

ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO NA ZONA URBANA DE CATALÃO-GO ENTRE 1985 E 2023

Antover Panazzolo Sarmiento¹

1 – Universidade Federal de Catalão (UFCAT) - Centro de Pesquisa em Engenharia Sustentável (CENPES), antoverps@ufcat.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-8533-1575>

Resumo: Este estudo analisa as transformações no uso e cobertura do solo na zona urbana de Catalão-GO entre 1985 e 2023, com ênfase nos impactos ambientais decorrentes da urbanização e da intensificação das atividades agropecuárias. O estudo testou a hipótese de que as mudanças no uso e cobertura do solo estão associadas à elevação do Índice Potencial de Escoamento Superficial (C_{IPES}) ao longo da série histórica analisada. Para atingir esses objetivos, foram utilizados dados da Coleção 9 do Projeto MapBiomass para elaboração de mapas temáticos e estimativa do C_{IPES}, calculado com base nas diferentes classes de uso e cobertura do solo. Os resultados indicam substituição progressiva de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, com incremento significativo do potencial de escoamento superficial direto. A tendência temporal do índice foi avaliada por análises estatísticas (teste de Mann-Kendall e regressão linear), que indicaram uma elevação de 0,406 para 0,514 no C_{IPES} entre 1985 e 2023. As transformações observadas podem ampliar a vulnerabilidade hidrológica e ambiental da área, sobretudo pela redução de superfícies permeáveis e pelo aumento da pressão sobre a drenagem urbana. O estudo fornece subsídios técnico-científicos ao planejamento territorial e à gestão de riscos hidrológicos urbanos, reforçando a importância de políticas de ordenamento territorial sustentável e infraestrutura verde para a resiliência climática.

Palavras-Chave: Gestão territorial; Escoamento superficial; Resiliência urbana.

ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER IN THE URBAN AREA OF CATALÃO-GO FROM 1985 TO 2023

Abstract: This study analyzes changes in land use and land cover in the urban area of Catalão, Goiás, from 1985 to 2023, with an emphasis on the environmental impacts of urbanization and

the intensification of agricultural activities. The study tested the hypothesis that changes in land use and land cover are associated with an increase in the Potential Surface Runoff Index (C_{IPES}) over the historical series analyzed. To achieve these objectives, data from MapBiomas Collection 9 were used to generate thematic maps and estimate C_{IPES} , calculated based on different land-use and land-cover classes. The results indicate a progressive replacement of vegetated areas with impervious surfaces, accompanied by a significant increase in the potential for direct surface runoff. The temporal trend of the index was evaluated using statistical analyses, including the Mann-Kendall test and linear regression, which indicated an increase in C_{IPES} from 0.406 to 0.514 between 1985 and 2023. The observed transformations may increase the area's hydrological and environmental vulnerability, mainly due to the reduction in permeable surfaces and the growing pressure on urban drainage systems. The study provides technical and scientific support for territorial planning and urban hydrological risk management, reinforcing the importance of sustainable land-use policies and green infrastructure for climate resilience.

Keywords: Land use and land cover; Surface runoff; Urban resilience.

ANÁLISIS DEL USO Y LA COBERTURA DEL SUELO EN LA ZONA URBANA DE CATALÃO-GO ENTRE 1985 Y 2023

Resumen: Este estudio analiza las transformaciones en el uso y la cobertura del suelo en la zona urbana de Catalão, Goiás, entre 1985 y 2023, con énfasis en los impactos ambientales derivados de la urbanización y de la intensificación de las actividades agropecuarias. El estudio evaluó la hipótesis de que los cambios en el uso y la cobertura del suelo están asociados con el aumento del Índice Potencial de Escorrentía Superficial (C_{IPES}) a lo largo de la serie histórica analizada. Para alcanzar estos objetivos, se utilizaron datos de la Colección 9 del Proyecto MapBiomas para elaborar mapas temáticos y estimar C_{IPES} , calculado a partir de las diferentes clases de uso y cobertura del suelo. Los resultados indican una sustitución progresiva de áreas vegetadas por superficies impermeables, con un incremento significativo del potencial de escorrentía superficial directa. La tendencia temporal del índice fue evaluada mediante análisis estadísticos, entre ellos la prueba de Mann-Kendall y la regresión lineal, que indicaron un aumento del C_{IPES} de 0,406 a 0,514 entre 1985 y 2023. Las transformaciones observadas pueden incrementar la vulnerabilidad hidrológica y ambiental del área, principalmente por la reducción de superficies permeables y el aumento de la presión sobre el sistema de drenaje urbano. El

estudio aporta fundamentos técnico-científicos para la planificación territorial y la gestión de riesgos hidrológicos urbanos, y refuerza la importancia de las políticas de ordenamiento territorial sostenible y de la infraestructura verde para la resiliencia climática.

Palabras clave: Gestión territorial; Escorrentía superficial; Resiliencia urbana.

Introdução

O planejamento do uso e ocupação do solo é fundamental para a resiliência urbana frente às mudanças climáticas. A urbanização rápida e desordenada intensifica fenômenos como ilhas de calor, alteração dos ciclos hídrico e de carbono, e amplia desigualdades socioambientais, elevando a vulnerabilidade das cidades a eventos extremos (Kalnay & Cai, 2003; Seto & Shepherd, 2009). No Brasil, a impermeabilização do solo, a perda de vegetação e a degradação dos recursos hídricos têm agravado riscos de enchentes e deslizamentos, comprometendo a drenagem natural e o balanço hídrico (Custódio & Oliveira, 2017; Melo et al., 2021).

Nesse contexto, o conceito de cidades resilientes — capazes de adaptar-se, resistir e recuperar-se de extremos climáticos — orienta estratégias como infraestrutura verde, aumento da cobertura vegetal e governança responsável do solo (Dias & Viera, 2023; Gaudard & Barreto, 2016; Mitchell et al., 2015). No município de Catalão (GO), o crescimento populacional e a expansão de atividades econômicas urbanas e agropecuárias transformaram o uso do solo. A conversão de áreas naturais em superfícies impermeáveis tem alterado a dinâmica ambiental, afetando o balanço hídrico e contribuindo para processos erosivos e degradação do solo (Faria, 2011; Lopes & Galvêncio, 2013).

Apesar da relevância dessas transformações, ainda são escassos estudos que quantifiquem, de forma sistemática e com base em séries históricas longas, as potenciais implicações hidrológicas da dinâmica de uso e cobertura do solo da zona urbana de Catalão. Em particular, não há análises integrando dados espaço-temporais (1985–2023) com estimativas de índices potenciais de escoamento superficial derivados do uso e cobertura do solo, o que representa uma lacuna para o planejamento territorial e a gestão de riscos hidrológicos no município.

