



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Luan Soares da Costa

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO E SEUS EFEITOS
NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA SEDE MUNICIPAL DE
GONZAGA - MG**

Ouro Preto

2023

ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO E SEUS EFEITOS NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DA SEDE MUNICIPAL DE GONZAGA - MG

Luan Soares da Costa

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Profa. Livia Cristina Pinto Dias

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C837a Costa, Luan Soares da.
Análise do crescimento urbano e seus efeitos no escoamento superficial da sede municipal de Gonzaga - MG. [manuscrito] / Luan Soares da Costa. - 2023.
61 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). 2. Área de Superfície Impermeável (ISA). 3. Solos - Permeabilidade. 4. Precipitação Efetiva Total (PEFT). 5. Gonzaga (MG). I. Dias, Livia Cristina Pinto. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:502

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Luan Soares da Costa

Análise do crescimento urbano e seus efeitos no escoamento superficial da sede municipal de Gonzaga - MG

Projeto Final de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 16 de agosto de 2023

Membros da banca

Profa. Lívia Cristina Pinto Dias - Orientadora - Departamento de Engenharia Ambiental (Universidade Federal de Ouro Preto)

Profa. Ana Letícia Piz de Castro - Departamento de Engenharia Civil (Universidade Federal de Ouro Preto)

Engenheiro Gustavo Silva Magalhães Gomes - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (Universidade Federal de Ouro Preto)

Lívia Cristina Pinto Dias, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/08/2023, às 10:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0581584** e o código CRC **143930E8**.

*Da simplicidade da roça à complexidade da cidade,
a fé guiou meus passos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, Jaine e José Geraldo, aos meus tios Maria Aparecida, Maria Íris, Maria do Socorro e Vantuir pelo incentivo, carinho e apoio durante essa etapa.

À Thais, pelo apoio, companheirismo e carinho incondicional, durante as conquistas e dificuldades enfrentadas nesse período.

Aos meus irmãos, Tiago, Diego, Gabriel e Ana Júlia.

Aos amigos que conquistei durante a graduação, em especial ao Blendom, Bruno Neres, Fernando e Janine pelas trocas de conhecimento, colaboração, apoio e momentos de descontração.

À professora Dr. Lívia Cristina Pinto Dias, pelos conhecimentos transmitidos e tempo dedicado a este trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto, expresse minha sincera gratidão pela valiosa oportunidade de receber formação e ensino de excelência. Sou imensamente grato pelas bolsas de assistência estudantil que me proporcionaram o suporte necessário para seguir com meus estudos e alcançar meus objetivos acadêmicos. Agradeço de coração por todo apoio e dedicação em contribuir para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo a identificação e quantificação das mudanças ambientais resultantes da expansão urbana na permeabilidade do solo e no escoamento superficial do município de Gonzaga – MG, a fim de fornecer informações para a tomada de decisões sobre o desenvolvimento urbano sustentável, por meio da análise temporal de imagens de sensoriamento remoto e aplicação de técnicas de geoprocessamento. Foram escolhidas três imagens de satélite com um intervalo de cerca de 15 e 16 anos, as quais foram submetidas a um processo de tratamento de dados que incluiu a correção dos parâmetros de radiância e reflectância, a fim de eliminar possíveis interferências atmosféricas nos resultados. Em seguida, foram calculados o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), a área de superfície impermeável (ISA) e a precipitação efetiva total (PEFT) para as três épocas estudadas, gerando mapas caracterizando a área urbana. De acordo com os resultados obtidos, foi possível comprovar o impacto ambiental negativo resultante da expansão urbana. O índice NDVI evidenciou a diminuição da cobertura vegetal na área de estudo, principalmente nas regiões central e noroeste. Também foi notada uma redução significativa na permeabilidade do solo, visto que a ISA revelou que, ao longo dos 31 anos, 1,866 km² de área tornaram-se completamente impermeáveis. Além disso, foi possível constatar as alterações causadas pela expansão urbana na precipitação efetiva total, uma vez que as áreas com escoamento superficial total da precipitação aumentaram de 0,505 km² para 2,449 km² entre os anos de 2005 e 2021, indicando a perda total da capacidade de infiltração em 1,994 km². Durante a pesquisa, ocorreu uma inundação em 20 de janeiro de 2023 na região estudada, desencadeada por precipitação intensa. Ao final do estudo, a comparação entre áreas inundadas e as previstas pelo modelo revelou que a inundação estava de acordo com as previsões, validando assim o método.

Palavras-chaves: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), área de superfície impermeável (ISA), permeabilidade do solo, precipitação efetiva total (PEFT) e Gonzaga - MG.

ABSTRACT

The objective of this study was the identification and quantification of environmental changes resulting from urban expansion on soil permeability and surface runoff in the municipality of Gonzaga - MG, in order to provide information for decision-making on sustainable urban development through the temporal analysis of remote sensing images and application of geoprocessing techniques. Three satellite images were chosen with an interval of about 15 to 16 years, which underwent a data processing procedure including radiance and reflectance parameter correction to eliminate potential atmospheric interferences in the results. Next, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Impervious Surface Area (ISA), and Total Effective Precipitation (TEP) were calculated for the three studied epochs, generating maps characterizing the urban area. According to the obtained results, it was possible to confirm the negative environmental impact resulting from urban expansion. The NDVI index showed a decrease in vegetation coverage in the study area, mainly in the central and northwest regions. A significant reduction in soil permeability was also noted, as ISA revealed that over the course of 31 years, 1.866 km² of area became completely impervious. Furthermore, changes caused by urban expansion in total effective precipitation were observed, as areas with total surface runoff increased from 0.505 km² to 2.449 km² between 2005 and 2021, indicating a total loss of infiltration capacity in 1.994 km². During the research, a flood occurred on January 20, 2023, in the studied region, triggered by heavy precipitation. At the end of the study, the comparison between flooded areas and those predicted by the model revealed that the flood aligned with the forecasts, thus validating the method.

Keywords: environmental changes, normalized vegetation index (NDVI), impervious surface index (ISA), soil permeability, precipitation excess (PEFT) and Gonzaga - MG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Gonzaga em relação a Minas Gerais.	27
Figura 2 - Mapa de hidrografia do município de Gonzaga.....	28
Figura 3 - Principais rodovias do município	29
Figura 4 - Mapa de Expansão da Mancha Urbana de Gonzaga - MG de 1990 a 2021	34
Figura 5 - Área urbanizada do município de Gonzaga - MG	35
Figura 6 - Declividade da área de estudo	36
Figura 7 - Uso e ocupação do solo em (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021	38
Figura 8 - NDVI da área urbana do município de Gonzaga - MG para os anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021	40
Figura 9 - ISA para área urbana do município de Gonzaga – MG nos anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021	43
Figura 10 - Comparação gráfica entre as classes de impermeabilidade e anos de estudo.....	44
Figura 11 - Precipitação efetiva total para área urbana do município de Gonzaga – MG para os anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021	46
Figura 12 - Comparação gráfica entre as classes de escoamento e anos de estudo.....	47
Figura 13 - Ocorrência da de inundação no município	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso da água do abastecimento	17
Tabela 2 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA.....	32
Tabela 3 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da precipitação efetiva total (PEFT)	33
Tabela 4 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da declividade	36
Tabela 5 - Quantificação das classes de permeabilidade para o período de estudo	44
Tabela 6 - Quantificação das classes de escoamento para o período de estudo	47

LISTA DE SIGLAS

CN – Curve number

GEE – Google Earth Engine

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISA - Area de superfície impermeável

MDE – Modelo Digital de Elevação

MG – Minas Gerais

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

ONG - Organização não governamental

PEFT - Precipitação efetiva total

PIB - Produto Interno Bruto

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

SCS - Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	O processo de urbanização.....	14
3.2	Consequências ambientais da urbanização	15
3.2.1	Pressão sobre os recursos hídricos.....	16
3.2.2	Abastecimento de água e disposição final de efluentes líquidos	16
3.3	Drenagem.....	19
3.4	Ilhas de calor e poluição do ar	21
3.5	Resíduos sólidos urbanos.....	22
3.6	Uso e ocupação desordenada	23
3.7	Gestão das águas urbanas	24
3.8	Uso do Sensoriamento Remoto no planejamento de centros urbanos	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	Área de estudo	27
4.2	Caracterizar a expansão urbana na sede municipal de Gonzaga.....	29
4.3	Determinação da área de superfície impermeável para a área de estudo.....	30
4.4	Impacto da expansão da área urbana no escoamento superficial.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1	Caracterização da expansão urbana na sede municipal de Gonzaga	33
5.1.1	Índice NDVI	39
5.1.2	Índice ISA	41

5.2	Avaliação do escoamento superficial da sede municipal.....	45
5.2.1	Inundação no município de Gonzaga - MG.....	49
6	CONCLUSÃO	52
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

Souza (2020), ao abordar sobre as mudanças da dispersão urbana e as configurações das cidades médias brasileiras, destaca que:

No processo de modernização contemporânea é possível associar importantes transformações territoriais à difusão de um novo modo de vida. Entende-se que a produção da cidade não ocorre de forma natural e espontânea, mas sim consolidada pelas diversas relações sociais que simbolizam o modo de vida do homem. De certa maneira, essas transformações têm gerado outras configurações no mundo urbano e nos fazem refletir sobre os seus eventuais problemas. (SOUZA, 2020)

De fato, quando o processo de expansão dos centros urbanos ocorre de forma acelerada e não planejada gera-se preocupações no que se diz respeito à qualidade ambiental e criam-se fatores de riscos para o bem estar da população. Isso porque é evidente a relação existente entre as modificações irrestritas do ambiente natural e o surgimento de problemas ambientais (MARCELO, 2019).

A falta de áreas verdes e espaços de lazer é um problema comum em muitas cidades (LIMA, 2008). A expansão urbana reduz o espaço disponível para parques, praças e áreas de recreação. Isso resulta em menor qualidade de vida para os moradores, já que eles têm menos acesso a espaços para atividades físicas, relaxamento e contato com a natureza.

O escoamento superficial inadequado é um problema ambiental urbano diretamente relacionado à impermeabilização do solo. O excesso de superfícies impermeáveis nas áreas urbanas impede a absorção da água da chuva pelo solo, resultando em altos volumes de escoamento superficial (TUCCI, 1998). Nesse tema, é fundamental compreender que a unidade básica de estudo do escoamento superficial é a bacia hidrográfica, que é uma área delimitada geograficamente na qual todas as águas que caem na forma de precipitação são coletadas e escoam para um ponto comum (FINKLER, 2012). A impermeabilização do solo de uma bacia hidrográfica interfere diretamente no escoamento superficial, podendo causar erosão do solo, assoreamento de corpos d'água e danos à infraestrutura urbana (com uma maior dependência de sistemas de drenagem urbana para lidar com o excesso de água), além de alterações sobre os ciclos de recargas dos lençóis freáticos, reservatórios de abastecimento de água da própria área urbana e a deterioração dos mananciais causados pelos lançamentos de esgotos (TUCCI, 1998).

Os sistemas de drenagem tradicionais das cidades têm como funcionalidade a drenagem das águas de precipitações de forma imediata para jusante (REZENDE, 2018). Com isso, o controle dos impactos no ciclo hidrológico restringe-se à ampliação da capacidade condutora, muitas vezes associada a altos custos de implementação e manutenção, tal abordagem transfere

o escoamento pluvial por canalização e transmite os impactos gerados pelas ocupações para jusante (MARANGONI, 2019).

A impermeabilização do solo também contribui para o aumento da temperatura da superfície urbana (BEZERRA, 2015, p. 30). As superfícies urbanas, como concreto e asfalto, absorvem e retêm mais calor do que as áreas verdes. Esse fenômeno é conhecido como "ilhas de calor urbanas". As ilhas de calor urbano podem resultar em temperaturas mais altas nas áreas urbanas em comparação com as áreas rurais circundantes, causando desconforto térmico, aumento do consumo de energia para resfriamento e impactos na saúde humana (UCHÔA, 2011).

Partindo dessas premissas, este trabalho propõe avaliar os impactos do crescimento do centro urbano do município de Gonzaga, Minas Gerais e seus efeitos no escoamento superficial da sede municipal. Esse trabalho será importante para identificar as áreas mais susceptíveis e que podem demandar de medidas preventivas para o controle de enchentes, a criação de sistemas de drenagem adequados e a preservação de áreas permeáveis, ou seja, esse trabalho poderá embasar a tomada de decisões por parte dos gestores públicos para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação dos problemas associados ao escoamento superficial em áreas urbanas e instrumento indispensável durante a elaboração e/ou atualização do Plano Municipal de Saneamento Básico. Além disso, esse trabalho pode contribuir para a conscientização da população e das autoridades sobre a importância de um desenvolvimento urbano sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da expansão da área urbana do município de Gonzaga – MG e seus efeitos no escoamento superficial da sede municipal, utilizando técnicas de geoprocessamento.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a expansão urbana na sede municipal de Gonzaga;
- Determinar a área de superfície impermeável para a área de estudo;
- Identificar os impactos associados ao processo de urbanização pela variação temporal dos parâmetros analisados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O processo de urbanização

A partir da segunda metade do século XX, ocorreram grandes fluxos migratórios da população do campo para as áreas urbanas (BRITO, 2006). Essa migração em larga escala esteve associada às demandas por mão de obra nas cidades, à medida que ocorriam transformações significativas nas relações de trabalho tanto no campo quanto na área urbana. Esse fenômeno conhecido como êxodo rural resultou no expressivo crescimento dos centros urbanos.

De acordo com Alves, Sousa e Marra (2011), o êxodo rural colaborou com o processo de urbanização no Brasil. Nas primeiras décadas do século XX, o êxodo rural foi responsável por 17,4% do crescimento populacional das cidades. No entanto, a importância do êxodo rural para o crescimento das cidades vem diminuindo: na década de 2000, esse percentual passou a ser apenas 3,5% do crescimento.

Para compreender os aspectos das mudanças comportamentais da população e o processo de urbanização, Silva e Macedo (2009) destacam que:

É preciso entender que a urbanização não consiste apenas no crescimento das cidades. Para que ela ocorra é necessário um conjunto de mudanças que irão se expressar tanto na paisagem urbana da cidade como no comportamento e estilo de vida das pessoas. Primeiro é necessário que a população urbana cresça mais que a população do campo, ou seja, que a população urbana aumente em relação à população total do país ou da região. Pode ocorrer inclusive o crescimento da cidade sem haver necessariamente urbanização, desde que a população rural cresça na mesma proporção que a população urbana. Na realidade, o crescimento das cidades não tem limites, pois a cidade pode expandir-se indefinidamente. A urbanização, no entanto, tem limites. Nos países em que a população urbana ultrapassa 95% do total, podemos, dizer, que esses países já os atingiram. (SILVA; MACÊDO, 2009, P. 3)

Silva e Macedo (2009) também ressaltam que a urbanização é um aspecto espacial e resultante das alterações sociais e econômicas promovidas pelo capitalismo. Sobre a Revolução Industrial, Sposito (1989) descreve que “o incentivo ao desenvolvimento técnico e científico foi grande neste período, não por acaso. Era preciso implementar melhorias técnicas e descobrir novas formas que permitissem mais rapidez para a realização do capital”. Com a intensificação da produção industrial e o acúmulo de capital advindas dos processos de desenvolvimento, ainda intensificou os processos de urbanização.

