natural	Água		
Água	Natural	Reflorestamento	
Antrópico	Natural		
Inalterado		Inalterado	

Figura 11: Mapa de alteração do uso e cobertura da terra de 1985 para 2022.



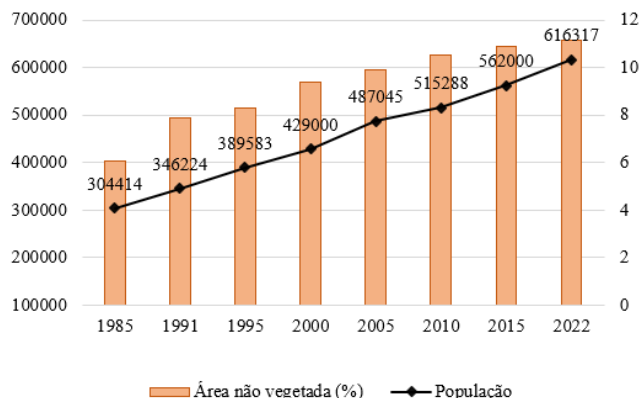
A Figura 11 mostra que ao longo do período de 1985 a 2022, aproximadamente 82,5% do uso e cobertura da terra em Joinville, se manteve sem alterações significativas. Isso indica que a maioria das áreas, incluindo formações naturais, ações antrópicas e corpos d'água, mantiveram sua configuração inicial (1985). Entretanto, as mudanças mais expressivas estão associadas ao reflorestamento, que representa cerca de 8,3% e abrange uma área de 93,5 km², evidenciando esforços de recuperação ambiental em determinadas regiões do município, como pode ser observado no mapa de alterações (Figura 11).

De acordo com dados do IBGE, entre 1985 e 2022, Joinville registrou um crescimento populacional de cerca de 102,5%, o que impulsionou a expansão urbana em diversos bairros e trouxe transformações significativas no uso e cobertura da terra. Como um dos principais polos industriais de Santa Catarina, o município também experimentou um aumento expressivo em áreas voltadas para a indústria e infraestrutura, acompanhando o desenvolvimento econômico e a consolidação de grandes empresas. Essa dinâmica resultou em crescimento de 5,2% nas feições antrópicas, abrangendo uma área de aproximadamente 58,5 km², o que reflete a intensa expansão industrial e urbana do município.

O desflorestamento correspondeu a 3,8% das alterações entre 1985 e 2022, abrangendo uma área de aproximadamente 43,4 km², o que reflete as pressões ocasionadas pela expansão das atividades humanas e industriais sobre áreas naturais. Essas transformações destacam a importância de conciliar o crescimento econômico com ações externas para a preservação ambiental e o planejamento sustentável, como preconiza o Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 [21].

A Figura 12, a seguir, ilustra a relação entre o percentual de área não vegetada e o crescimento populacional em Joinville ao longo das últimas quatro décadas, aproximadamente. Observa-se que entre os anos de 1985 e 2022, o aumento populacional está correlacionado com a expansão da área não vegetada. Esse crescimento urbano reflete o processo de urbanização e desenvolvimento, resultando na redução de áreas naturais em prol da ocupação humana.

Figura 12: Correlação do aumento populacional com a classe área não vegetada em Joinville.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises e representações cartográficas temáticas de uso e cobertura da terra apresentadas no presente trabalho de pesquisa, pode-se observar uma expressiva transformação territorial em Joinville entre os anos de 1985 e 2022. Essas mudanças podem ser correlacionadas a eventos e registros históricos do município, que em grande parte estão atribuídas ao crescimento populacional ao longo de quase quatro décadas. As técnicas de processamento digital de imagens aplicadas nas imagens de sensoriamento remoto, em ambiente de sistema de informação geográfica, possibilitaram a análise temporal e a detecção de alterações significativas, como a redução da classe floresta e o aumento da área não vegetada. Além disso, foram observadas, de forma menos expressiva, alterações nas classes corpos d'água e agropecuária.