Este estudo tem como objetivo analisar as transformações no uso e ocupação do solo na zona urbana de Catalão-GO (1985–2023), estimando a evolução de um índice hidrológico potencial de escoamento superficial derivado das classes de uso e cobertura do solo, bem como discutindo suas implicações para a drenagem urbana, o planejamento territorial e a resiliência

climática. A hipótese do estudo é: a progressiva impermeabilização do solo, decorrente da expansão urbana e da intensificação agropecuária, esteve associada ao aumento do Índice Potencial de Escoamento Superficial (CIPES) na Zona Urbana de Catalão entre 1985 e 2023. Ao testar essa hipótese, o estudo busca contribuir para o entendimento dos desafios da gestão territorial local e fornecer subsídios para políticas que conciliem desenvolvimento urbano, mitigação climática e promoção de cidades mais sustentáveis e resilientes.

Material e Métodos

Delimitação da Zona Urbana de Catalão - GO

O procedimento inicial deste estudo consistiu na delimitação da Zona Urbana de Catalão-GO (ZUC) a partir da extração das coordenadas de 1.327 vértices presentes no Memorial Descritivo do Perímetro Urbano de Catalão. Este documento integra a Lei Complementar Nº 3.439 (Catalão, 2016), responsável pela instituição do Plano Diretor de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Sustentável de Catalão. O sistema de referência é SIRGAS-2000, UTM fuso 23S, MC 45° WGr. A ZUC corresponde ao perímetro urbano legal definido pela legislação municipal, o qual inclui áreas urbanizadas, periurbanas, usos rurais remanescentes e áreas de transição territorial.

Após a tabulação destas coordenadas, o Sistema de Informação Geográfica QGIS (QGIS Development Team, 2022) permitiu a ligação direta entre vértices adjacentes por meio de linhas e posterior conversão em um polígono fechado, representativo dos limites da ZUC. Por fim, houve a exportação deste produto cartográfico em formato vetorial (*shapefile*).

Cabe ressaltar algumas divergências nos registros oficiais: embora o texto legal mencione 1.328 vértices, há a ausência de dados relativos ao vértice 1.283. Além disso, o documento cita uma área de 128,408 km² e um perímetro de 71,682 km, contudo o processamento atual obteve os valores de 128,203 km² para a área e de 71,625 km para o perímetro da ZUC. Essas diferenças resultam em variações menores que 0,16%, valores considerados aceitáveis para este estudo e provavelmente associadas à ausência de dados do vértice 1.283.

Evolução temporal do uso e ocupação do solo

Com o polígono da ZUC estruturado, o estudo utilizou a plataforma de processamento em nuvem *Google Earth Engine*, desenvolvida por Gorelick et al. (2017), para obter os dados

estatísticos e as imagens matriciais (resolução espacial de 30 metros) de uso e ocupação do solo da área de interesse, entre 1985 e 2023. O processamento e a extração dos dados da Coleção 9 do Projeto MapBiomas (Souza Júnior et al., 2020) ocorreram por meio do *MapBiomas User Toolkit*, desenvolvido por Siqueira (2024).

O processamento dos dados foi conduzido em linguagem Python via *Google Colab* (Google, 2025). O fluxo geoespacial envolveu a leitura automatizada de imagens em formato GeoTIFF por meio da biblioteca *Rasterio*, enquanto a manipulação das matrizes de dados recorreu ao pacote *NumPy*. Por fim, a organização dos *subplots* e a geração do painel comparativo das transições de cobertura foram executadas com o suporte da biblioteca *Matplotlib*.

Índice potencial de escoamento superficial associado ao uso e cobertura do solo

O coeficiente de escoamento (C) expressa a proporção da precipitação pluvial que não infiltra no solo e, conseqüentemente, contribui diretamente para o escoamento sobre a superfície. Trata-se de um parâmetro amplamente utilizado em estudos hidrológicos por sua simplicidade e efetividade na representação do comportamento do solo frente aos eventos de chuva (Blume et al., 2007; Collischonn & Dornelles, 2015; Machado et al., 2022; Tucci, 2001).

Para estimar, de forma exploratória, o potencial de escoamento superficial da ZUC ao longo do tempo, foi atribuído um coeficiente de escoamento para cada classe de uso e cobertura do solo identificada no mapeamento do MapBiomas. Esses coeficientes refletem a proporção da precipitação que escoar superficialmente, sem se infiltrar no solo, e variam conforme as características físicas e antrópicas de cada classe (como cobertura vegetal, compactação do solo e grau de impermeabilização).

Com finalidade comparativa, os valores de coeficiente de escoamento superficial foram adotados a partir de referências clássicas de hidrologia e manuais técnicos de drenagem (Collischonn & Dornelles, 2015; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006; Rio de Janeiro, 2019; São Paulo, 1999; Tucci, 2001), de forma análoga ao feito por Laguerre e Felipe (2026) e Darmawan et al. (2024).

Neste estudo, os coeficientes de escoamento superficial (C) atribuídos às classes de uso e cobertura do solo foram utilizados como parâmetros de entrada para a construção do Índice Potencial de Escoamento Superficial (C_{IPES}). Portanto, o indicador não representa medição direta de vazão, volume escoado ou escoamento superficial observado em campo. Seu objetivo

é permitir a comparação temporal da propensão relativa da ZUC à geração de escoamento superficial direto sob uma mesma condição hipotética de precipitação. Assim, os resultados expressam mudanças potenciais na resposta hidrológica da superfície, condicionadas pela alteração do uso e cobertura do solo, e não a quantificação direta de eventos reais de cheia ou alagamento.

O C_{IPES} da ZUC foi estimado anualmente por meio de média ponderada pela área das classes de uso e cobertura do solo. Para cada ano da série histórica (1985–2023), a área ocupada por cada classe identificada pelo MapBiomas foi multiplicada pelo respectivo coeficiente de escoamento (C) adotado, conforme os valores apresentados no Quadro 1. O somatório desses produtos foi então dividido pela área total da ZUC no mesmo ano, resultando em um índice adimensional ponderado pela área ($0 \leq C_{IPES} \leq 1$) que expressa, de forma integrada, a propensão média da superfície urbana à geração de escoamento direto para uma dada precipitação (Collischonn & Dornelles, 2015; Tucci, 2001). A repetição desse procedimento para cada um dos 39 anos da série produziu a série temporal sobre a qual foram aplicadas as análises de tendência.

A análise temporal do C_{IPES} foi realizada em Python, no ambiente Google Colab (Google, 2025) com uso das bibliotecas *pymannkendall*, *statsmodels*, *numpy*, *pandas* e *scipy*, adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Inicialmente, a série foi submetida à inspeção exploratória e ao diagnóstico de autocorrelação, uma vez que séries hidrológicas e ambientais podem apresentar dependência serial, o que compromete a inferência do teste de Mann-Kendall original. A presença de tendência monotônica foi investigada diretamente pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall modificado (Hamed & Rao, 1998). Essa abordagem foi adotada para neutralizar o efeito da dependência serial (autocorrelação) inerente à série histórica, computando a estatística S e o coeficiente Tau de Kendall com a devida correção de variância.

Quadro 1. Coeficientes de escoamento superficial adotados no estudo para cada classe de uso e ocupação do solo, com respectivas justificativas, baseando-se em São Paulo (1999), Tucci (2001), DNIT (2006), Collischonn e Dornelles (2015) e Rio de Janeiro (2019).