Atualmente o Brasil pode ser considerado um país urbano, já que 84,72% da população brasileira são habitantes de áreas urbanas. Contudo, esse processo evoluiu lentamente até o século XVIII e XIX, desenvolvendo-se de forma acelerada a partir da década de 1930 (KAUFFMANN, 2003).

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015) do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), “nas décadas de 1970 e 1980 o Brasil sofreu um intenso processo de êxodo rural. A mecanização da produção agrícola expulsou trabalhadores do campo que se deslocaram para as cidades em busca de oportunidades de trabalho”. Os dados fornecidos pela PNAD demonstram que a tendência de crescimento da população urbana ainda existe, sendo que a análise dos dados coletados entre 2005 a 2015 demonstram que a taxa de urbanização no Brasil teve um aumento de 2,2%.

Como observado por Marcelo (2019), o crescimento acelerado ocasiona efeitos adversos quando as administrações públicas não conseguem aplicar as diretrizes gerais das políticas urbanas à medida que ocorrem as expansões, podendo ocasionar alterações e modificações econômicas, sociais e ambientais nos centros urbanos.

3.2 Consequências ambientais da urbanização

O processo de urbanização possui relação direta com o meio ambiente uma vez que a concentração de pessoas sobre um espaço restrito pode ocasionar impactos ao meio ambiente (JATOBÁ, 2011). Silva et al. (2016) colocam que “analisar impactos ambientais em áreas urbanas torna-se fundamental para o planejamento, desenvolvimento e ordenamento das cidades, a necessidade de desenvolvimento da sociedade propõe um modelo de apropriação do espaço geográfico através da utilização principalmente de seus recursos naturais”.

Com base no padrão de desenvolvimento e a crescente demanda por recursos naturais e espaço físico é observada a deterioração de áreas como córregos e rios, que deveriam ser apoiadas por instrumentos de proteção ambiental. A ocupação de forma não planejada, ocasiona diversos problemas ambientais e urbanos como alagamentos, disseminação de doenças de veiculação hídrica, lançamento de esgoto doméstico em corpos hídricos, deslizamentos de terra, inundações e aumento do escoamento superficial. (SILVA et al., 2016).

Loderdo (2019), ao discorrer sobre as relações entre a urbanização e a degradação ambiental, expõe que:

A crescente e descontrolada urbanização de muitas cidades brasileiras tem provocado impactos significativos, como a diminuição da parcela da água da chuva que pode infiltrar no solo, promovendo alterações no ciclo hidrológico no meio urbano, trazendo aumento das vazões e volumes do escoamento superficial, ampliando o risco de inundações e alagamentos. (LODERDO, 2019, p.15).

Ainda ressalta que, os problemas ocasionados pela urbanização desordenada afetam a qualidade de vida dos habitantes, e devem ser considerados na elaboração de instrumentos que auxiliem o planejamento do desenvolvimento das cidades (LODERDO, 2019).

3.2.1 Pressão sobre os recursos hídricos

Os recursos hídricos de maneira geral, e em especial os rios e córregos, são os ecossistemas que mais vem sendo alterados pelas atividades antrópicas, principalmente quando inseridos no meio urbano (LIMA et al., 2017). Veloso et al. (2011) destaca que:

Mesmo dependendo da água para sua sobrevivência, os seres humanos, com o desenvolvimento econômico, poluem e degradam os recursos hídricos trazendo graves consequências aos corpos da água e comprometendo tanto a sua qualidade, quanto a quantidade. Essa realidade abrange graves proporções em todas as partes do mundo. (VELOSO et al., 2011).

Assim sendo, as alterações causadas ao meio ambiente comprometem a disponibilidade da água e seus vários aspectos. As ações humanas têm causados impactos negativos em rios, riachos que se tornaram alvo de despejo de esgotos, resíduos industriais e objetos descartados causando a alteração da qualidade da água (QUEIROZ et al., 2018).

Segundo Rosa (2017) a impermeabilização e compactação do solo resultam na redução da capacidade de infiltração da água, levando ao aumento do escoamento superficial. Isso, por sua vez, desencadeia uma maior erosão do solo e intensifica o processo de assoreamento. Além disso, tais práticas também influenciam o nível do lençol freático, podendo levar à diminuição ou até mesmo ao esgotamento desse recurso. Outras consequências incluem o agravamento das enchentes e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

3.2.2 Abastecimento de água e disposição final de efluentes líquidos

A disponibilidade de água é uma das prioridades de qualquer civilização (MPB Engenharia, 2020) já que a proximidade de corpos d'água é importante para o abastecimento público, a disposição final de esgotos (bem como a limpeza do ambiente público), o comércio e a navegação. Por isso, diversas cidades historicamente importantes foram construídas as margens de grandes rios, como Paris – França (rio Sena), Londres – Reino Unido (rio Tâmsa),

Moscou – Rússia (rio Moscou), Xangai – China (rio Huangpu) e Buenos Aires – Argentina (rio da Prata).

O Brasil é um dos países com maior riqueza hídrica do mundo. Felizmente, do ponto de vista conservacionista, a maioria dos recursos está concentrada em áreas menos povoadas (NATURE, 2014). Já em grandes centros urbanos com altas densidades populacionais e alta demanda por recursos hídricos, a qualidade da água se deteriora significativamente, tornando o abastecimento urbano um grande desafio (BRASIL, 2022).

A Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 “estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico” e caracteriza “serviços públicos de abastecimento de água potável” a captação de um corpo hídrico específico com o propósito de fornecê-la à população em quantidade e qualidade adequadas e suficientes para suprir suas necessidades. Ou seja, o abastecimento de água envolve as estruturas e serviços necessários para captar, tratar e distribuir água às pessoas.

O sistema de abastecimento de água contempla diversos usos e diferentes interesses. Na Tabela 1 estão apresentadas as principais finalidades de um sistema de abastecimento de água para uso doméstico, comercial, industrial e público.

Tabela 1 - Uso da água do abastecimento

Consumo doméstico	Preparo de alimentos; Higiene da moradia; Higiene corporal; Limpeza dos utensílios; Lavagem de roupas; Descarga de vasos sanitários; Lavagem de veículos; Insumo para atividades econômicas domiciliares (lavadeiras, preparo de alimentos...); Irrigação de jardins, hortas e pomares domiciliares; Criação de animais de estimação e de animais para alimentação (aves, suínos, equinos, caprinos etc.).
Uso Comercial	Suprimento a estabelecimentos diversos, com ênfase para aqueles de maior consumo de água, como: lavanderias, bares, restaurantes, hotéis, postos de combustíveis, clubes e hospitais
Uso Industrial	Suprimento a estabelecimentos localizados no interior da área urbana, com ênfase para aqueles que incorporam água no produto ou que necessitam de

	grande quantidade de água para limpeza, como indústrias de cervejas, refrigerantes ou sucos, laticínios, matadouros e frigoríficos, curtumes, indústria têxtil.
Uso Público	Irrigação de jardins, canteiros e praças; Lavagem de ruas e espaços públicos em geral; Banheiros e lavanderias públicas; Alimentação de fontes; Limpeza de bocas de lobo, galerias de águas pluviais e coletores de esgotos; Abastecimento de edifícios públicos, incluindo hospitais, portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários; Combate a incêndio.

Fonte: Valter, 2006

Embora se possa afirmar que todas as categorias de uso são necessárias e, portanto, devem ser garantidas pela distribuição de água, adota-se o conceito de essencialidade (VALTER, 2006). O abastecimento de água é essencial para a efetivação do direito fundamental de acesso à água e atendimento as necessidades básicas da vida humana, principalmente para garantir a saúde.

Uma importante e permanente questão relacionada as condições ambientais é que após consumida, grande parcela das águas retiradas dos mananciais para abastecimento, retornam ao meio ambiente em forma de esgotos domésticos e industriais. O esgoto doméstico é caracterizado pela presença de resíduos provenientes de residências, prédios comerciais, indústrias, instituições ou qualquer edificação que contenha banheiros ou cozinhas e que sejam descartados em fossa ou cisterna (ARCHELA, 2003). São compostos basicamente por fluidos relacionados a práticas higiênicas e necessidades fisiológicas, como urina, fezes, restos de comida, lavagens em áreas públicas. Os efluentes industriais biodegradáveis possuem características inerentes aos processos industriais (GIORDANO, 2004). Suas propriedades químicas, físicas e biológicas variam de acordo com o ramo de atividade da indústria, operação, matérias-primas utilizadas, dentre outras.

Contudo, quando realizado de maneira integral e com qualidade, o sistema de abastecimento de água é capaz de cumprir as necessidades das grandes cidades, disponibilizando esse importante recurso para toda população (SETTI, 2001). Convém ressaltar que o envolvimento comunitário é de fundamental importância não apenas para a viabilização do abastecimento de água, mas para sua valorização, difusão de hábitos higiênicos, sua manutenção autossustentável e até mesmo para a preservação dos mananciais utilizados.

Wagner e Camargo (2006) ressaltam que a crescente necessidade da sociedade de manter e melhorar as condições ambientais exige das autoridades, assim como das empresas públicas e privadas, o desenvolvimento de atividades capazes de adequar o desenvolvimento a exploração dos recursos naturais. A água, é um dos recursos que até a última geração era considerada abundante, e se tornou limitada e comprometida devido à alta poluição em determinadas áreas, e por isso requer rápida recuperação. Nessas circunstâncias, é necessário lidar com os esgotos urbanos, que são hoje a principal fonte de poluição dos mananciais. (WAGNER; CAMARGO, 2006).

3.3 Drenagem

Conforme afirmando por Fontes e Barbassa (2003), a urbanização provoca profundas alterações no uso do solo, que, por sua vez, deixam marcas permanentes na resposta hidrológica das áreas urbanizadas, sendo os efeitos mais notáveis o aumento do escoamento superficial e a redução da infiltração. “Com o aumento da ocupação das terras urbanizadas, que resultaram em ampliação de áreas impermeabilizadas, o destino das águas pluviais sofreu significativas alterações, causando mudanças no ciclo hidrológico natural” (GONÇALVEZ; BAPTISTA; RIBEIRO, 2016).

Como forma de conter os impactos causados pela impermeabilização do solo no ciclo hidrológico, utiliza-se de estruturas de drenagens para o manejo das águas da chuva. O princípio é reduzir os danos promovidos pela impermeabilização do solo, diminuir a velocidade de escoamento superficial, diminuir as vazões de pico e a reduzir o tempo de concentração (GONÇALVEZ; BAPTISTA; RIBEIRO, 2016).

Pompêo (2000), ao abordar sobre as alterações causadas no ciclo hidrológico pelo processo de urbanização, ressalta que:

De uma forma geral, as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d’água devido às chuvas de magnitude elevada. As enchentes em áreas urbanas podem ser decorrentes destas chuvas intensas de longo período de retorno; ou devidas a transbordamentos de cursos d’água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas; ou ainda, devidas à própria urbanização. (POMPÊO, 2000).

O autor ainda destaca que fatores como “o desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural são fatores modificadores que, em muitas situações, resultam simultaneamente em redução de tempos de concentração e em aumento do volume de escoamento superficial, causando extravasamento de cursos d’água.” (POMPÊO, 2000).

A urbanização também leva a temperaturas mais altas. À medida que estradas, asfalto e edifícios substituem a cobertura verde, a evapotranspiração das folhas e do solo diminui. A

superfície impermeável absorve parte da energia solar, aumentando assim a temperatura ambiente. No entanto, à medida que o ar se move, o calor favorece o crescimento da precipitação. Como resultado, alguns centros urbanos tendem a ter mais chuvas do que as áreas vizinhas (ENVOLVERDE, 2021).

3.4 Ilhas de calor e poluição do ar

O fenômeno das ilhas de calor é observado em diversas cidades pelo mundo e ocorrem quando o ar e temperatura são mais quentes em determinada superfície do que as áreas rurais periféricas. As ilhas são comumente formadas em áreas urbanas, devido a existência de grande quantidade estruturas construídas que absorvem e retêm mais calor, diferentemente das áreas rurais onde prevalece áreas vegetadas naturais. (GARTLAND, 2011).

“Uma das consequências resultantes da urbanização mal planejada nas metrópoles e cidades médias brasileiras é o surgimento das ilhas de calor” (DOS SANTOS OLIVEIRA; ESTEVAM, 2019). Dos Santos Oliveira e Estevam (2019) ressaltam que o uso inadequado do solo altera os processos naturais de evaporação e reflexão solar, gerando acúmulo de calor próximo ao solo, que, juntamente com outros fatores relacionados às atividades antrópicas, resultando em locais com desconforto térmico.

As temperaturas do ar em centros urbanos são mais elevadas em decorrência da absorção de calor pela superfície. As ilhas de calor apresentam ar mais quente em uma camada de ar de até 2.000 m de altura, ocasionando a formação de colunas de ar quente sobre as cidades, e comumente as inversões de temperatura causadas por elas (GARTLAND, 2011).

Gartland (2011) ainda descreve os fatores que favorecem a ocorrência do fenômeno:

A primeira é que a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque, e por essa razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion absorve e armazena mais energia solar. A temperatura de superfícies escuras e secas pode chegar a 88°C durante o dia, ao passo que superfícies com vegetação e solo úmido sob as mesmas condições chegam a atingir apenas 18°C. O calor antropogênico, ou produzido pelo homem, menores velocidades do vento e poluição do ar em áreas urbanas também contribuem para a formação de ilhas de calor (Gartland, 2011).

Assim como as ilhas de calor, a inversão térmica é outro fenômeno climático ocasionado pelos processos da urbanização e industrialização. A inversão térmica ocorre basicamente pela presença de ar frio próximo da superfície, uma camada de ar quente acima, e ar mais frio no topo. Com a inversão térmica, a camada de ar frio próxima à superfície favorece a concentração de poluentes atmosféricos e interrompe circulação do ar, evitando a dispersão das partículas poluentes.

Gartland (2011) ainda ressalta que as ilhas de calor provocam impactos negativos e influenciam na qualidade de vida das pessoas. Além de pequenos desconfortos, o fenômeno eleva a temperatura e causa aumento na poluição do ar e seus efeitos são sentidos tanto na saúde da população quanto na fauna e flora urbanas. Em concordância com Gartland, Werneck (2019) ressalta que “Os efeitos negativos da ilha de calor se manifestam desde aumento da demanda

de energia para resfriamento, custos com ar condicionado, poluição do ar, emissões de gases de efeito estufa até doenças relacionadas com calor e mortalidade” (WERNECK, 2019).