O estudo contribui para a compreensão das dinâmicas de uso e cobertura da terra no contexto político e socioambiental de Joinville. A análise espaço-temporal realizada desempenha uma função fundamental em diversas áreas do conhecimento, abrangendo: monitoramento ambiental, planejamento urbano e a gestão de recursos naturais. Além disso, pesquisas dessa natureza permitem identificar mudanças significativas no ambiente ao longo do tempo, fornecendo insights no contexto do desenvolvimento econômico sustentável, da conservação da biodiversidade, da adaptação às mudanças climáticas e da mitigação de riscos naturais. Destaca-se ainda a relevância de decretos e legislações, especificamente, para a preservação ambiental, que são essenciais na conservação dos recursos naturais, bem como na manutenção de serviços ecossistêmicos fundamentais, mitigando a interferência antrópica desenfreada e alta taxa de desflorestamento.

Ressalta-se que uma das limitações da presente abordagem se refere à resolução espacial das imagens da Coleção 8.0 do MapBiomas, da série Landsat com 30 m/pixel. Por outro lado, este conjunto de imagens possibilitou uma cobertura temporal de quase quatro décadas para a análise de ocorrências do município de interesse, importante para gerar indicadores e métricas essenciais para o contexto regional, no que se refere ao planejamento municipal e ambiental frente às diversidades

decorrentes das mudanças climáticas. Para pesquisas futuras, recomenda-se a exploração de outros produtos MapBiomias, a análise das classes secundárias e terciárias de uso e cobertura da terra, e a consideração de imagens de outros satélites para uma análise espaço-temporal mais detalhada. Tais abordagens não apenas ampliariam a compreensão das transformações territoriais, mas também poderiam auxiliar na implementação de políticas públicas e estratégias de gestão mais eficazes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Estágio (PIBE), modalidade acessibilidade, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo apoio financeiro a primeira autora no desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa.