Classe – Nomenclatura MapBiomas	Coefficiente C adotado	Justificativa
Formação Florestal	0,15	Florestas bem estruturadas, baixa compactação e infiltração alta.
Formação Savânica	0,27	Vegetação mais aberta que a floresta, permitindo maior escoamento.
Campo alagado e área Pantanosa	0,10	Áreas alagadas têm baixa contribuição para o escoamento superficial.
Formação Campestre	0,25	Cobertura herbácea sujeita a compactação moderada.
Pastagem	0,40	Pastagens com compactação e declividade variável.
Mosaico de usos	0,50	Áreas mistas entre lavoura e pastagem.
Área urbanizada	0,85	Superfícies impermeáveis (asfalto, concreto e áreas construídas).
Outras áreas não vegetadas	0,65	Solo exposto ou degradado, sem vegetação significativa.
Rios, lagos e oceanos	1,00	Corpos d'água com escoamento total.
Soja	0,55	Cultivo com solo exposto em parte do ciclo.
Outras lavouras temporárias	0,50	Mistura de culturas anuais (milho, feijão)
Café	0,40	Cultura perene com espaçamento entre plantas.
Outras lavouras perenes	0,40	Culturas de ciclo longo (frutíferas, citros). Mantêm a estabilidade física do solo ao longo dos anos.
Silvicultura	0,35	Florestas cultivadas, menor infiltração que nativas.
Cana-de-açúcar	0,60	Solo muito exposto na colheita, alto impacto.

Fonte: Próprio autor.

A magnitude da tendência foi quantificada pela estimativa de Sen (*Sen's slope*), calculada como a mediana de todos os pares de inclinações possíveis na série temporal (Sen, 1968). Para garantir a robustez da estimativa frente à autocorrelação serial dos dados, os intervalos de confiança da declividade foram obtidos por meio de reamostragem (*block bootstrap*). Complementarmente, o estudo utilizou uma regressão linear simples entre os anos e o CIPES via Mínimos Quadrados Ordinários (OLS). Para assegurar a consistência dos testes de hipóteses diante da dependência serial, a análise estimou erros-padrão robustos correlacionados através da abordagem de HAC (Newey & West, 1987). O coeficiente angular (β_1) e o coeficiente de determinação (R^2) avaliaram a intensidade e a linearidade da tendência observada (Hecht & Vogel, 2020). Os parâmetros estatísticos adotados no processamento foram mantidos constantes em toda a série temporal, visando garantir comparabilidade entre os anos analisados.

No Fluxograma 1 está apresentado o resumo metodológico desta pesquisa.

Fluxograma 1: Resumo metodológico da pesquisa



Fonte: Próprio autor.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentadas as classes de uso e ocupação do solo conforme nomenclaturas do sistema MapBiomas, suas respectivas áreas em 1985, 2023 e a variação entre os anos.

Observa-se uma redução significativa das pastagens, que passaram de 74,835 km² para 42,359 km², representando uma perda de 32,476 km². Da mesma forma, as formações naturais apresentaram retração, com destaque para a Formação Florestal (-3,104 km²) e a Formação Savânica (-9,122 km²). Em contrapartida, destaca-se o forte crescimento da área urbanizada, que quase triplicou no período (de 11,429 km² para 32,118 km²), além da expansão das culturas agrícolas. Essas variações indicam um processo de modificação antrópica do território, caracterizado pela urbanização acelerada e pela conversão de pastagens e áreas naturais em sistemas agrícolas mais intensivos. O avanço dos sistemas agrícolas e da área urbana reflete as

dinâmicas de modernização agrícola e crescimento urbano ocorridas nas últimas décadas na região.

Tabela 1: Comparativo de uso e ocupação do solo – 1985 vs 2023

Classes	Área em 1985 (km ²)	Área em 2023 (km ²)	Variação (km ²)
Formação Florestal	18,837	15,733	-3,104
Formação Savânica	11,268	2,146	-9,122
Silvicultura	-	0,763	0,763
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,113	0,274	0,161
Formação Campestre	0,282	-	-0,282
Pastagem	74,835	42,359	-32,476
Cana-de-açúcar	-	0,003	0,003
Mosaico de Usos	7,237	20,309	13,072
Área Urbanizada	11,429	32,118	20,689
Outras Áreas Não Vegetadas	3,766	1,200	-2,566
Rio, Lago e Oceano	0,338	0,485	0,147
Soja	0,009	11,430	11,420
Outras Lavouras Temporárias	0,096	1,400	1,304
Café	0,002	-	-0,002
Outras Lavouras Perenes	0,006	-	-0,006

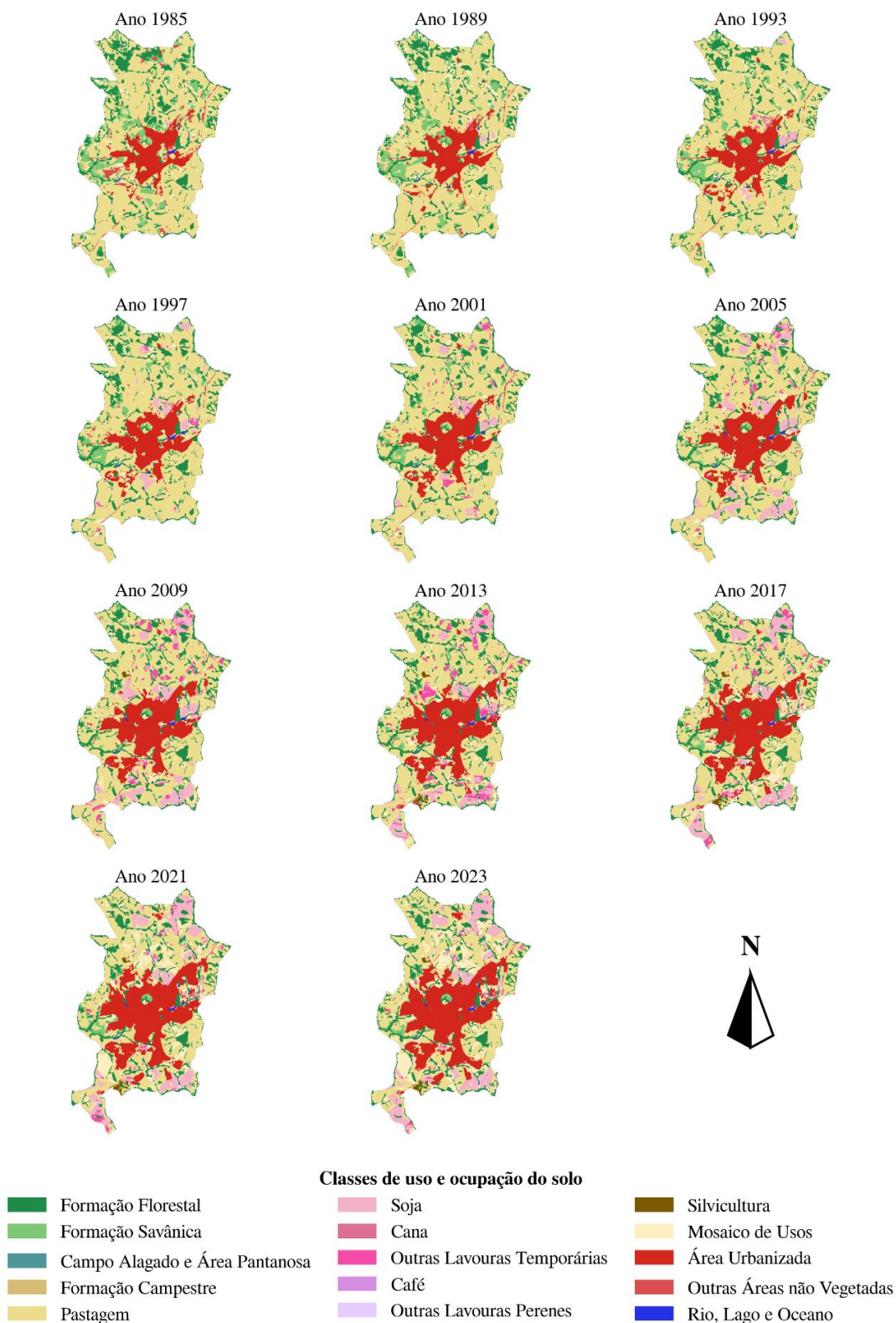
Fonte: Próprio autor.