3.5 Resíduos sólidos urbanos

Segundo Phillipi Jr. e Aguiar (2005), o processo de urbanização trouxe com ele o consumo crescente de produtos não duráveis, provocando o aumento de lixo com volumes equivalentes a três vezes o crescimento populacional. Siqueira e Moraes (2009) destacam que “com o processo de industrialização, com a crescente concentração populacional urbana e o incentivo ao consumo como características básicas da sociedade moderna, os problemas sociais, ambientais e de saúde pública se agravam”.

No que tange a gestão de resíduos sólidos, existe inúmeras leis e normas aplicáveis no Brasil. No entanto, a principal é a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Desde a sua criação, a referida lei tornou-se um importante instrumento para a área ambiental, apresentando objetivos, princípios, estratégias e dispositivos para a gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos (PNRS, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) define resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (PNRS, 2010).

A PNRS de 2010 ainda caracteriza todo resíduo que não apresente possibilidades de tratamento e recuperação, como rejeito (PNRS, 2010).

No art. 13º da PNRS de 2010 os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são classificados quanto a sua origem, sendo resíduos domiciliares aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana que são os originários da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (PNRS, 2010).

Segundo Mucelin e Bellini (2008), os impactos ambientais negativos dos resíduos urbanos incluem aqueles causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos nos fundos de vales, ao longo das ruas ou nos cursos d’água. As práticas habituais de descarte podem levar, entre outras coisas, a poluição da água, assoreamento, inundações e disseminação de doenças. Soma-se ainda a poluição visual, maus cheiros e poluição ambiental.

Siqueira e Moraes (2009) discutem que “Os resíduos sólidos urbanos gerados pela sociedade em suas diversas atividades resultam em riscos à saúde pública, provocam degradação ambiental, além dos aspectos sociais, econômicos e administrativos envolvidos na

questão”. Dessa forma, é essencial propor soluções que apoiam a redução da disposição final de resíduos sólidos, mesmo que de forma ambientalmente correta.

3.6 Uso e ocupação desordenada

A ocupação desordenada é um fenômeno geográfico e social que ocorre quando os seres humanos ocupam uma determinada área ou certo lugar de maneira não planejada, de modo desorganizado (FIORILLO, 2013). De acordo com Martins (2019), a urbanização no Brasil deu-se de forma rápida e desordenada passando de um país predominantemente agrícola para um país urbano. O descompasso entre o planejamento urbano e o êxodo rural em massa, desencadeou graves consequências para a qualidade de vida das cidades e seus habitantes que repercutem até os dias atuais. A urbanização gera, assim, um amplo processo de demanda e exclusão, manifestado em desequilíbrios locais, regionais, urbano-rurais e urbanos.

Como aborda Lima et al (2012) “as várias formas de apropriação do espaço pelo homem desencadearam uma ocupação desordenada e muitas vezes irracional, rompendo o equilíbrio entre as potencialidades ambientais e as necessidades da população, trazendo consequências negativas para a vida do homem e do ambiente”.

No Brasil, os principais fenômenos associados aos desastres naturais são derivados das dinâmicas externas da terra, como inundações, enchentes, movimento de massas e tempestades que, geralmente estão associadas as chuvas intensas e prolongadas.

O crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem o adequado planejamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres. (TOMINAGA, 2007).

Os deslizamentos são agravados pelo crescimento desordenado das cidades e as ocupações de áreas de risco, geralmente por populações de baixa renda. A adoção de técnicas inadequadas para corte das encostas, descarte de resíduos, infiltrações de fossas, remoção descontrolada da cobertura vegetal e descarga de águas residuais são fatores que agravam a sua ocorrência. (OLIVEIRA et al, 2013)

A problemática ambiental urbana, quanto às áreas de risco e movimentação de massa ou escorregamentos de solo, é intensificada por situações de descumprimento das leis ambientais brasileiras, das leis de ocupação de solo, por meio da intensificação da magnitude dos agentes naturais e por outras ações antrópicas bem como por causas sociais.

Para Carvalho (2015) as áreas naturalmente mais vulneráveis a ocupação passa a apresentar problemas crônicos com uma repercussão negativa para os ecossistemas e para as populações

de baixo poder aquisitivo que as ocupam (CARVALHO, 2015). Geralmente, as discussões sobre a degradação ambiental concentram-se nas grandes cidades onde o impacto da urbanização nos ecossistemas leva a uma degradação severa dos recursos naturais. No entanto, percebe-se que mesmo em cidades de pequeno e médio porte existe uma situação crítica de falta de planejamento urbano. (MOURA, 2019).

3.7 Gestão das águas urbanas

As perspectivas de longo prazo no aproveitamento dos recursos hídricos e o equilíbrio entre alternativas de expansão de capacidade e gestão da demanda são atributos fundamentais da gestão integrada de recursos hídricos. (SILVA, PORTO, 2003). Essa abordagem sobre a gestão de recursos hídricos busca superar os desafios enfrentados pela escassez e degradação dos recursos hídricos, garantindo a sustentabilidade e o uso eficiente destes.

Para Tundisi (2008), a gestão integrada dos recursos hídricos envolve a coordenação de diferentes setores e partes interessadas para garantir a utilização sustentável e equitativa, baseando-se na compreensão de que a água é um recurso finito e interligado, e que as decisões relacionadas ao seu uso devem considerar não apenas as necessidades imediatas, mas também os impactos em longo prazo e as necessidades futuras.

Schuler et al (2018), ao discursar sobre a gestão integrada dos recursos hídricos, apresentam que:

Para implementar a gestão integrada, é necessário o desenvolvimento de um ambiente adequado, com legislação, políticas e planos de gestão, além do estabelecimento de uma infraestrutura institucional onde os instrumentos de gestão, as regras de funcionamento e os papéis dos diferentes atores estejam bem definidos. (SCHULER et al, 2018)

Nesse contexto, a gestão enfatiza a importância da conservação da água, do controle da poluição, do gerenciamento de bacias hidrográficas e da participação da comunidade, buscando encontrar um equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, promovendo a eficiência no uso, a proteção dos ecossistemas aquáticos e a equidade no acesso aos recursos hídricos (SCHULER et al, 2018).

O planejamento não pode considerar apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também os aspectos sociais, ambientais e institucionais. “Deste modo, destaca-se que para que a gestão seja efetiva, esta deve ser desenvolvida de forma integrada, considerando todos os aspectos físicos, sociais e econômicos localizados na área de sua bacia hidrográfica” (CARVALHO, 2020). Isso envolve a colaboração entre diferentes atores, incluindo governos,

comunidades locais, setor privado e organizações não governamentais, visando uma tomada de decisão mais informada e participativa.

A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos é um processo que visa promover o gerenciamento coordenado da água, da terra e de outros recursos relacionados, com o objetivo de maximizar tanto os aspectos econômicos quanto o bem-estar social, de maneira equilibrada, sem comprometer o ecossistema. Esse processo envolve o desenvolvimento de normas, políticas e a realização de análises físicas e socioeconômicas, além da coleta de dados em nível global e regional. Esses mecanismos fornecem um instrumento essencial para os tomadores de decisão no que diz respeito ao uso dos recursos hídricos (SILVA, 2015).

Silva (2015) ainda ressalta que a formulação de normas e políticas na gestão integrada dos recursos hídricos é embasada nas características físicas, econômicas, sociais e ambientais. Esse enfoque busca promover a gestão integrada por meio da delimitação da bacia hidrográfica como unidade de gestão. Dessa forma, são planejadas ações descentralizadas e participativas, envolvendo usuários, governantes e a população civil, englobando todos os interessados e afetados pela gestão dos recursos hídricos em uma determinada bacia (SILVA, 2015).

3.8 Uso do Sensoriamento Remoto no planejamento de centros urbanos

O sensoriamento remoto – um conceito introduzido no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruitt e sua equipe – representa uma das tecnologias mais eficazes de coleta automática de informações para mapear e monitorar os recursos terrestres em escala global (MENESES et al., 2012).

Ao longo da história, o termo "Sensoriamento Remoto" foi cunhado para descrever a evolução da tecnologia de instrumentos capazes de capturar imagens da superfície terrestre a partir de longas distâncias. Portanto, a definição mais tradicional do sensoriamento remoto é: “Técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto”. (MENESES et al., 2012).

Segundo Meneses (2012), a principal condição para o sensoriamento remoto é que o sensor esteja distante do objeto, permitindo uma definição científica baseada nos seguintes princípios específicos:

- i) Exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor;
- ii) Consequência: a informação do objeto é possível de ser transportada pelo espaço vazio;

- iii) Processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço.

Para Kurkdijan (1993), a aplicação do Sensoriamento Remoto na gestão das áreas urbanas desempenha um papel fundamental no planejamento urbano, fornecendo informações valiosas para análises.

Basicamente, as aplicações de Sensoriamento Remoto ao Planejamento Urbano dão-se em duas linhas: a primeira, voltada ao conhecimento e ação sobre o sistema urbano em geral em sua relação com os espaços municipal e regional mais amplos; a segunda, voltada aos estudos intraurbanos. Esta última, mais sujeita as restrições da resolução espacial dos produtos orbitais. (KURKDIJAN, 1993).

No âmbito do planejamento de centros urbanos, o sensoriamento remoto desempenha um papel crucial ao fornecer informações detalhadas sobre o uso da terra, características físicas e infraestrutura urbana (BARBOSA, 2019).

O sensoriamento remoto desempenha um papel importante na identificação de áreas com problemas de infraestrutura. Por meio da captura de imagens e dados geoespaciais, é possível identificar diferentes zonas e áreas funcionais como áreas residenciais, comerciais e industriais. Essa classificação e delimitação das áreas urbanas permitem uma compreensão mais precisa da distribuição espacial e das dinâmicas de uso do solo.

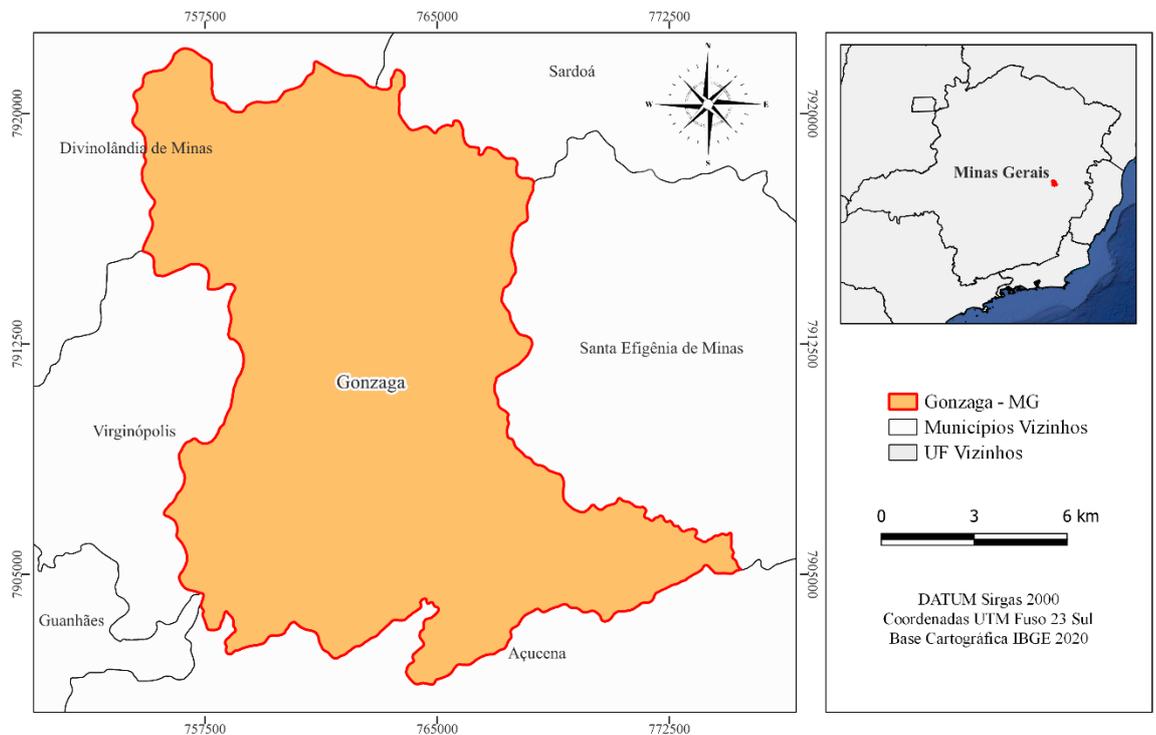
Essas informações auxiliam os planejadores urbanos a identificar as áreas que requerem intervenção prioritária e a desenvolver estratégias para melhorar a qualidade de vida dos moradores e otimizar o funcionamento da cidade. (KURKDIJAN, 1993).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A cidade de Gonzaga está localizada a 86,7 km de Governador Valadares e 312 km da capital mineira, Belo Horizonte. O município é composto por dois distritos, sendo a sede Gonzaga e Conceição da Brejaúba. Sua posição é determinada pelas coordenadas 18°49'22.44"S de Latitude e 42°28'42.19" O de Longitude e sua área total corresponde a 209,348 km², sendo limitada pelos municípios de Divinolândia de Minas, Santa Efigênia de Minas, Guanhães, Sardoá, Açucena e Virgíópolis (IBGE, 2021) (Figura 1 - Localização do município de Gonzaga em relação a Minas Gerais..

Figura 1 - Localização do município de Gonzaga em relação a Minas Gerais.



Elaboração: O próprio autor, 2023.