REFERENCIAS

- [1] R. S. Defries, T. Rudel, M. Uriarte, M. Hansen. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3, 178-181. 2010.
- [2] A. Guo, J. Yang, W. Sun, X. Xiao, J. X. Cecilia, C. Jin, X. Li. Impact of urban morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. *Sustainable Cities and Society*, v. 63, p. 102443, 2020.
- [3] Y. Lan, J. Chen, Y. Yang, M. Ling, H. You, X. Han. Landscape Pattern and Ecological Risk Assessment in Guilin Based on Land Use Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 3, p. 2045, 2023.
- [4] L. R. Vukeya, T. M. Mokotjomela, N. J. Malebo, D. A. E. Smith, S. Oke. The vegetation cover dynamics and potential drivers of habitat change over 30 years in the Free State National Botanical Garden, South Africa. *Regional Environmental Change*, v. 23, n. 1, p. 1-16, 2023.
- [5] X. Zhu, F. Cai, J. Tian, T. K. A. Williams. Spatiotemporal fusion of multisource remote sensing data: Literature survey, taxonomy, principles, applications, and future directions. *Remote Sensing*, v. 10, n. 4, p. 527, 2018.
- [6] N. Pettorelli, W. F. Laurance, T. G. O'Brien, M. Wegmann, H. Nagendra, H., W. Turner. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, v. 51, n. 4, p. 839-848, 2014.
- [7] S. N. Mohanraj, A. Loganathan, P. Manoharan. Survey on Land Use/Land Cover (LU/LC) change analysis in remote sensing and GIS environment: Techniques and Challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 29900-29926, 2020.
- [8] J. Jiang, A. Shaker, H. Zhang. Preface: Technical Commission III. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 3, p. 7-8, 2020.
- [9] J. R. Jensen. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Harlow, Pearson New International Edition, 2 ed, Pearson Education Limited Edinburgh Gate, 619p., 2014.
- [10] J. R. Jensen. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*; Prentice Hall Inc.: Hoboken, NJ, USA, 4 ed, 2016.
- [11] C. Souza, T. Azevedo. *MapBiomias general handbook*. MapBiomias: São Paulo, Brazil, p. 1-23, 2017.
- [12] M. A. Wulder, J. C. White, T. R. Loveland, C. E. Woodcock, A. S. Belward, W. B. Cohen, E. A. Fosnight, J. Shaw, J. G. Masek, D. P. Roy. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, v. 185, p. 271-283, 2016.
- [13] X. Wang. Remote sensing applications to climate change. *Remote Sensing*, v. 15, n. 3, p. 747, 2023.
- [14] MapBiomias. *Collection 8 of the Annual Land Cover and Land Use Maps of Brazil*. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>. Acesso em 01 jun 2024.
- [15] MapBiomias Peru. *Coleção 1.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo no Peru*. Disponível em: <https://plataforma.peru.mapbiomas.org/>. Acesso em 13 jun 2024.
- [16] A. C. Vibrans, A. L. Nicoletti, V. Liesenberg, J. C. Refosco, L. P. A. Kohler, A. R. Bizon, D. V. Lingner, F. D. Bosco, M. M. Bueno, M. S. Silva, T. B. Pessatti. MonitoraSC: um novo mapa de cobertura florestal e uso da terra de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, v. 34, n. 2, p. 42-48, 2021.
- [17] J. Neves, A. Ornon, C. Voiron-Canicio, N. O. Horn Filho. Mapeamento do uso e da cobertura da terra na Ilha de Santa Catarina, Brasil, com base em imagem de alta resolução espacial. *Geosul*, 32 (65), pp.213-238, 2017.
- [18] G. S. Salgueiro, B. J. Jalowski, R. F. Oliveira. Uso e cobertura da terra em Florianópolis: uma perspectiva de quase quatro décadas. In: *16º Congresso de Cadastro Multifinalitário e Gestão Territorial*, 2024.
- [19] G. S. Salgueiro, R. F. Oliveira. Alterações das feições naturais e antrópicas do município de Florianópolis a partir da Coleção 8.0 do projeto MapBiomias (1985-2022). In: *XIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (XIIICBGC)*, Curitiba, PR, Brasil. 2024.
- [20] S. M. Azevedo. *Avaliação do Processo de Zoneamento Urbano de Araranguá - SC*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 92f. 2004.
- [21] Brasil. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 23 mai 2024.
- [22] IBGE. *Áreas Urbanizadas do Brasil*. Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente. 2019.
- [23] L. Moser. *Como o mangue virou cidade: um estudo sobre condições de vida e a organização institucional do espaço urbano nas áreas de mangue em Joinville/SC*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sociologia Política, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1993. Disponível em <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75845>>. Acesso em 18 set. 2024.
- [24] A. Siminski, A. C. Fantini. A Mata Atlântica cede lugar a outros usos da terra em Santa Catarina, Brasil. *Biotemas*, v. 23, n. 2, p. 51-59. 2010.
- [25] N. P. Moreira. *Análise espacial da área de proteção ambiental (APA) Serra Dona Francisca – Joinville/SC*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2021. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/224253>>. Acesso em 18 set. 2024.
- [26] C. M. Souza Jr., Z. Shimbo, M. R. Rosa, L. L. Parente, A. Alencar, B. F. T. Rudorff, H. Hasenack, M. Matsumoto, L. G. Ferreira, P. W. M. Souza-Filho, S. W. de Oliveira, W. F. Rocha, A. V. Fonseca, C. B. Marques, C. G. Diniz, D. Costa, D. Monteiro, E. R. Rosa, E. Vélez-Martin, E. J. Weber, F. E. B. Lenti, F. F. Paternósti, F. G. C. Pareyn, J. V. Siqueira, J. L. Viera, L. C. F. Neto, M. M. Saraiva, M. H. Sales, M. P. G. Salgado, R. Vasconcelos, S. Galano, V. V. Mesquita, T. Azevedo. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.
- [27] MapBiomias. *MapBiomias General Handbook: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD): Collection 8*, v. 1. 2023.
- [28] IBGE. *Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra*. 3ª edição. Rio de Janeiro. 2013.
- [29] L. Congedo. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 64, p. 3172, 2021.
- [30] M. Schmidt. The Sankey diagram in energy and material flow management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, n. 1, p. 82-94, 2008.