Na Figura 1 é apresentada uma sequência de mapas temáticos da ZUC para os anos de 1985 a 2023, com intervalos regulares, o que permite uma visualização da evolução do uso e cobertura do solo ao longo de quase quatro décadas. É possível observar a expansão da mancha urbana (em vermelho), especialmente no entorno do núcleo central da cidade, a qual passa por uma intensificação a partir dos anos 2000, possivelmente associada ao crescimento populacional e ao processo de urbanização. Esta expansão ocorre muitas vezes em detrimento de áreas de vegetação nativa, como formações florestais (verde escuro) e savânicas (verde claro), que aparecem de forma mais contínua nas imagens iniciais, mas se tornam progressivamente fragmentadas.

Outro ponto notável é o crescimento das áreas agrícolas, com destaque para a soja (rosa claro), que avança especialmente nas bordas do território a partir da década de 1990. O mesmo ocorre com a cana-de-açúcar (rosa escuro), embora em menor proporção. As áreas de pastagem (amarelo claro), que predominavam no cenário inicial, sofrem substituição gradativa por monoculturas e outras formas de uso intensivo do solo, o que indica uma intensificação da atividade agropecuária. A presença das áreas classificadas como ‘outras áreas não vegetadas’

também ganha amplitude, podendo representar zonas de solo exposto, áreas em transição ou expansão de infraestrutura.

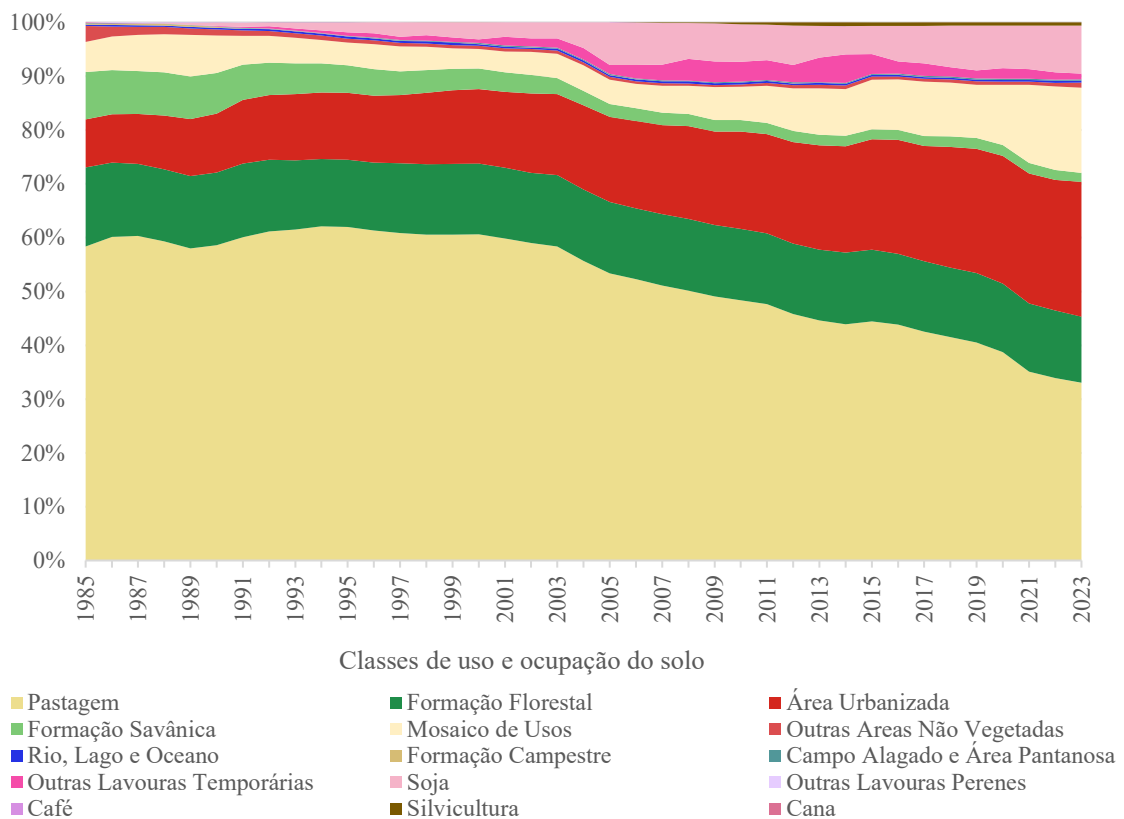
Figura 1: Evolução do uso do solo da zona urbana de Catalão-GO (1985-2023).



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 2 está apresentada a transição da paisagem ao longo do tempo, evidenciando tendências associadas ao processo de urbanização, à expansão agropecuária e à redução da vegetação nativa.

Figura 2: Evolução das classes de uso e cobertura do solo em valores percentuais da Zona Urbana de Catalão (1985-2023)



Fonte: Próprio autor.

A análise da série temporal entre 1985 e 2023 revela uma profunda mudança estrutural na cobertura e no uso da terra na área de estudo. No início do período monitorado, a paisagem apresentava predominância rural, caracterizada pela ampla presença de pastagens (74,84 km²) e por remanescentes expressivos de vegetação nativa, composta pelas Formações Florestal (18,84 km²) e Savânica (11,27 km²). Ao longo das décadas, observou-se um processo de transformação territorial e intensificação antrópica: as pastagens sofreram uma redução de 43,4%, declinando para 42,36 km² em 2023. Esse encolhimento não representou regeneração natural, mas sim uma substituição sistemática pela expansão do tecido urbano e pela ascensão

da categoria Mosaico de Usos. Essa transformação resulta em uma paisagem de uso misto, típica de contextos em transição, onde residências e infraestrutura viária coexistem com fragmentos de vegetação e áreas ainda não consolidadas, evidenciando um avanço da urbanização de forma gradual sobre territórios anteriormente rurais.