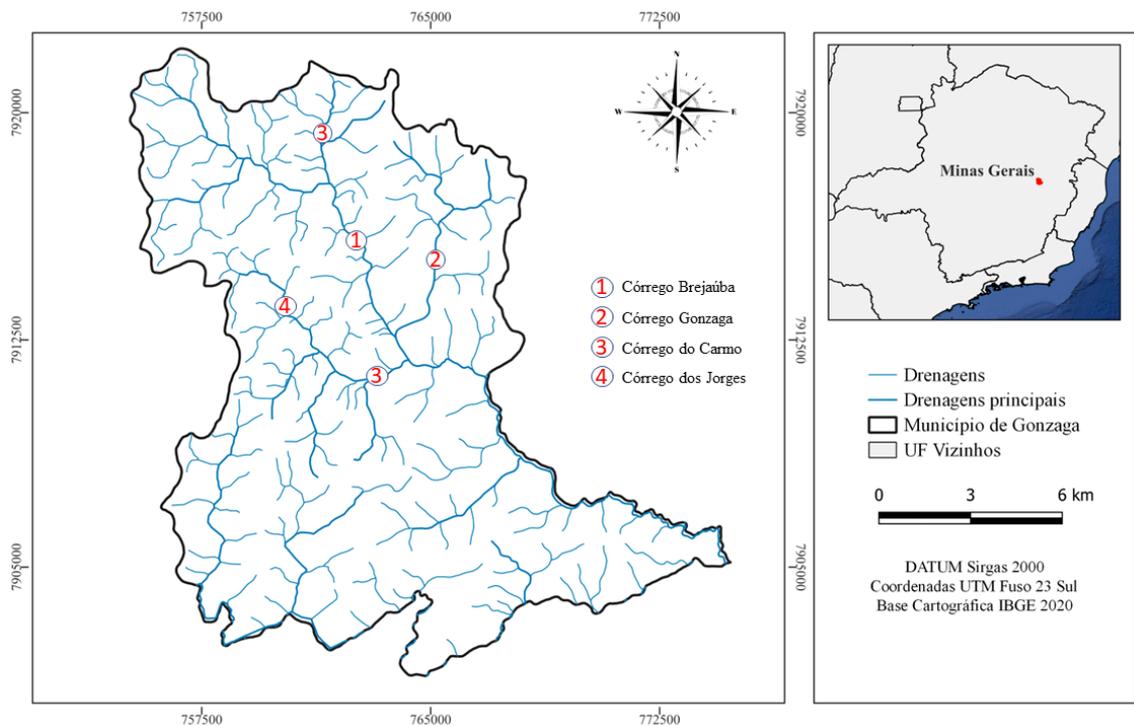
De acordo com o censo populacional realizado no ano de 2010, Gonzaga possui um total de 5.921 habitantes para o município, sendo 3.239 habitantes em área urbana, e 2.682 habitantes em área rural (IBGE, 2010). Para o ano de 2021, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimou que a população residente seria de 6.184 (IBGE, 2021). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de Gonzaga foi de 0,606, valor enquadrado no Índice de Desenvolvimento Humano Nacional Médio.

Em 2019, o Produto Interno Bruto (PIB) do município foi de aproximadamente R\$54 milhões de reais, e o PIB per capita de R\$8.826,64 (PIB correspondente ao décimo maior da

microrregião). As principais atividades econômicas são: Agropecuária; Indústria; Serviços (Exclusive - Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social) e Serviços (Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social), representando respectivamente 7,1%, 5,3%, 29,8% e 57,8% do PIB do município.

O município de Gonzaga é drenado pela Bacia Hidrográfica do Rio Suaçuí, e outras bacias hidrográficas de menor extensão territorial tais como o Córrego Brejaúba, dos Jorges, do Carmo e Gonzaga (Figura 2). Estas bacias hidrográficas são importantes mananciais para a cidade, distrito/comunidades e vilas de Gonzaga. (Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Gonzaga – MG, 2016).

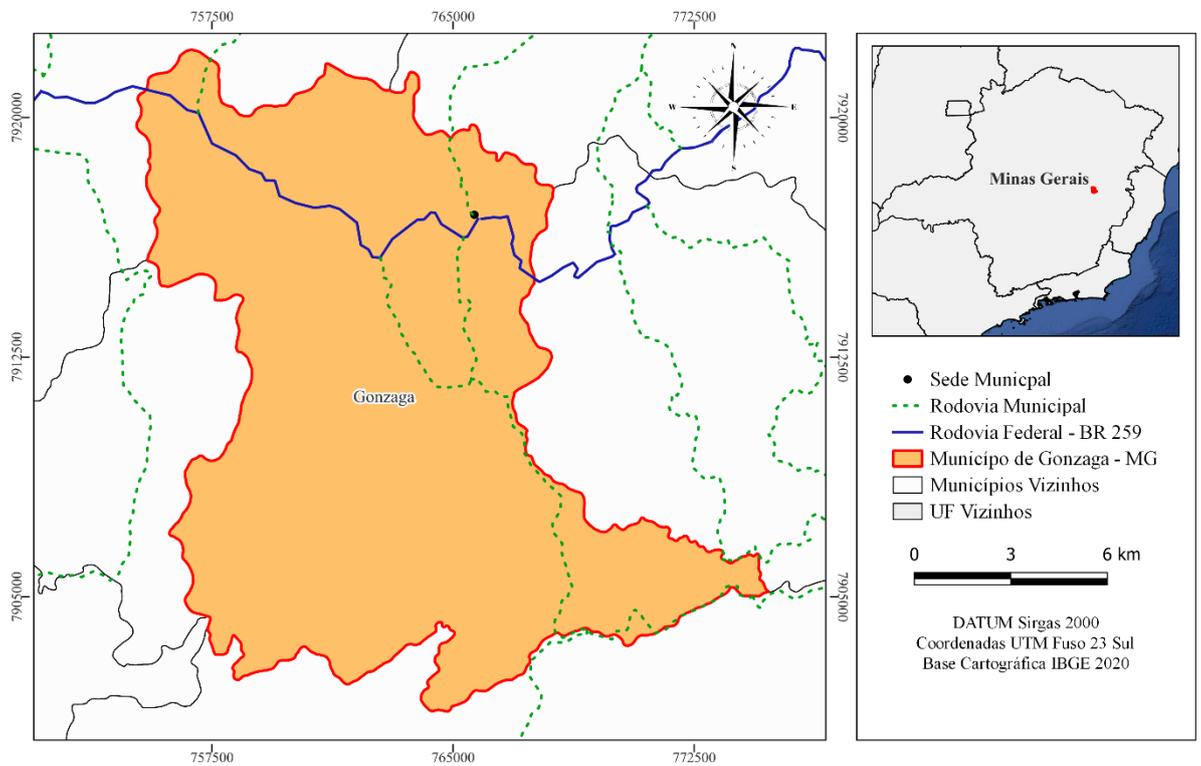
Figura 2 - Mapa de hidrografia do município de Gonzaga



Elaboração: O próprio autor, 2023.

A rodovia BR 259, que integra o estado do Espírito Santo a Minas Gerais, é a principal via de acesso à cidade (Figura 3), é um importante corredor para acesso à capital mineira. A maioria das rodovias municipais, que são os principais acessos às comunidades rurais, não são pavimentadas e, poucas delas se encontram em obras de pavimentação.

Figura 3 - Principais rodovias do município



4.2 Caracterizar a expansão urbana na sede municipal de Gonzaga

Para caracterização da expansão da área urbana do município, foram utilizadas as camadas *rasters* disponibilizadas pelo MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>), com resolução espacial de 30m, para os anos de 1990, 2005 e 2021, priorizando as alterações ocorridas na dimensão espacial que se deram no intervalo entre os anos. As camadas *rasters* “Mapas de Uso e Cobertura da Terra, Transições e Qualidade do Mosaico” contendo dados de uso e ocupação do solo foram obtidas pelo *Google Earth Engine* (GEE, <https://code.earthengine.google.com/>).

O MapBiomas é um projeto criado pelo Observatório do Clima, em colaboração com uma rede multi-institucional composta por universidades, ONGs (Organização não governamental) e empresas de tecnologia. Seu principal objetivo é realizar o mapeamento anual da cobertura e do uso da terra no Brasil, além de monitorar as mudanças territoriais ao longo do tempo. Ao acessar o site do MapBiomas, na seção “Downloads”, “Mapa das Coleções” e em seguida “Mapas de Uso e Cobertura da Terra, Transições e Qualidade do Mosaico” foram obtidos os dados necessários para a área de estudo.

Para o *download* das geometrias desejadas utilizou-se o *toolkit* “lulc.js” disponibilizado pelo Mapbiomas e preparados no GEE. Identificou-se a área de estudo para baixar os dados de uso e ocupação do solo por meio de um polígono do município de Gonzaga que está disponível na interface do GEE. Após selecionar o *toolkit*, o *script* foi executado clicando no botão "Run" no Code Editor. O GEE processou o *script* e os dados de uso e ocupação do solo para os anos de 1990, 2005 e 2021 foram processados. Com o processo concluído, exportou-se os dados matriciais e, em seguida, as imagens *rasters* foram convertidas para arquivos vetoriais (*shapefiles*). Posteriormente, as manchas urbanas foram obtidas e trabalhadas no *software Quantum Gis (QGIS) Desktop 3.22.9*.

Para a caracterização da declividade da área de estudo, foi utilizado a imagem *raster* 18S435SN do projeto Topodata (disponível em <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>). O projeto Topodata é responsável por disponibilizar acesso gratuito aos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) e a outros arquivos *raster* derivados, abrangendo todo o território brasileiro (Valeriano, 2005). O projeto representa um avanço na disponibilidade dos dados do Modelo de Digital de Elevação (MDE) e geomorfométricos.

O *software* QGIS também foi utilizado para o armazenamento, organização, quantificação e produção dos mapas e, posteriormente, apresentação dos dados produzidos por meio de figuras e tabelas para uma melhor compreensão do trabalho.

4.3 Determinação da área de superfície impermeável para a área de estudo

Para caracterização da superfície impermeável da área urbana do município, foram utilizadas imagens do Landsat 5 de 08/02/1990 e 27/06/2005 e Landsat 8 de 21/09/2021, todas com resolução espacial de 30m. As imagens do foram obtidas no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e escolhidas em períodos que se observou menor cobertura de nuvens, aceitando até 50% de cobertura que não sobrepuseram o município em análise, e também imagens com qualidade entre 5 e 10.

Antes de serem utilizadas, as imagens de sensoriamento remoto passaram por um pré-processamento. A correção atmosférica das imagens do Landsat 5 foi feita utilizando o método *Digital Number to Radiance* de Chander e Markham (2003), que se baseia na conversão manual utilizando a calculadora raster do QGIS. Já a correção atmosférica das imagens do ano de 2021 (obtida do Landsat 8) foi realizada utilizando o método *Dark Object Subtraction*, inicialmente proposto por Chavez (1988) e que foi melhorado por Chavez (1996).

Em seguida, as imagens foram recortadas para o município de Gonzaga. De posse das imagens pré-processadas, foram direcionadas para a caracterização da superfície impermeável da área urbana.

Para caracterização da superfície impermeável da área urbana foi utilizado o índice *Impervius Surface Area* (ISA), proposto por Carlson e Arthur (2000). A área de superfície impermeável (ISA) constitui a fração de um pixel para a qual a superfície não pode evaporar a água nem permitir que a água da chuva penetre (Carlson e Arthur, 2000). Este índice faz relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a fração de cobertura vegetal para se chegar ao ISA. Assim, o primeiro passo para determinar a área de superfície impermeável foi o cálculo do NDVI, conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (Eq. 1)$$

Sendo NIR, a banda do infravermelho próximo e RED, a banda do vermelho. Em seguida, procede-se o cálculo do ISA, conforme a Equação 2 (Carlson e Arthur, 2000):

$$ISA = \left[1 - \left(\frac{NDVI - NDVI_O}{NDVI_S - NDVI_O} \right)^2 \right]_{dev} \quad (Eq. 2)$$

Onde os subscritos *S* e *O* são, respectivamente, os valores para região com vegetação densa e solo exposto e o subscrito *dev* indica que o ISA é definido apenas para regiões classificadas como desenvolvidas.

Nesse trabalho, o ISA foi calculado para os anos de 1990, 2005 e 2021 para a sede municipal do município de Gonzaga e, com base no ISA e na classificação de cobertura do solo, foram estimadas as áreas de superfície impermeável (em quilômetros quadrados) dessa região de estudo.

Para obter dados que permitissem uma avaliação quantitativa das alterações, foi conduzida uma reclassificação do índice ISA utilizando a ferramenta *reclassificação por tabela* do QGIS. Os parâmetros utilizados nessa reclassificação envolveram a divisão das faixas de porcentagem em quatro intervalos distintos, que foram então renomeados de acordo com as classes estabelecidas com base na porcentagem de permeabilidade definida em cada intervalo. A Tabela 2 apresenta os parâmetros empregados nesse processo de reclassificação, fornecendo uma visão mais detalhada das classes atribuídas e das respectivas porcentagens de permeabilidade correspondentes. Essa abordagem permitiu uma análise mais precisa das mudanças ocorridas no solo impermeabilizado ao longo do tempo, fornecendo dados quantitativos para a compreensão dessas alterações.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA

Intervalo de impermeabilidade	Valor de reclassificação	Classe final
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Permeabilidade total
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Permeabilidade alta
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Permeabilidade baixa
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Impermeabilidade total

Elaboração: O próprio autor, 2023

4.4 Impacto da expansão da área urbana no escoamento superficial

A área de superfície impermeável é um indicador chave no contexto de desenvolvimento urbano e compreender essa característica das cidades pode servir como insumo para modelos ambientais que nos auxiliam a compreender como os componentes do ciclo hidrológico são afetados pela expansão urbana.

Um método clássico de investigação do comportamento da infiltração e do escoamento superficial é o método do número da curva (CN), criado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (SCS). Por esse método, o Escoamento Superficial (Q) é calculado pela Equação 3:

$$Q = \frac{\left[P - 0,2 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2}{\left[P + 0,8 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]} \quad (Eq. 3)$$

Onde Q é o escoamento superficial, P é a taxa de precipitação e CN é a curva numérica de escoamento, que é uma descrição quantitativa da cobertura ou das condições do solo que afetam o escoamento superficial, estimada por meio da tabela do SCS (WENG, 2001). Assim como Gutierrez et al. (2011), nesse trabalho a porcentagem da área de superfície impermeável (ISA) foi utilizada em substituição ao dado das curvas numéricas de escoamento (CN). Foi feito a simulação para uma chuva de 100 mm para os cenários de uso do solo de 1990, 2005 e 2021 a fim de compreender o impacto da expansão da área urbana no município de Gonzaga.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros empregados nesse processo de reclassificação, fornecendo uma visão mais detalhada das classes atribuídas e das respectivas porcentagens de permeabilidade correspondentes. Essa abordagem permitiu uma análise mais precisa das mudanças ocorridas ao longo do tempo, fornecendo dados quantitativos para a compreensão dessas alterações.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da precipitação efetiva total (PEFT)

Intervalo de escoamento	Valor de reclassificação	Classe final
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Infiltração total
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Baixo escoamento
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Alto escoamento
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Escoamento total

Elaboração: O próprio autor, 2023

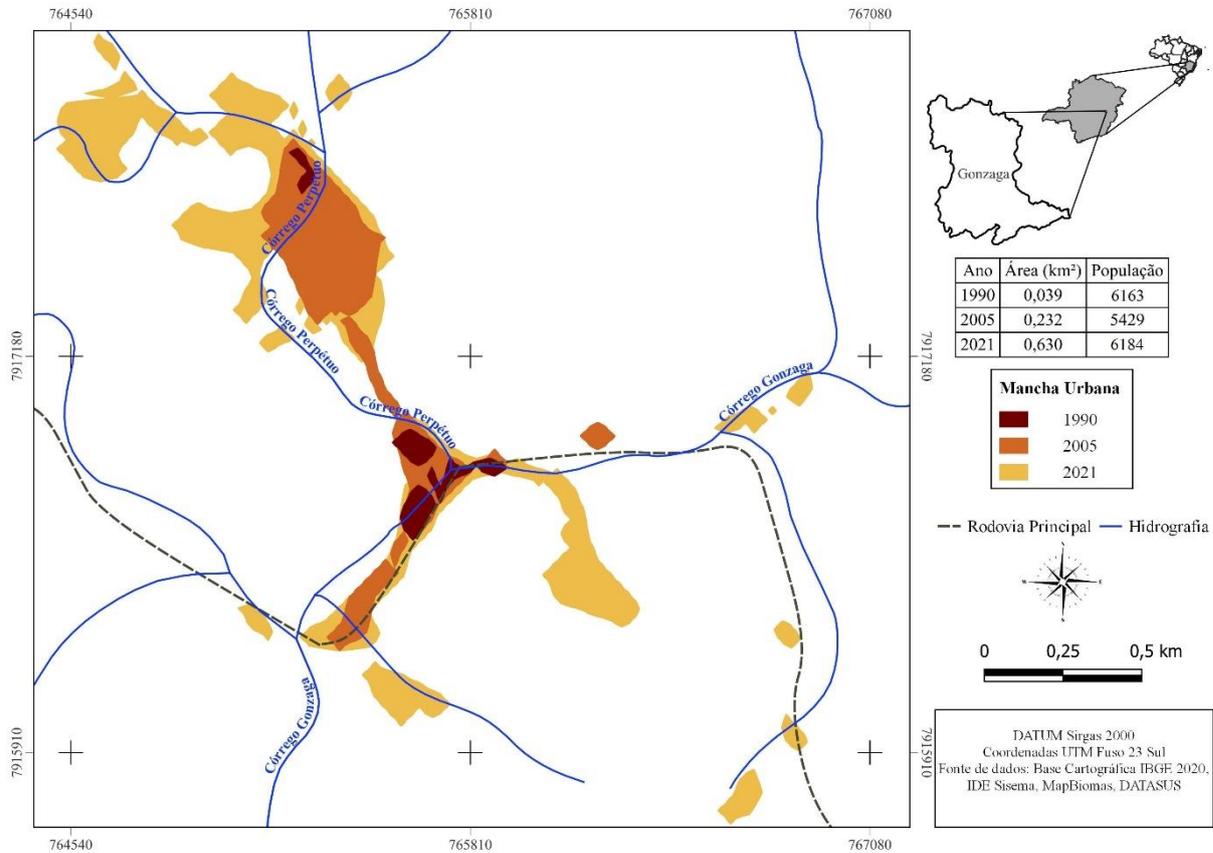
Dessa forma, foi possível realizar uma análise quantitativa da área ocupada por cada intervalo de escoamento, permitindo a determinação das variações ao longo dos anos estudados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da expansão urbana na sede municipal de Gonzaga

Na Figura 4 está apresentado o crescimento urbano da sede do município de Gonzaga nos anos de 1990, 2005 e 2021. Em 1990 (cor vermelha), a área urbana concentrava-se praticamente apenas na confluência dos Córregos Perpétuo e Gonzaga. Nesse ano, o município de Gonzaga possuía 6.163 habitantes (2.588 habitantes na zona urbana de acordo com o Censo Populacional 1991- IBGE, 2023) e a área da mancha urbana era de 0,039 km². Já no ano de 2005 (cor laranja), a expansão urbana direcionou-se predominantemente para a parte esquerda do mapa, sendo essa uma zona de maior expansão com o passar dos anos. Em 2005, Gonzaga possuía 5.429 habitantes (Datusus, 2023) e, mesmo havendo redução de 11% na população total do município, a mancha urbana da sede do município atingiu a área de 0,232 km². Por outro lado, na parte direita do mapa, houve menor expansão do centro urbano até o ano de 2005 e, a partir de 2021 (cor amarela), a ocupação urbana intensificou-se, estendendo-se para além da área central e atingindo regiões adjacentes. Em 2021, Gonzaga possuía 6.148 habitantes (IBGE, 2023) e a área urbana da sede do município era de 0,630 km².

Figura 4 - Mapa de Expansão da Mancha Urbana de Gonzaga - MG de 1990 a 2021

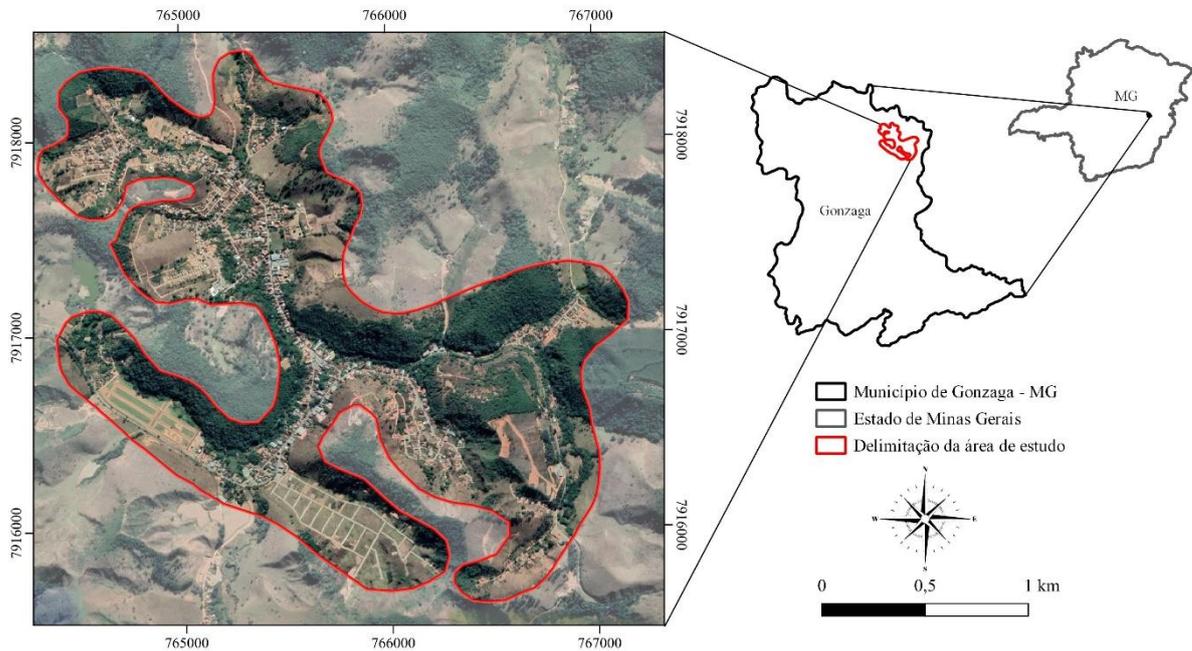


Elaboração: O próprio autor, 2023

Destaca-se que expansão da sede urbana ocorre ao redor dos Córregos Perpétuo e Gonzaga, que são os responsáveis pela drenagem do centro urbano e desaguam no Rio Doce, em Governador Valadares. “A água como recurso à viabilidade da vida no planeta já tem se tornado, talvez, a questão de maior peso geopolítico que o século XXI está enfrentando com grau crescente de importância, considerando o elevado grau de urbanização do mundo” (DA SILVA, 2015).

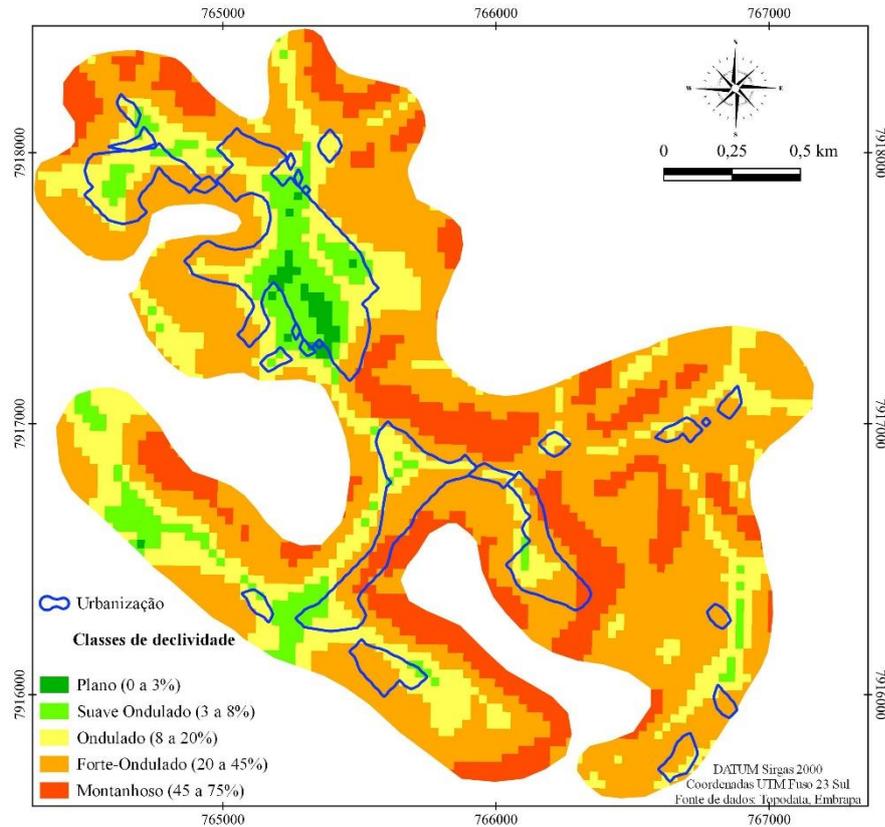
Para proceder a análise do impacto da expansão urbana no escoamento superficial da sede municipal de Gonzaga, foi feita a delimitação da área de estudo de forma manual, com base nos resultados da expansão apresentada na Figura 4. Obteve-se como resultado um polígono que represente a área urbanizada e uma pequena parcela de seu entorno, compreendendo uma área total de 3,948 km² (Figura 5).

Figura 5 - Área urbanizada do município de Gonzaga - MG



Elaboração: O próprio autor, 2023

Algumas das análises possíveis sobre a expansão urbana da sede municipal de Gonzaga são quanto a declividade e a transição do uso do solo. A Figura 6 é resultado da reclassificação da declividade da área de estudo de acordo com Embrapa (1979), tornando possível a quantificação da área ocupada para cada intervalo de declividade (Tabela 4).

Figura 6 - Declividade da área de estudo

Elaboração: O próprio autor, 2023

Tabela 4 - Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da declividade

Intervalo de declividade (%)	Valor de reclassificação	Classe final	Área de estudo (km ²)	Área urbanizada em 2021 (km ²)
$(0 \leq x \leq 3)$	1	Plano	0,033	0,028
$(3 \leq x \leq 8)$	2	Suave Ondulado	0,259	0,133
$(8 \leq x \leq 20)$	3	Ondulado	0,760	0,216
$(20 \leq x \leq 45)$	4	Forte-Ondulado	2,127	0,228
$(45 \leq x \leq 75)$	5	Montanhoso	0,524	0,019
Total			3,704	0,623

Elaboração: O próprio autor, 2023

A área de estudo é composta pelas seguintes subdivisões: 0,033 km² de áreas planas, 0,259 km² de áreas suavemente onduladas, 0,760 km² de áreas onduladas, 2,127 km² de áreas fortemente onduladas e 0,524 km² de área montanhosa. Em termos percentuais, 0,89% são áreas

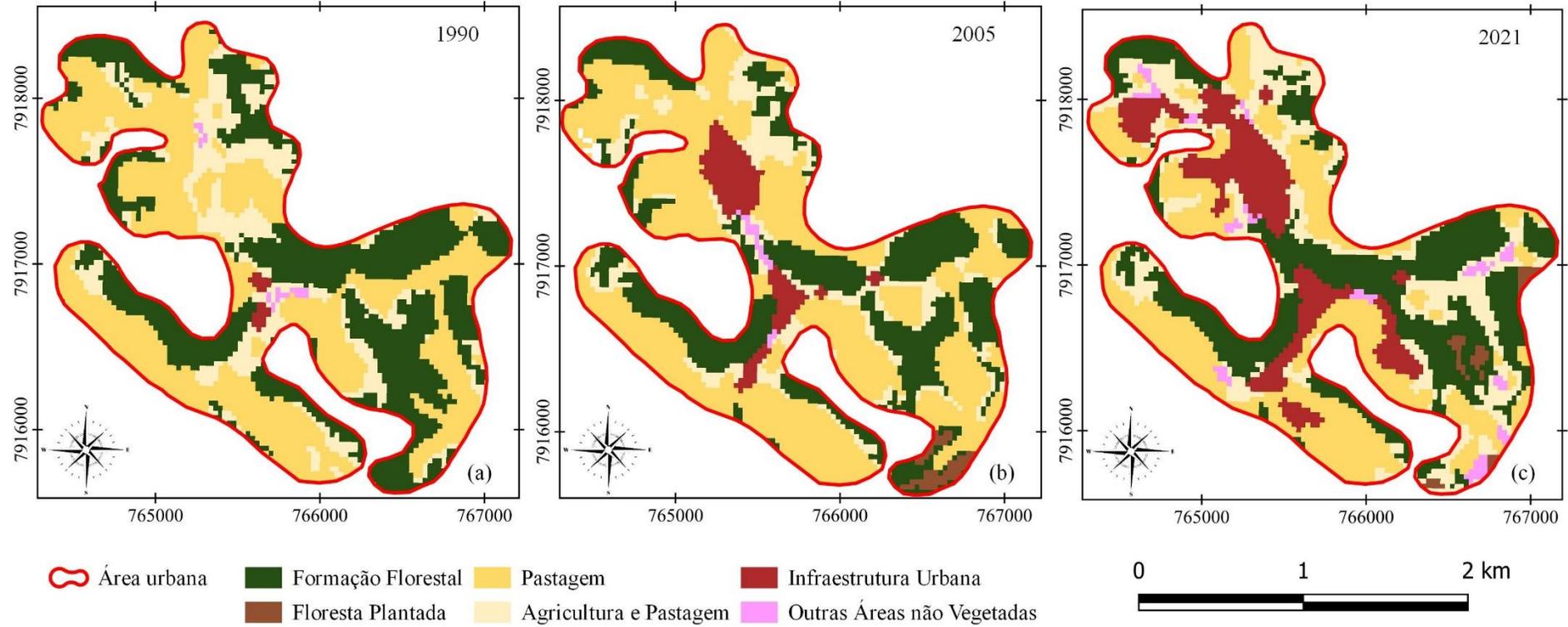
planas, 6,99% são suavemente onduladas, 20,52% são onduladas, 57,44% são fortemente onduladas e 14,15% são áreas montanhosas.

Observa-se que a configuração urbana atual concentra-se principalmente em áreas forte onduladas com 0,228 km², áreas suavemente onduladas com 0,216 km² e, em terceiro lugar, áreas suave onduladas com 0,133 km² do território. Por outro lado, as áreas planas e montanhosas possuem menor representação, correspondendo a apenas 0,028 km² e 0,019 km², respectivamente.