A incorporação de antigas áreas rurais ao meio urbano sugere processos de expansão territorial e consolidação de usos mistos. Muitas dessas áreas mantêm trechos de vegetação remanescente, o que justifica sua classificação como Mosaico de Usos.

Um dos fenômenos mais marcantes observados nos dados é o crescimento contínuo da classe Área Urbanizada, que se expandiu em todos os anos da série histórica sem registrar qualquer inflexão negativa. Em 1985, a classe Área Urbanizada ocupava 11,43 km², passando para 32,12 km² em 2023, o que representa um crescimento expressivo de 181%. Este avanço consolidado reflete uma forte pressão demográfica, possivelmente associada à expansão horizontal da malha urbana e à incorporação de áreas periurbanas. A conversão de áreas limítrofes em solo urbano indica que a região passou por um processo de intensificação urbana e de reorganização territorial, com maior demanda por infraestrutura e planejamento.

As consequências dessa transformação territorial são múltiplas. A substituição de áreas vegetadas e solos permeáveis por superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto, pode comprometer a dinâmica hidrológica local. A diminuição da infiltração da água da chuva tende a ampliar a propensão ao escoamento superficial, podendo aumentar a pressão sobre os sistemas de drenagem pluvial, especialmente em áreas com infraestrutura insuficiente (McGrane, 2016; Miller et al., 2014; Ress et al., 2020). Do ponto de vista ambiental, o aumento da impermeabilização também favorece a poluição difusa, uma vez que a água da chuva tende a carrear resíduos urbanos diretamente para os corpos hídricos, comprometendo sua qualidade e dificultando sua recuperação (Costa et al., 2021; Faust et al., 2025; Müller et al., 2020).

Paralelamente à urbanização, a reconfiguração do espaço agrário foi ditada pela introdução e consolidação de culturas de ciclo curto, com destaque para a Soja. Praticamente inexistente na região em 1985, a oleaginosa iniciou uma trajetória de ascensão acelerada a partir dos anos 2000, atingindo seu ápice em 2023 com 11,43 km². Esse avanço da soja ocorreu predominantemente sobre as antigas áreas de pastagem, evidenciando a substituição da pecuária extensiva pela agricultura de alta produtividade. Outro indicador dessa fragmentação do espaço rural é o crescimento expressivo da classe Mosaico de Usos, que saltou de 7,24 km² para 20,31 km² no mesmo período, intensificando-se notavelmente após 2015. Esse aumento do mosaico

sugere a proliferação de pequenas propriedades de uso misto, chácaras periurbanas ou áreas de transição agrícola, conferindo à paisagem atual um aspecto altamente heterogêneo e fragmentado.

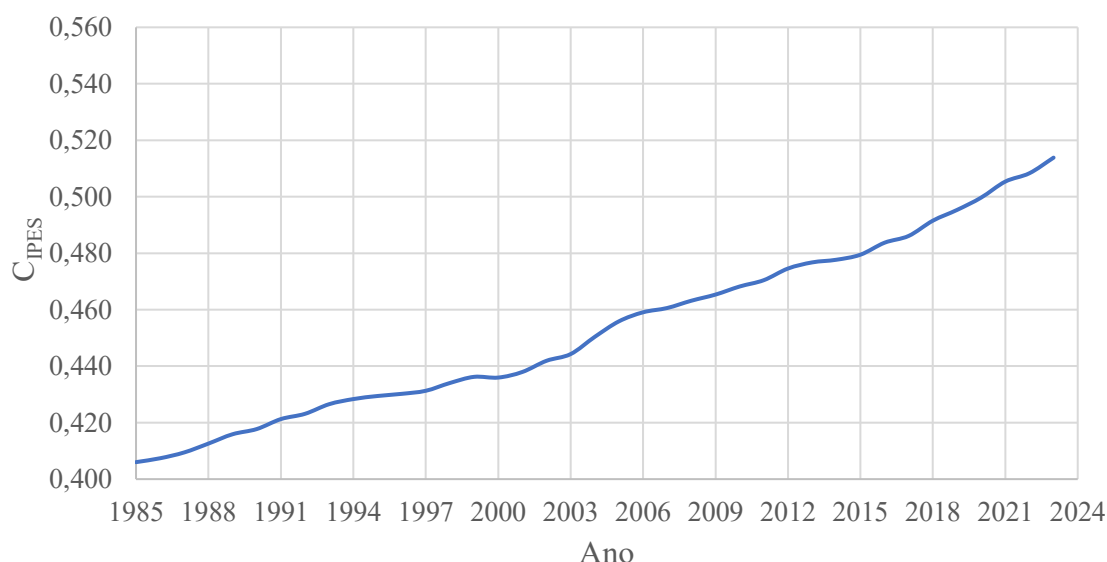
No que tange aos aspectos ambientais, os resultados apontam para redução de fitofisionomias nativas, especialmente formações savânicas e campestres, o que pode comprometer serviços ecossistêmicos associados à regulação microclimática, infiltração hídrica e conectividade ecológica. A Formação Florestal apresentou uma perda líquida de 3,11 km², recuando de 18,84 km² em 1985 para 15,73 km² em 2023; embora tenha demonstrado discretos períodos de recuperação entre as décadas de 1990 e 2010 — indicando possíveis processos de regeneração secundária —, a tendência recente voltou a ser de declínio. Contudo, a redução mais expressiva ocorreu na Formação Savânica, que foi fortemente reduzida, despencando de 11,27 km² para apenas 2,15 km², o que equivale a uma redução de 81% da sua área original. A Formação Campestre seguiu o mesmo padrão de desaparecimento, reduzindo-se a valores residuais. Essa redução das fitofisionomias savânicas e campestres indica possível comprometimento de serviços ecossistêmicos associados à manutenção de habitats, à regulação microclimática e à proteção dos recursos hídricos, estes últimos representados pela classe Rio, Lago e Oceano, que se manteve relativamente estável ao longo de toda a série temporal (oscilando em torno de 0,35 a 0,52 km²).

Com o objetivo de estimar potenciais implicações hidrológicas associadas às mudanças no uso e cobertura do solo, foi calculado o Índice Potencial de Escoamento Superficial (C_{IPES}) para cada ano da série histórica. A evolução temporal desse indicador associada às alterações no padrão de ocupação do território é apresentada na Figura 3.