Quanto a tendência de transição de uso do solo, na Figura 7 está ilustrado o crescimento da cidade e percebe-se uma tendência marcante ao longo dos anos de estudo, na qual a configuração urbana expandiu-se de forma predominante sobre áreas que antes eram utilizadas como pastagens e para atividades agrícolas.

A expansão urbana para essas áreas pode ser atribuída a diversos fatores, como o desenvolvimento econômico e a busca por melhores oportunidades de trabalho e infraestrutura. Conseqüentemente, essas áreas que antes eram destinadas à produção agropecuária e pastagens passaram a ser gradualmente ocupadas por residenciais ou empreendimentos comerciais. O processo de ocupação urbana pode trazer conseqüências significativas para o meio ambiente e a paisagem.

Figura 7 - Uso e ocupação do solo em (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021



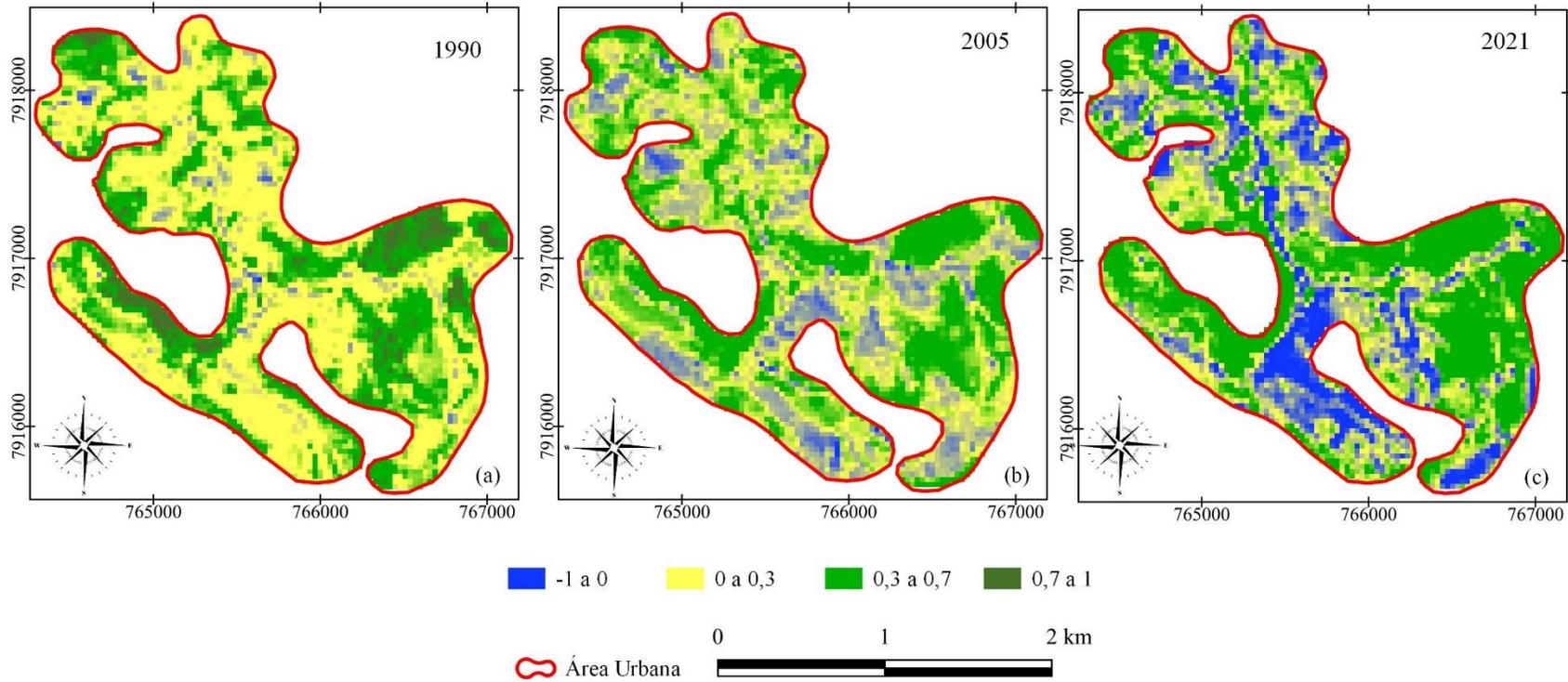
Elaboração: O próprio autor, 2023

Determinação da área de superfície impermeável para a área de estudo

5.1.1 Índice NDVI

Na Figura 8 estão apresentados os valores de NDVI para a área de estudo nos anos de 1990, 2005 e 2021. Observa-se a redução dos valores de NDVI das áreas com cobertura vegetal frente à expansão da área urbana municipal. Tal redução pode ser visualizada por toda a extensão territorial da área de estudo, com maior destaque nas regiões nordeste, sul e sudoeste.

Figura 8 - NDVI da área urbana do município de Gonzaga - MG para os anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021



Elaboração: o autor, 2023

O índice NDVI é uma ferramenta amplamente empregada na estimativa de biomassa, na avaliação da cobertura vegetal e na detecção de mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo.

Por meio do NDVI, é possível determinar a densidade da fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área. Quanto maior esse índice de vegetação, maior será a densidade da fitomassa verde. Em outras palavras, o NDVI é um indicador sensível que nos permite avaliar a quantidade e a densidade de vegetação saudável presente em uma determinada região (ARAI et al., 2001).

O NDVI apresenta uma variação de -1 a 1, onde -1 indica a completa ausência de reflectância no infravermelho, 0 corresponde à ausência de clorofila, e 1 representa uma elevada concentração de folhas verdes. Essa escala do NDVI permite avaliar a saúde e a densidade da vegetação em uma determinada área, sendo que valores mais próximos de 1 indicam uma vegetação mais saudável e densa, enquanto valores mais próximos de -1 podem indicar áreas com pouca ou nenhuma vegetação (TERAMOTO et al., 2018).

No ano de 1990, foram obtidos valores de NDVI que variaram de -0,800 a 0,740. Os valores negativos foram encontrados em regiões com corpos d'água superficiais. Valores maiores ou iguais a zero e menores que 0,3 foram encontrados em superfícies rochosas ou outras coberturas não vegetadas. Valores acima dos 0,3 foram encontrados em regiões com cobertura vegetal – atingindo o valor máximo de 0,740 para representação de vegetação.

Em 2005, os valores do NDVI obtido variaram de -0,840 a 0,583. Ao comparar com os valores do ano de 1990, nota-se a redução do NDVI não tendo sido classificadas faixas que se caracterizam como vegetações densas. Para esse ano, valores acima de 0,275 foram encontrados em regiões com cobertura vegetal – atingindo o valor máximo de 0,583.

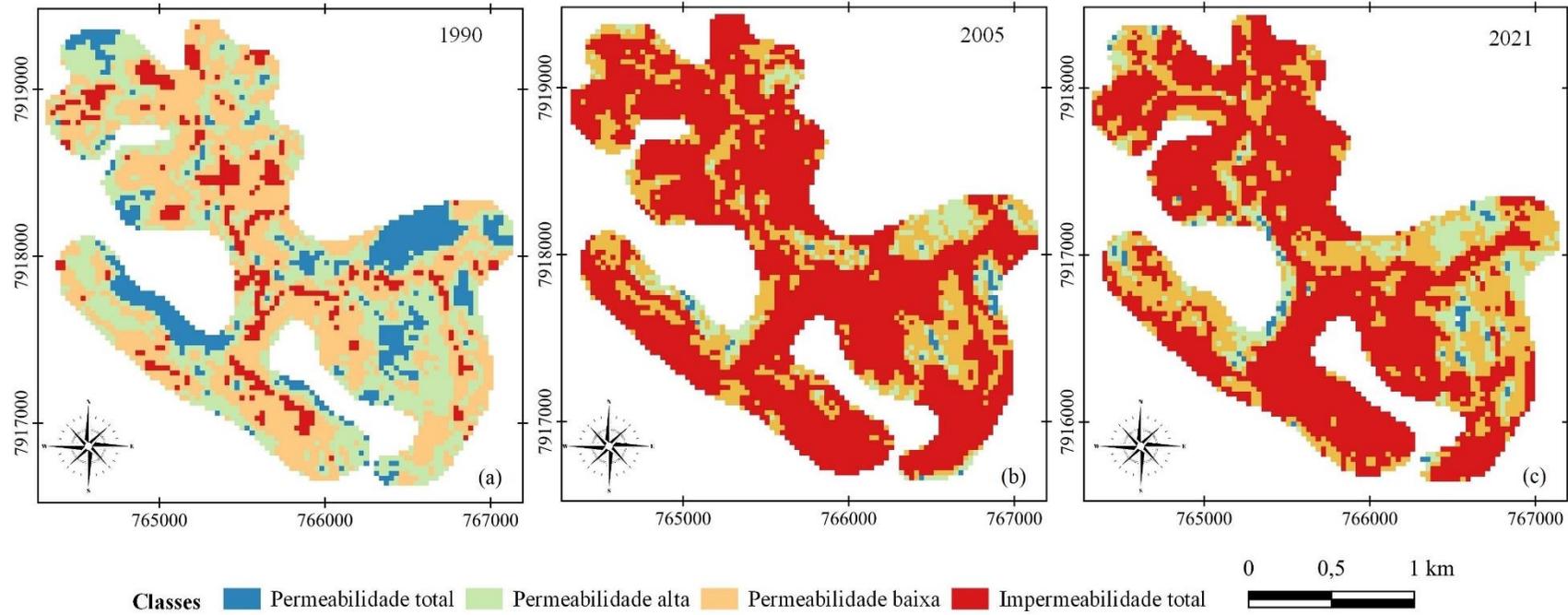
Já para o ano de 2021, os valores do NDVI obtido variaram de -0,874 a 0,253. Os valores negativos (com valor mínimo de -0,874) foram encontrados em regiões de região urbana, na faixa de -0,874 a -0,479. Já valores acima dos 0,186 foram encontrados em regiões com cobertura vegetal – atingindo o valor máximo de 0,253. Assim como em 2005, não houve classificação das áreas de vegetação densa.

5.1.2 Índice ISA

O índice de área impermeável possui valores que variam de áreas completamente permeáveis (0% de impermeabilidade) a áreas totalmente impermeáveis (100% de impermeabilidade), conforme pode ser verificado na Figura 7.

É possível observar um aumento significativo da impermeabilização do solo na área urbana (Figura 9), o que se caracteriza a transformação de áreas que eram permeáveis em 1990, tornando-se impermeáveis nos anos de 2005 e 2021. Essa transformação é principalmente atribuída à expansão da área urbana ao longo do período de estudo. Essa constatação pode ser facilmente verificada ao comparar a área urbana atual do município de Gonzaga com o ISA gerado para o mesmo ano. Essa comparação evidencia que as áreas classificadas como impermeáveis durante o estudo correspondem exatamente às antigas e novas estruturas urbanas. Isso reforça a relação direta entre o processo de urbanização e a impermeabilização do solo na região.

Figura 9 - ISA para área urbana do município de Gonzaga – MG nos anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021



Elaboração: o autor, 2023

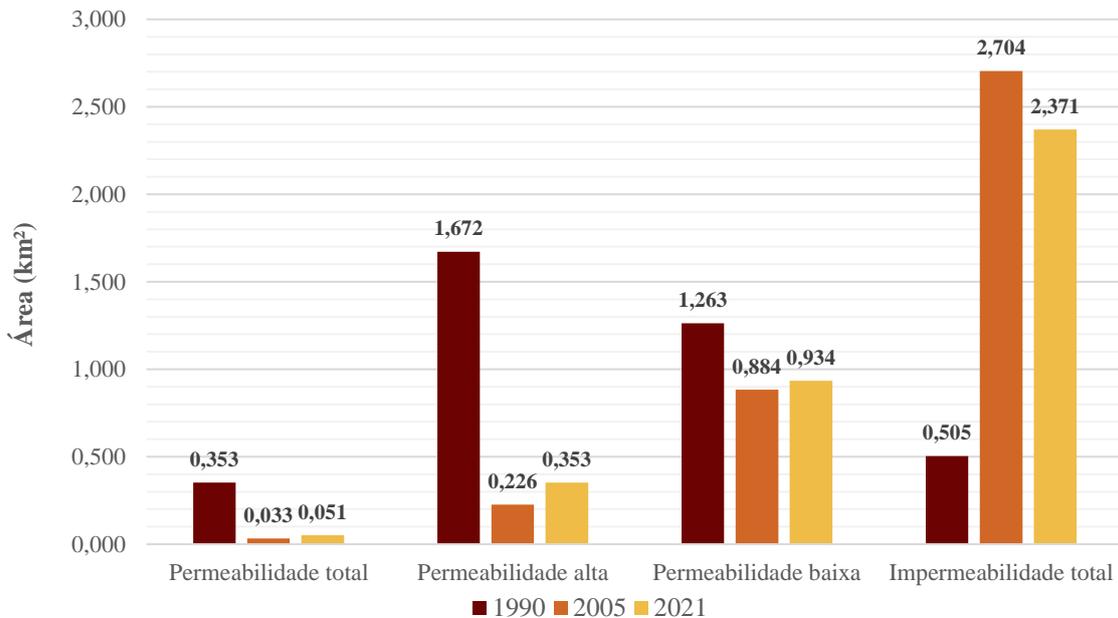
A partir da reclassificação dos dados apresentados na Figura 9, conforme mencionado na Tabela 2, foi possível realizar a quantificação da área ocupada por cada valor associado aos intervalos de impermeabilidade, permitindo determinar a variação ocorrida ao longo dos anos de estudo. Esse processo de quantificação ofereceu uma medida objetiva para avaliar o aumento ou redução da área impermeabilizada em cada intervalo, proporcionando uma compreensão mais precisa das mudanças ocorridas ao longo do tempo. Essa abordagem quantitativa permite uma análise mais robusta e fundamentada das transformações na área estudada. A Tabela 5 e a Figura 10 destacam as informações essenciais relacionadas às mudanças observadas, oferecendo uma visão abrangente das variações ocorridas ao longo do estudo.

Tabela 5 - Quantificação das classes de permeabilidade para o período de estudo

Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA			Área (km ²)		
Intervalo de impermeabilidade	Valor de reclassificação	Classe final	1990	2005	2021
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Permeabilidade total	0,353	0,033	0,051
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Permeabilidade alta	1,672	0,226	0,353
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Permeabilidade baixa	1,263	0,884	0,934
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Impermeabilidade total	0,505	2,704	2,371
Total			3,792	3,847	3,709

Elaboração: O próprio autor, 2023

Figura 10 - Comparação gráfica entre as classes de impermeabilidade e anos de estudo



Elaboração: O próprio autor, 2023

Com base nos dados, foram observadas modificações consideráveis nas áreas inicialmente classificadas como permeabilidade total (0 - 25%) e impermeabilidade total (75 -

100%). No ano de 1990, as áreas classificadas com permeabilidade total abrangiam uma extensão de 0,353 km². No entanto, em 2005, esse valor sofreu uma redução drástica, chegando a apenas 0,033 km², indicando uma perda de 0,320 km² de áreas totalmente permeáveis ao longo de 15 anos. Já em 2021 as áreas com permeabilidade total eram 0,051 km², representando um aumento de 0,018 km² em relação a 2005.

Ao analisar as áreas de permeabilidade alta (25 - 50%), foi observado um comportamento semelhante. Em 1990, essas áreas correspondiam a uma extensão de 1,672 km², porém houve um decréscimo significativo, chegando a 0,226 km² em 2005. No entanto, em 2021, houve um aumento para 0,353 km².

O mesmo comportamento é observado para faixa de permeabilidade baixa (50 - 75%). No ano de 1990 a área de permeabilidade baixa contabilizava 1,263 km², houve o aumento dessa área para 0,884 km² em 2005 e, em 2021, houve o aumento para 0,934 km² de área com baixa permeabilidade.

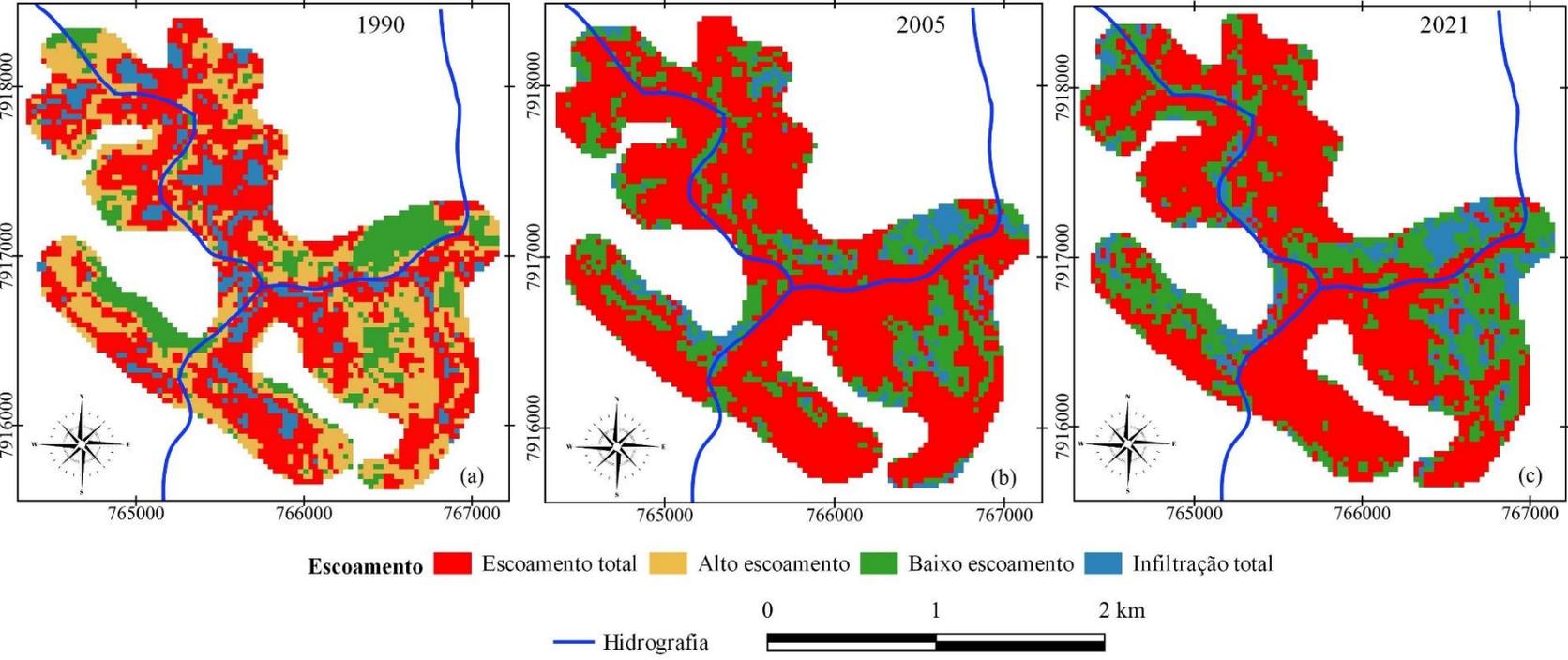
Para a faixa de impermeabilidade total (75 - 100%), a ano de 2005 abrange maior representatividade de áreas totalmente impermeáveis com 2,704 km². Em 1990, foi o que apresentou menor abrangência da classe, representando apenas 0,505 km². Já em 2021, observasse um decréscimo da classe, representando 2,371 km², uma diferença 0,333 km² quando comparado a 2005.

As variações nas áreas de permeabilidade indicam uma série de mudanças no uso do solo, como o aumento da urbanização e expansão das áreas construídas, resultando em uma redução na cobertura vegetal e, conseqüentemente, na permeabilidade do solo. Também pode refletir intervenções humanas, como a implementação de projetos de infraestrutura ou a conversão de áreas naturais em áreas urbanas.

5.2 Avaliação do escoamento superficial da sede municipal

Para representação gráfica da precipitação efetiva total (PEFT) para área urbana do município foi adotado o mesmo padrão utilizado para a produção dos mapas do ISA (Figura 11). O mapa de PEFT está apresentado na Figura 9.

Figura 11 - Precipitação efetiva total para área urbana do município de Gonzaga – MG para os anos de (a) 1990, (b) 2005 e (c) 2021



Elaboração: O próprio autor, 2023

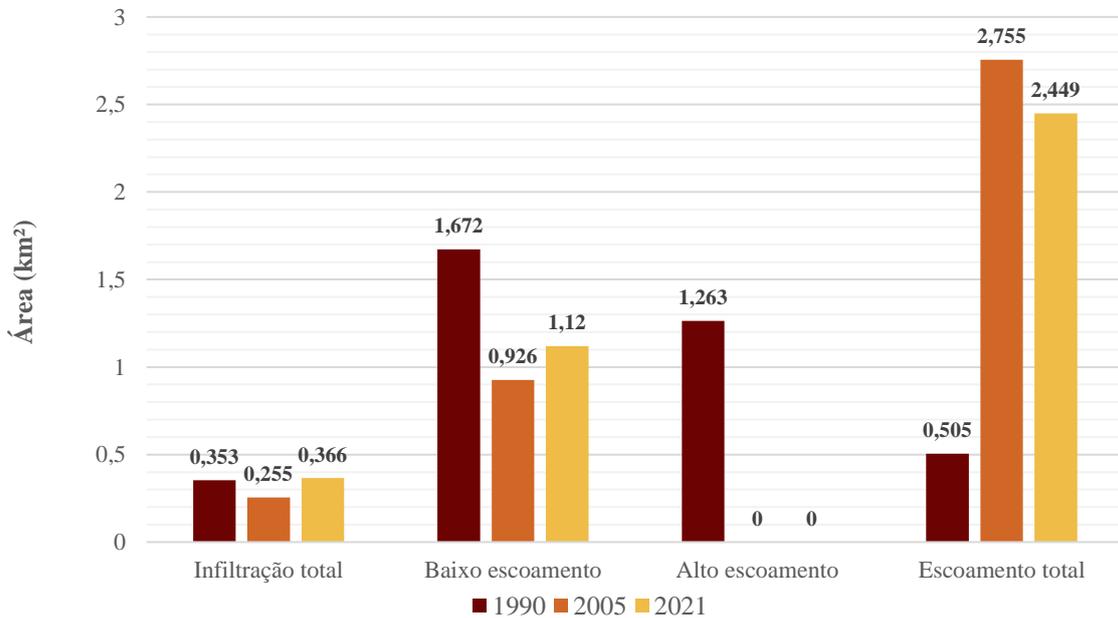
A partir da reclassificação dos dados apresentados na Figura 11, conforme mencionado na Tabela 3, foi possível realizar a quantificação da área de cada valor associado aos intervalos de infiltração, permitindo determinar a variação ocorrida ao longo dos anos de estudo. A Tabela 6 e a Figura 12 destacam as informações essenciais relacionadas à precipitação efetiva, oferecendo uma visão abrangente das variações ocorridas.

Tabela 6 - Quantificação das classes de escoamento para o período de estudo

Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA			Área (km ²)		
Intervalo de escoamento	Valor de reclassificação	Classe final	1990	2005	2021
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Infiltração total	0,353	0,255	0,366
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Baixo escoamento	1,672	0,926	1,120
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Alto escoamento	1,263	0,000	0,000
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Escoamento total	0,505	2,755	2,449
Total			3,792	3,936	3,936

Elaboração: O próprio autor, 2023

Figura 12 - Comparação gráfica entre as classes de escoamento e anos de estudo



Elaboração: O próprio autor, 2023

Esse estudo constatou um aumento expressivo na impermeabilização das áreas urbanizadas. A área com classe “escoamento total” cresceu 79,38% entre 1990 e 2021, sendo a classe com maior área nos anos de 2005 e 2021, representando apenas 0,505 km² em 1990 e aumentando para 2,755 km² em 2005 e 2,449 km² em 2021.

Em 1990, existia uma predominância de áreas com classe “baixo escoamento” (1,672 km²) e de “alto escoamento” (1,263 km²) e poucas áreas de “infiltração total” (0,353 km²) na

região central e extremos. Já nos anos de 2005 e 2021 as áreas de alto escoamento representavam 0 km² sendo agora enquadradas como de Escoamento total, indicando um aumento significativo do escoamento superficial.

Nota-se ainda, que as áreas de baixo escoamento e de infiltração total tiveram um aumento de 2005 para 2021. A classe de infiltração total em 2005 era de 0,255 km² passando para 0,366 km² em 2021, um aumento de 30,33% e a classe de baixo escoamento foi de 0,926km² para 1,12 km² representando um aumento de 17,32 km².

É evidente que ocorreram alterações significativas na área urbana, resultando em mudanças drásticas no comportamento natural do solo. Essas transformações têm levantado preocupações devido ao impacto alarmante no processo natural de infiltração, especialmente nas áreas que anteriormente eram capazes de facilitar algum tipo de infiltração, bem como nas regiões que já eram consideradas totalmente impermeáveis.

O crescimento da sede do município de Gonzaga tem ocorrido sem uma adequada organização urbana. Ao longo dos anos, houve mudanças significativas na população urbana do município. Em 1900, a população urbana era de 2.588 habitantes. Já em 2010 (último Censo Populacional com dados de população urbana e rural disponível), a população urbana de Gonzaga era constituída de 5921 habitantes.

As demandas por infraestruturas e serviços aumentam, porém, a ausência de um plano diretor ou regulamentações urbanísticas podem contribuir para a expansão em direção a áreas ecologicamente sensíveis.

Mota (1981) destaca que o processo de urbanização pode ocasionar mudanças de grande impacto no ciclo hidrológico, especialmente no aumento da precipitação, diminuição da evapotranspiração, aumento do escoamento de líquidos, redução da infiltração e mudanças no nível do lençol freático. Além disso, o processo de urbanização aumenta a suscetibilidade à erosão do solo, ao assoreamento de corpos d'água, a incidência de enchentes e a poluição de águas superficiais e subterrâneas. (MOTA, 1981).

Nesse sentido, é essencial adotar uma abordagem integrada e planejada para o desenvolvimento da sede urbana de Gonzaga, levando em consideração os impactos no ambiente hidrológico.

Segundo o Estatuto da Cidade, todos os municípios brasileiros com mais de 20.000 habitantes são obrigados a elaborar e implementar o plano diretor. Além disso, os municípios integrantes de regiões metropolitanas e áreas de interesse turístico também devem possuir um plano diretor, independentemente do número de habitantes. Vale ressaltar que, mesmo para

municípios com menos de 20.000 habitantes, é altamente recomendável a elaboração do plano diretor como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento urbano sustentável e organizado.

O planejamento urbano engloba um conjunto de ações relacionadas às atividades urbanas, podendo ser conduzidas ou direcionadas pelo mercado, bem como assumidas pelo Estado, tanto em sua concepção quanto em sua implementação (DEAK, 1999). Esse planejamento também envolve um processo de gestão e programação para o desenvolvimento de áreas urbanas, buscando estabelecer um modelo coerente de crescimento.

O planejamento e desenvolvimento urbano possuem o poder de equilibrar três interesses fundamentais, ainda que conflitantes: o crescimento econômico, a justiça social e a proteção do meio ambiente. A harmonização dessas três dimensões em um processo de planejamento urbano pode tornar as cidades mais inclusivas e direcioná-las rumo à sustentabilidade.

Ao comparar os dados obtidos de 2005 e 2021, nota-se que os resultados para 2005 são mais significativos que 2021 em algumas análises. A série temporal utilizada abrange um período de trinta e um anos (1990 a 2021), o que acarreta uma maior complexidade na busca por dados que compartilhem as mesmas características temporais. No contexto deste estudo, devido à escolha desse intervalo temporal e à disponibilidade de informações, foram empregadas imagens provenientes dos satélites Landsat 5 e 8. Apesar de pertencerem à mesma série, essas imagens não são capturadas pelo mesmo tipo de sensor, o que torna essencial a aplicação de correções atmosféricas baseadas em modelos de transferência radiativa, podendo apresentar diferenças nos entre a metodologia de Chander e Markham (2003) aplicado as imagens do Landsat 5 e a metodologia de Chavez (1996) aplicado a imagem do Landsat 8. Além disso, outra possível interferência está associada às diferenças sazonais na composição das imagens, uma vez que não foi viável obter imagens do mesmo período do ano para cada imagem.

5.2.1 Inundação no município de Gonzaga - MG

Durante a fase de pesquisa, uma inundação ocorreu na região estudada. No dia 20 de janeiro de 2023, a cidade de Gonzaga experimentou uma inundação de grande magnitude (Figura 13). O evento foi desencadeado por uma intensa precipitação que excedeu a capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem existentes. O aumento da frequência e intensidade das chuvas, possivelmente relacionado às mudanças climáticas, desempenhou um papel crucial na magnitude do evento.

Ao finalizar o estudo, ao comparar as áreas inundadas com as previstas pelo modelo, ficou evidente que a inundação que ocorreu estava em consonância com as previsões do método aplicado neste estudo. Essa descoberta forneceu uma validação inesperada da capacidade preditiva do modelo, demonstrando que as áreas identificadas como suscetíveis a inundação eram consistentes com eventos reais.