É possível observar que ocorreu um aumento progressivo do C_{IPES} ao longo do tempo na área estudada. Em 1985, o valor estimado era 0,406, com avanço para 0,514 em 2023, o que representa um incremento absoluto no C_{IPES} de 0,108, e um aumento relativo de 26,6% para uma mesma precipitação. Esse aumento sugere a substituição de áreas de vegetação natural e solos permeáveis por superfícies com coeficientes de escoamento mais elevados, como áreas urbanizadas, agricultura intensiva e outras áreas antropizadas (Atharinafi & Wijaya, 2021; Darmawan et al., 2024; Shrestha et al., 2021). A literatura recente confirma que a urbanização é frequentemente apontada como um dos principais vetores de aumento da propensão ao escoamento superficial. Em um estudo na bacia de Keureuto (Indonésia), Nofita et al. (2025) observaram que a substituição de florestas por assentamentos urbanos e áreas abertas elevou o

coeficiente de escoamento de 0,928 para 0,955 em três décadas, comprometendo a capacidade de retenção hídrica da bacia. Dinâmica semelhante foi observada por Shrestha et al. (2021) na China, onde o rápido crescimento da infraestrutura urbana gerou um aumento direto no escoamento superficial. Em Catalão, a expansão do Mosaico de Usos pode representar dinâmica semelhante de transição territorial, podendo alterar a resposta hidrológica superficial e indicando a necessidade de estratégias de drenagem sustentável e manutenção de áreas permeáveis.

Figura 3: Evolução do Índice Potencial de Escoamento Superficial (C_{IPES}) (1985-2023).



Fonte: Próprio autor.

O teste de Mann-Kendall modificado confirmou tendência de aumento do C_{IPES} (Tau de Kendall = 0,9987; $p < 0,05$), permitindo rejeitar a hipótese nula de ausência de tendência. O elevado valor de Tau indica forte monotonicidade positiva da série, com crescimento praticamente contínuo ao longo do período analisado. A adoção de procedimentos estatísticos que controlem a dependência serial é amplamente recomendada em séries climatológicas e hidrológicas, uma vez que a presença de autocorrelação positiva infla erroneamente a significância estatística do teste de Mann-Kendall clássico, levando a falsos positivos (Hamed & Rao, 1998; Yue et al., 2002).

A magnitude da tendência foi estimada pela declividade de Sen (Sen, 1968), resultando em incremento médio de 0,002667 por ano no C_{IPES} . Esse resultado indica aumento gradual e contínuo da propensão da ZUC à geração de escoamento superficial direto ao longo das últimas

décadas. Como procedimento adicional de robustez estatística, os intervalos de confiança da declividade ($IC_{95\%} = [0,002476; 0,002859]$ por ano) foram estimados via *block bootstrap*, abordagem recomendada para séries temporais autocorrelacionadas, especialmente em estudos hidrológicos e climáticos (Künsch, 1989; Lahiri, 2003).

A regressão linear entre o tempo e o C_{IPES} corroborou a tendência observada pelos testes não paramétricos, conforme observado também por Darmawan et al. (2024). O modelo apresentou coeficiente angular positivo ($\beta_1 = 0,002713$; $p < 0,05$) e elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9861$), indicando que aproximadamente 98,61% da variabilidade observada na série pode ser explicada pela evolução temporal. Considerando a presença de dependência serial nos resíduos, os testes de significância foram calculados com erros-padrão robustos de Newey-West (HAC), amplamente utilizados para correção de autocorrelação e heterocedasticidade em séries temporais ambientais e econômicas (Hecht & Vogel, 2020).

A mudança detectada pode estar associada a transformações no uso e ocupação do solo ocorridas na ZUC durante o período. Esse processo coincide com o crescimento populacional municipal, que passou de 39.172 habitantes em 1980 (Instituto de Planejamento e Gestão de Cidades, 2023) para 114.427 habitantes em 2022 (IBGE, 2022), aumento de superfícies impermeabilizadas e intensificação de atividades antrópicas. Estudos hidrológicos e ambientais demonstram que alterações abruptas em séries de escoamento e indicadores hidrológicos frequentemente refletem mudanças estruturais no padrão de urbanização e cobertura da terra (Ďurigová et al., 2020; Ryberg et al., 2020).

Ao verificar os dois extremos da série temporal, a transformação da paisagem se torna evidente, em 1985 a região era predominantemente ocupada por Pastagem (74,83 km²) e formações nativas (Formação Florestal com 18,83 km² e Formação Savânica com 11,26 km²), somadas, representavam a maior parte da área analisada (~82%). Já em 2023, a Pastagem encolheu para 42,35 km², as áreas nativas também recuaram, e houve uma expansão da Área Urbanizada (32,11 km²), do Mosaico de Usos (20,30 km²) e da Soja (11,43 km²).

O crescimento da classe Área Urbanizada, de 11,43 km² em 1985 para 32,11 km² em 2023, associado à substituição de superfícies mais permeáveis por superfícies impermeabilizadas, contribui para o aumento do C_{IPES} e pode ampliar a vulnerabilidade a alagamentos, especialmente em contextos de drenagem urbana insuficiente. Esse processo pode contribuir para a sobrecarga dos sistemas de drenagem e para a redução do tempo de concentração, conforme indicado pela literatura hidrológica (Feng et al., 2021).

Quando combinada às mudanças climáticas, a impermeabilização do solo pode intensificar os efeitos de chuvas extremas, com consequente agravamento na ocorrência de enchentes e erosão. Paralelamente, a conversão de florestas e savanas em pastagens e lavouras pode reduzir a recarga hídrica subsuperficial. Esse fenômeno pode acarretar a redução do escoamento de base e confere maior severidade aos períodos de seca (Imekraz & Abdou, 2023; Pérez-Morales et al., 2021; Toohey et al., 2018).

O processo de impermeabilização do solo não apenas reduz a recarga dos aquíferos, mas também eleva significativamente os custos com manutenção da infraestrutura urbana, o que exige sistemas de drenagem mais robustos e adaptados às novas condições de escoamento. Em contextos em que a drenagem urbana é insuficiente, os impactos são evidentes na forma de alagamentos recorrentes, prejuízos econômicos expressivos e riscos à saúde pública, especialmente em áreas densamente ocupadas (Pistocchi et al., 2015; Vanegas-Espinosa et al., 2022).

Nesse contexto, a crescente impermeabilização do solo nas áreas urbanas demanda soluções eficientes e sustentáveis, como as baseadas em infraestrutura verde. Estratégias como pavimentos permeáveis, telhados verdes e sistemas de infiltração têm se mostrado eficazes na regulação do escoamento superficial e na promoção da resiliência urbana. Além disso, ações de reflorestamento e preservação de áreas naturais contribuem para a retenção hídrica, a redução da erosão e a conservação dos recursos hídricos, com o consequente fortalecimento da adaptação das cidades às mudanças climáticas e ao crescimento urbano não planejado (Artmann, 2016; Meli et al., 2024; Pappalardo et al., 2017).

Além dos possíveis impactos hidrológicos, a urbanização também contribui para alterações térmicas, como as ilhas de calor, resultado da perda de cobertura vegetal e da maior absorção de radiação térmica pelas superfícies construídas. Esse efeito altera o microclima urbano, reduz o conforto térmico e amplia a demanda por energia elétrica, especialmente em períodos de temperaturas elevadas (Parker, 2021; Santamouris et al., 2015).

Diante das tendências observadas na evolução do uso e cobertura do solo e no aumento do CIPES, os resultados reforçam a necessidade de incorporar a dinâmica territorial histórica ao planejamento urbano e às estratégias de adaptação climática. A manutenção de áreas permeáveis, a conservação de remanescentes vegetais e o controle da expansão urbana devem ser articulados a soluções baseadas em infraestrutura verde, como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e bacias de infiltração. Essas medidas podem contribuir para a redução da pressão

sobre os sistemas de drenagem, a ampliação da retenção e infiltração da água, a regulação térmica e o fortalecimento da resiliência hídrica e ambiental da Zona Urbana de Catalão.

Considerações Finais

- Os resultados deste estudo evidenciam mudanças expressivas no uso e cobertura do solo da Zona Urbana de Catalão entre 1985 e 2023. A série histórica analisada indica a redução progressiva de áreas originalmente associadas a coberturas mais permeáveis, com destaque para a retração das pastagens e das formações savânicas, simultaneamente à expansão da área urbanizada, do Mosaico de Usos e de culturas agrícolas, como a soja. Esse processo revela uma transformação territorial marcada pela intensificação da urbanização, pela reorganização do espaço agropecuário e pela crescente fragmentação da paisagem.
- A expansão da classe Área Urbanizada, associada à conversão de áreas naturais e agropecuárias em superfícies edificadas ou de uso mais intensivo, constitui um dos principais vetores de alteração da dinâmica ambiental da ZUC. Embora o perímetro urbano legal ainda apresente elevada heterogeneidade espacial, com presença de usos rurais, áreas de transição e remanescentes de vegetação, os resultados demonstram avanço consistente de classes associadas a maior pressão antrópica sobre o território.
- De forma complementar, o Índice Potencial de Escoamento Superficial (C_{IPES}) apresentou tendência de aumento ao longo do período analisado, passando de 0,406 em 1985 para 0,514 em 2023. Essa elevação é compatível com a intensificação do processo de impermeabilização do solo decorrente da urbanização acelerada e da conversão de áreas naturais e agropecuárias em superfícies edificadas. Tal tendência sugere redução progressiva da capacidade potencial de infiltração hídrica da superfície, o que pode reduzir a resiliência do território frente à ocorrência de eventos pluviométricos intensos.
- Nesse contexto, são imprescindíveis ações de mitigação e adaptação que considerem a complexidade da dinâmica urbana e hidrológica. Medidas como a ampliação da infraestrutura verde, a preservação de áreas permeáveis e o controle do uso e ocupação do solo devem integrar políticas públicas voltadas à gestão sustentável do território. Essas estratégias são essenciais para a redução dos riscos associados a inundações,

erosão e degradação dos recursos hídricos, de forma a contribuir para a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico urbano.

- A análise realizada ao longo deste trabalho sintetiza a trajetória de transformação territorial do município de Catalão, marcada por uma urbanização cada vez mais extensa, fragmentada e multifuncional. A perda contínua de áreas agropecuárias, aliada à expansão do uso misto identificado como Mosaico de Usos, evidencia a urgência de um planejamento urbano mais articulado, capaz de antecipar os impactos ambientais das mudanças no uso do solo e promover a sustentabilidade urbana.
- Para que o desenvolvimento urbano não comprometa a resiliência hídrica e climática do município, é fundamental que as políticas públicas sejam guiadas por uma abordagem sistêmica e integrada. Tal abordagem deve conciliar crescimento econômico, qualidade ambiental urbana e proteção dos ecossistemas urbanos, assegurando, assim, a construção de cidades mais resilientes, inclusivas e ambientalmente equilibradas.
- Por fim, destaca-se que a abordagem adotada possui caráter exploratório e comparativo, sendo adequada para identificar tendências territoriais e potenciais implicações hidrológicas associadas às mudanças de uso e cobertura do solo. Estudos futuros poderão aprofundar essa análise por meio da incorporação de dados pluviométricos, características de solo, declividade, capacidade da rede de drenagem, análise de sensibilidade dos coeficientes adotados e aplicação de modelos hidrológicos distribuídos. Ainda assim, os resultados apresentados oferecem subsídios relevantes para o ordenamento territorial, a gestão sustentável do solo urbano e a formulação de políticas públicas voltadas à construção de cidades mais resilientes.

Referências

- Artmann, M. (2016). Urban gray vs. Urban green vs. Soil protection—Development of a systemic solution to soil sealing management on the example of Germany. *Environmental Impact Assessment Review*, 59, 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.03.004>
- Atharinafi, Z., & Wijaya, N. (2021). Land Use Change and Its Impacts on Surface Runoff in Rural Areas of the Upper Citarum Watershed (Case Study: Cirasea Sub-watershed). *Journal of Regional and City Planning*, 32(1), 36–55. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2021.32.1.3>

- Blume, T., Zehe, E., & Bronstert, A. (2007). Rainfall—Runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5), 843–862. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.5.843>
- Collischonn, W., & Dornelles, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).
- Costa, M. E. L., Carvalho, D. J., & Koide, S. (2021). Assessment of Pollutants from Diffuse Pollution through the Correlation between Rainfall and Runoff Characteristics Using EMC and First Flush Analysis. *Water*, 13(18), 2552. <https://doi.org/10.3390/w13182552>
- Custódio, M. M., & Oliveira, E. R. de. (2017). A legislação brasileira de uso e ocupação do solo e sua dissonância sistêmica com fatores redutores da refletância da energia solar. *Revista de Direito da Cidade*, 9(3), 867–892. <https://doi.org/10.12957/rdc.2017.27045>
- Darmawan, A., Sejati, W., Mahabella, L. S., & Adibah, A. N. (2024). Changes in Runoff Coefficient Index as a Result of Land Use Change (Case Study: Malang City). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1343(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012031>
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). *Manual de Drenagem de Rodovias* (2. ed.). DNIT/IPR.
- Dias, G. de O., & Viera, E. M. (2023). Análise multitemporal das áreas desmatadas e da regeneração florestal na Microbacia do Córrego dos Macacos (BH-MG), empregando técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1214–1230. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1214-1230>
- Đurigová, M., Hlavčová, K., & Poárová, J. (2020). Detection of Changes in Hydrological Time Series During Recent Decades. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 28, 56–62. <https://doi.org/10.2478/sjce-2020-0016>
- Faria, G. G. de. (2011). As Leis de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo: Instrumento para a Efetiva Gestão Compartilhada dos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(3), 650–664. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i3.232735>
- Faust, B., Aggarwal, S., Wilson, B., Singh, U., & Magner, J. (2025). Impacts of Impervious Surfaces on Urban Stormwater Quality: Minneapolis Case Study Analysis. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 61(6), e70066. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.70066>

- Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106(1), 613–627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>
- Gaudard, J. G. P. de S., & Barreto, A. G. (2016). Permeabilidade do solo à luz de um desenvolvimento urbano mais sustentável. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 13(2).
- Google. (2025). *Google Colaboratory* [Programa de computador]. Google.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1–4), 182–196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hecht, J., & Vogel, R. (2020). Updating urban design floods for changes in central tendency and variability using regression. *Advances in Water Resources*, 136, 103484. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103484>
- IBGE. (2022). *Catalão* [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/catalao.html>
- Imekraz, H., & Abdou, S. (2023). The mineralization of urban soils facing the risk of climate change: Case of the flooding phenomenon in the city of Annaba. *E3S Web of Conferences*, 436, 02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343602012>
- Instituto de Planejamento e Gestão de Cidades. (2023). *Plano Municipal de Saneamento Básico: Versão Final*. Prefeitura Municipal de Catalão.
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423, 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Künsch, H. (1989). The Jackknife and the Bootstrap for General Stationary Observations. *Annals of Statistics*, 17, 1217–1241. <https://doi.org/10.1214/aos/1176347265>
- Laguerre, J., & Felipe, M. F. (2026). CONTRIBUIÇÃO DA HIDROGEOMORFOLOGIA NA ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES EM PETIT-GOÂVE, HAITI. *Geoambiente On-line*, (54). <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/77159>
- Lahiri, S. (2003). *Resampling Methods for Dependent Data*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3803-2>

- Lei Complementar N° 3.439, de 08 de dezembro de 2016, Câmara Municipal de Catalão, Institui o plano diretor de ordenamento do território e desenvolvimento sustentável de Catalão, que dispõe sobre plano de parcelamento, uso e ocupação do solo, instrumentos urbanísticos e sistema de gestão (2016). <https://www.catalao.go.gov.br/storage/legislacao/ea6b849ce890a5abb6e53b6d1261945c.pdf>
- Lopes, A. da S., & Galvêncio, J. D. (2013). Uso da Terra em Ambientes Urbanos e seus Impactos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(2), 329–340. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20130030>
- Machado, R. E., Cardoso, T. O., & Mortene, M. H. (2022). Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.09.001>
- McGrane, S. J. (2016). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: A review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>
- Meli, P., Ellison, D., Ferraz, S. F. de B., Filoso, S., & Brancalion, P. H. S. (2024). On the unique value of forests for water: Hydrologic impacts of forest disturbances, conversion, and restoration. *Global Change Biology*, 30(2), e17162. <https://doi.org/10.1111/gcb.17162>
- Melo, A. C. A., Albuquerque, L. B., & Vilela, M. de F. (2021). Relação do uso e da ocupação do município de Águas Lindas e seus impactos ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(2), 634–649. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p634-649>
- Miller, J. D., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S., & Dearden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 515, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
- Mitchell, D., Enemark, S., & Van der Molen, P. (2015). Climate resilient urban development: Why responsible land governance is important. *Land Use Policy*, 48, 190–198.
- Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J., & Viklander, M. (2020). The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of The Total Environment*, 709, 136125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125>

- Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708. <https://doi.org/10.2307/1913610>
- Nofita, C., Azizah, C., Satriawan, H., Iriadi, R., Robo, S., & Misnawati, M. (2025). Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya Terhadap Koefisien dan Volume Limpasan Banjir Di Das Keureuto, Provinsi Aceh (Land-Use Changes and Their Impact on Runoff Coefficient and Flood Volume in the Keureuto Watershed, Aceh Province). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 9(1), 105–120. <https://doi.org/10.59465/jppdas.2025.9.1.105-120>
- Pappalardo, V., La Rosa, D., Campisano, A., & La Greca, P. (2017). The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: A preliminary evaluation from a southern Italy case study. *Putting ES into practice*, 26, 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.04.015>
- Parker, J. (2021). The Leeds urban heat island and its implications for energy use and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 235, 110636. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110636>
- Pérez-Morales, A., Romero-Díaz, A., & Illán-Fernandez, E. (2021). Rainfall, anthropogenic soil sealing, and floods. An example from southeastern Spain. Em *Precipitation* (p. 499–520). Elsevier.
- Pistocchi, A., Calzolari, C., Malucelli, F., & Ungaro, F. (2015). Soil sealing and flood risks in the plains of Emilia-Romagna, Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.021>
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS* (Versão 3.26.0-Buenos Aires) [Windows 10]. QGIS.ORG.
- Ress, L. D., Hung, C. J., & James, L. A. (2020). Impacts of urban drainage systems on stormwater hydrology: Rocky Branch Watershed, Columbia, South Carolina. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12643. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12643>
- Rio de Janeiro (contribuição de Rio-Águas, S. de G. de B. H.-). (2019). *Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana: Procedimentos, métodos e norma para elaboração de projetos de drenagem e execução de obras de drenagem* (Portaria O/SUB-RIO-ÁGUAS “N” nº 004/2010; 2º ed.). Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

<https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8940582/4244719/InstrucaoTecnicaREVISA01.pdf>

- Ryberg, K. R., Hodgkins, G. A., & Dudley, R. W. (2020). Change points in annual peak streamflows: Method comparisons and historical change points in the United States. *Journal of Hydrology*, 583, 124307. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124307>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Renewable Energy Sources and Healthy Buildings*, 98, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>
- São Paulo. (1999). *DP-H03: Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos—Método Racional*. SVP.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Seto, K., & Shepherd, J. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 89–95. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2009.07.012>
- Shrestha, S., Cui, S., Xu, L., Wang, L., Manandhar, B., & Ding, S. (2021). Impact of Land Use Change Due to Urbanisation on Surface Runoff Using GIS-Based SCS–CN Method: A Case Study of Xiamen City, China. *Land*, 10(8), 839. <https://doi.org/10.3390/land10080839>
- Siqueira, J. (2024). *Mapbiomas user toolkit* (Versão 1.30.0) [Programa de computador]. MapBiomas.
- Souza Júnior, C. M., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., & Souza-Filho, P. W. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735.
- Toohy, R. C., Boll, J., Brooks, E. S., & Jones, J. R. (2018). Effects of land use on soil properties and hydrological processes at the point, plot, and catchment scale in volcanic soils near Turrialba, Costa Rica. *Geoderma*, 315, 138–148.
- Tucci, C. (2001). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4 edição. Editora UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 943.

- Vanegas-Espinosa, L. I., Vargas-del-Río, D., Ochoa-Covarrubias, G., & Grindlay, A. L. (2022). Flood Mitigation in Urban Areas through Deep Aquifer Recharge: The Case of the Metropolitan Area of Guadalajara. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph19063160>
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16(9), 1807–1829. <https://doi.org/10.1002/hyp.1095>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Antover Panazzolo Sarmento: processamento dos dados, tabelas, figuras, mapas, escrita, análise dos resultados e discussões.

Financiamento: O estudo foi realizado sem financiamento.

Conflito de interesse: O autor declara que não possui interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.

Uso de Inteligência Artificial: Durante a preparação deste manuscrito, o autor utilizou o ChatGPT, modelo GPT-5.5 Thinking, como ferramenta auxiliar para padronização terminológica, aprimoramento da coerência textual e identificação de trechos ambíguos ou redundantes. A ferramenta não foi utilizada para gerar dados, realizar o processamento geoespacial, realizar análises estatísticas ou produzir resultados científicos. O autor revisou e aprovou integralmente a versão final do manuscrito e assume total responsabilidade pelo conteúdo apresentado.