Figura 13 - Ocorrência da de inundação no município



Elaboração: O próprio autor, 2023

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam como a expansão da área urbana tem um impacto direto nas características originais do ambiente em que se insere, especialmente na permeabilidade do solo e nos parâmetros a ela relacionados. Conseqüentemente, foi possível constatar as alterações que essas mudanças acarretaram na precipitação efetiva total da área de estudo. Essas descobertas destacam a importância de avaliar os efeitos da urbanização na hidrologia local e na capacidade do solo de lidar com o escoamento da água.

Através das comparações das manchas urbanas para os anos de 1990, 2005 e 2021, foi constatado um aumento expressivo da área urbana. Em 2005 (0,232 km²), houve um crescimento de 83% em relação a 1990 (0,039 km²), e no ano de 2021 (0,63 km²), o crescimento foi de 63% em relação a 2005, ocasionando, principalmente em modificações na paisagem. A metodologia utilizada revelou-se adequada para a análise temporal da área, pois evidenciou os efeitos de forma próxima à realidade.

Ao comparar os valores do Índice NDVI nos anos de 1990, 2005 e 2021, os resultados forneceram evidências claras de alteração da vegetação ao longo dos anos.

O índice ISA permitiu a caracterização da impermeabilidade do solo dentro da área urbana delimitada. A análise quantitativa dos dados revelou a perda de áreas totalmente permeáveis, indicando que aproximadamente 1,7 km² perderam essa característica ao longo dos últimos 31 anos. Além disso, os dados relacionados às áreas totalmente impermeáveis mostraram que cerca de 1,867 km² se tornaram completamente impermeáveis entre 1990 a 2021.

Além disso, foi observado que as modificações resultantes da expansão urbana da cidade também afetaram significativamente a PEFT. Durante o período de 31 anos, cerca de 1,945 km² foram impermeabilizados, perdendo completamente sua capacidade de infiltração e passando a escoar toda a precipitação que ocorre sobre eles.

Por fim, a análise espacial e temporal da evolução dinâmica do uso do solo urbano por meio de informações de imagens orbitais de satélites desempenha um papel vital na tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano e ambiental. Essa abordagem permite identificar usos inadequados do solo, alterações na cobertura vegetal e alterações na infraestrutura urbana.

Utilizando as técnicas de análise espacial e temporal, é possível obter uma visão abrangente das mudanças ocorridas no ambiente urbano ao longo do tempo. Isso fornece informações valiosas para a tomada de decisões informadas sobre o desenvolvimento urbano

sustentável, identificando áreas que requerem intervenção, protegendo os recursos naturais e melhorando a infraestrutura existente.

Recomenda-se um planejamento do uso e ocupação do solo urbano que considere o escoamento natural, sempre que possível, e priorize a recuperação da capacidade de infiltração. É notório que os problemas relacionados à drenagem se agravam devido à urbanização desordenada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, ER de A.; SOUZA, G. da S.; MARRA, Renner. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. 2011.
- and Planetary Change, v. 25, Issues 1-2, p. 49-65, 2000.
- ARAI, EGIDIO; RODRIGUEZ, ANA CRISTINA MACHADO; RUDORFF, BERNARDO FRIEDRICH THEODOR. Comparação dos Índices de Vegetação (NDVI) obtidos através de Imagens AVHRR-NOAA e SeaWiFS-SeaStar para os Estados de São Paulo e Paraná.
- ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **Geografia (Londrina)**, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.
- BARBOSA, Claudio Clemente Faria; DE MORAES NOVO, Evlyn Marcia Leão; MARTINS, Vitor Souza (Ed.). Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2019.
- BEZERRA, M. L. D. Taxa de (im) permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. *Revista Campo do Saber, Paraíba*, v. 1, n. 2, p. 26-43, jul./dez. 2015.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 de agosto de 2010. Pág. nº 2.
- BRITO, Fausto. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos avançados**, v. 20, p. 221-236, 2006.
- CARLSON, T. N.; ARTHUR, S. T. The impact of land use — land cover changes due to
- CARVALHO, Andreza Tacyana Felix. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.
- CARVALHO. Rodrigo Guimarães. **Problemas de uso e ocupação do solo e degradação ambiental no núcleo urbano de Tibau-RN**. Natal: UERN, 2015.
- CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on geoscience and remote sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- CHAVEZ, P.S., JR. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: pp.459-479, 1988.

- CHAVEZ, P.S., JR. Image-based atmospheric corrections–revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9): pp.1025-1036, 1996.
- CIVIL, Casa et al. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. 2007.
- Climatologia / Érika Gomes Brito , Marcus Vinícius Chagas da Silva, Andrea Bezerra Crispim.
- Fortaleza : EdUEC E, 2015. 106 p. : il. ; 20,0cm x 25,5cm. (Geografia)
- Corrêa Bento, Sarah; de Melo Conti, Diego; Martins Baptista, Rodrigo; Nabil Ghobril, Carlos
AS NOVAS DIRETRIZES E A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO URBANO
PARA O DESENVOLVIMENTO DE CIDADES SUSTENTÁVEIS *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, vol. 7, núm. 3, 2018, Septiembre-Diciembre, pp. 469-488
Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil
- Corrêa Bento, Sarah; de Melo Conti, Diego; Martins Baptista, Rodrigo; Nabil Ghobril, Carlos
AS NOVAS DIRETRIZES E A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO URBANO
PARA O DESENVOLVIMENTO DE CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, vol. 7, núm. 3, 2018, Septiembre-Diciembre, pp. 469-488
Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil
- DA SILVA, Regina Celly Nogueira; DE SOUTO MACÊDO, Celênia. *A Urbanização Mundial*. 2009.
- DE CAMARGO, O. A. et al. *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006., 2006.
- DE OLIVEIRA QUEIROZ, Alcides et al. Impactos da urbanização sobre o riacho do Termas–Mossoró (RN). *Revista Pensar Geografia*, v. 2, n. 1, p. 53-72, 2018.
- DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006.
- DE PAULA SOUZA, Letícia. Dispersão urbana e a nova configuração das cidades médias brasileiras: o caso de Uberlândia/MG. *Revista Brasileira de Direito Urbanístico| RBDU*, p. 303-313, 2020.
- DEAK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. *O processo de urbanização no Brasil*. Edusp, 1999.

- DOS SANTOS OLIVEIRA, Jefferson; ESTEVAM, André Luiz Dantas. Ilhas de calor no bairro Cajazeiras: estudo de caso na cidade de Salvador, Bahia–Brasil. *Geopauta*, v. 3, n. 3, p. 75-91, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- Envolverde: **Drenagem urbana sustentável**, 2021. Disponível em: <<https://envolverde.com.br/drenagem-urbana-sustentavel/>> Acesso em: 17 out. 2022
- FINKLER, 2012. A BACIA HIDROGRÁFICA. Disponível em: <https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf> Acesso em: 15 de jul. 2023.
- FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. Curso de direito ambiental brasileiro. Saraiva Educação SA, 2021.
- FONTES, Andréa Regina Martins; BARBASSA, Ademir Paceli. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas. *Revista Brasileira de recursos hídricos*, v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.
- GARTLAND, Lisa. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de textos, 2011.
- GIORDANO, Gandhi et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.
- GONÇALVES, Luciana Márcia; DA SILVA BAPTISTA, Luana F.; RIBEIRO, Rochele Amorim. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, 2016.
- GRIMBERG, Elisabeth. Política Nacional de Resíduos Sólidos: o desafio continua. Polis, 2007.
- GUTIERREZ, Lorena Avelina Rojas et al. Mapeamento temporal dos índices: área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbanizada de Campo Grande–MS. *Caminhos de geografia*, v. 12, n. 37, p. 269-288, 2011.

- Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos / Arnaldo Augusto Setti, Jorge Enoch Furquim Werneck Lima, Adriana Goretti de Miranda Chaves, Isabella de Castro Pereira. 2ª ed. – Brasília: **Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas**, 2000. 207 p. : il. ; 23 cm.
- JATOBÁ, Sérgio Ulisses Silva. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. 2011.
- KAUFFMANN, Márcia Oliveira. Expansão urbana e qualidade de vida: proposta para desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aplicados à legislação urbanística. **Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental-FEN/UERJ, Rio de Janeiro**, 2003.
- KURKDJIAN, M. L. N. O. Aplicações de sensoriamento remoto ao planejamento urbano. São José dos Campos, INPE, 1993.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN. J. W. Remote Sensing and Image Interpretation, 6ª ed., Wiley India, 756pp., 2011.
- LIMA, Kelma Dayan de J. Vieira; ARCOS, Frank Oliveira; SERRANO, Rodrigo Otávio Peréa. Áreas de risco e ocupação urbana: o caso do bairro Raimundo Melo. Rio Branco, Acre-Brasil. Revista Geonorte, v. 3, n. 5, p. 197-206, 2012.
- LIMA, Valéria; AMORIM, Margarete Cristiane da Costa Trindade. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Formação (Online)**, v. 1, n. 13, 2006.
- LORDELO, V. C. Gestão da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no município de Cruz das Almas-Ba: uma avaliação a partir do ordenamento legal, institucional e técnico-operacional., 2019. **Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**.
- MARCELO, Deiverson Alexandre Alves. Avaliação temporal dos índices área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbana de Mariana-MG. 2019.
- MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- MOURA, Verena Cibele Soares. **Impactos ambientais da urbanização: esforços da pesquisa brasileira e mapeamento e percepção de moradores na cidade de Santarém, Pará**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

- MOURA, Verena Cibele Soares. **Impactos ambientais da urbanização: esforços da pesquisa brasileira e mapeamento e percepção de moradores na cidade de Santarém, Pará.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.
- MPB Engenharia. **Entenda a importância de um Sistema de Abastecimento de Água.** 2020. Disponível em: <<http://www.mpb.eng.br/n/entenda-importancia-de-um-sistema-de-abastecimento-de-agua/>> Acesso em: 17 out. 2022.
- MOTA, Suetônio. Planejamento urbano e preservação ambiental. Edições UFC, 1981.
- MUCELIN, Carlos Alberto; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. *Sociedade & natureza*, v. 20, p. 111-124, 2008.
- MURTHA, Ney Albert; HELLER, Léo; LIBÂNIO, Marcelo. A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil. In: **congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental.** 1997.
- NATURE AMBIENTAL, 2014. **Água: a escassez na abundância.** Disponível em: <<https://natureambiental.com.br/agua-a-escassez-na-abundancia/>> Acesso em: 15 de jul. 2023.
- OLIVEIRA, Stênio Bruno Lobo et al. Análise das áreas com predisposição à movimentação de massa no município de Ipatinga-Minas Gerais Analysis of areas with a provision of mass movement in the city of Ipatinga–Minas Gerais [http://dx. doi. org/10.15601/2238-1945/pcnb.v3n6p73-90](http://dx.doi.org/10.15601/2238-1945/pcnb.v3n6p73-90). NBC-Periódico Científico do Núcleo de Biociências, v. 3, n. 06, p. 73-90, 2013.
- PAES, BARBARA RODRIGUES DOS SANTOS; GARCIA, Ricardo Alexandrino. DINÂMICA TEMPORAL DA VEGETAÇÃO URBANA COM APLICAÇÃO DE NDVI NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE-MINAS GERAIS. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n. 3, p. 387-409, 2022.
- PEREIRA, Cesar. Normas de referência da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e conflitos regulatórios. Informativo Justen, Pereira, Oliveira e Talamini, Curitiba, n. 175, 2021
- PHILLIPI JR., Arlindo; AGUIAR, Alexandre de Oliveira. Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento. In: PHILLIPI JR., Arlindo (org.). Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 2005.

Planejamento urbano e regional [recurso eletrônico] / Organizadora Bianca Camargo Martins.
– Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

PNSB 2017: Abastecimento de água atinge 99,6% dos municípios, mas esgoto chega a apenas 60,3%. Disponível em: <[3#:~:text=Para%C3%ADba%2C%20com%2033.-](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28324-pnsb-2017-abastecimento-de-agua-atinge-99-6-dos-municipios-mas-esgoto-chega-a-apenas-60-3#:~:text=Para%C3%ADba%2C%20com%2033.-,Havia%2C%20em%202017%2C%2059%2C8%20milh%C3%B5es%20de%20economias%20residenciais,1%25%20dos%20domic%C3%ADlios%20do%20pa%C3%ADs.></p></div><div data-bbox=)

,Havia%2C%20em%202017%2C%2059%2C8%20milh%C3%B5es%20de%20economias%20residenciais,1%25%20dos%20domic%C3%ADlios%20do%20pa%C3%ADs.>

Acesso em: 17 out. 2022

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

QUIRINO, Gabrielle Louise; DE SOUZA, Cinthia Raquel. Transformação de ecossistemas naturais em centros urbanos: construção e manutenção de cidades. Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 5, n. 3, 2014.

REZENDE, Rafaela de Freitas Rezende, Estudo comparativo no dimensionamento de drenagem tradicional e medida sustentável compensatória. 2018. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

ROSA, Andressa Ferreira. Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio-MG. 2017.

SANTAELLA, Sandra Tédde et al. **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira.** 2014.

SANTOS, Diego Marangoni. Medidas de controle de escoamento superficial na fonte por meio de dispositivos de infiltração e de reservação em conjuntos habitacionais verticalizados e horizontalizados. 2019.

SCHULER, Azeneth Eufrausino; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; CRUZ, Marcus Aurélio Soares. Gestão integrada de recursos hídricos. **Água e saneamento**, p. 51, 2018.

SILVA, Mayane Bento; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabricio Quadros. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das

águas no Brasil. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 10, n. 1, p. 101-115, 2017.

SILVA, Ricardo Toledo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos avançados**, v. 17, p. 129-145, 2003.

SIQUEIRA, Mônica Maria; MORAES, Maria Silvia de. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, p. 2115-2122, 2009.

SOUSA, Sabrina Aparecida. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica urbana dos córregos Dona Bicota e Dona Jovita em Santo Antônio do Monte-MG. 2019.

SOUZA, L. de P. Dispersão urbana e a nova configuração das cidades médias brasileiras: o caso de Uberlândia/MG. **Revista Brasileira de Direito Urbanístico | RBDU**, Belo Horizonte: Fórum, v. 6, n. 10, p. 303–313, 2020. DOI: 10.55663/RBDU.especial2020.souza. Disponível em: <http://biblioteca.ibdu.org.br/index.php/direitourbanistico/article/view/2020souza>. Acesso em: 13 set. 2022.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão et al. Capitalismo e urbanização. 1988.

TOMINAGA, L. K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado 220 p + Mapas

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, p. 7-16, 2008.

UCHÔA, Paulo Wilson de Sousa et al. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização: o caso de Santarém-PA**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global*

Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. 2005. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto XII, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3595-3602. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.

VELOSO, Gabriel Alves et al. Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do Riachão, no Norte de Minas Gerais. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 28, n. 2, p. 165-184, 2011.

WERNECK, Daniela Rocha. Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília–DF. 2018.

ZAJARKIEWICCH, Daniel Fernando Bondareno et al. Poluição sonora urbana: principais fontes-aspectos jurídicos e técnicos. 2011.