

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ-UNIFEI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS DE
ITAJUBÁ (MG)**

Pedro de Oliveira Moura Bucker

Itajubá (MG), Brasil

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

PEDRO DE OLIVEIRA MOURA BUCKER

**CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS DE
ITAJUBÁ (MG)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá - Campus Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração:

Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora:

Profª Dra. Nívea Adriana Dias Pons

Coorientadora:

Profª Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni

Itajubá (MG), Brasil

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, à minha mãe Angela Maria e ao meu pai Pedro, por me proporcionarem todo o suporte ao longo da minha formação e por serem grandes exemplos de seres humanos, nos quais vou sempre me espelhar.

À minha irmã Gabriéli, por me apoiar sempre.

À minha orientadora Nívea Adriana Dias Pons e à minha co-orientadora Eliane Guimarães Pereira Melloni, pela confiança no meu trabalho, pelos ensinamentos, orientações, paciência e transmissão do conhecimento.

Aos meus amigos e colegas pela amizade, apoio e por todos os momentos vividos nesta caminhada em Itajubá.

Ao técnico André pela ajuda e paciência no laboratório e na coleta de dados em campo.

À UNIFEI, e aos professores do POSMARH pelo excelente trabalho realizado durante a pandemia do coronavírus.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização desta pesquisa.

RESUMO

Os processos de expansão e desenvolvimento urbano das cidades são contínuos e intrínsecos à natureza humana, transformando não somente as paisagens e a dinâmica do meio físico, mas afetando diretamente os solos urbanos. Quando essas modificações ocasionadas em prol do desenvolvimento não estão atreladas a um crescimento sustentável e a uma correta avaliação da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, é provocada uma série de problemas que contribui tanto para o aumento dos processos de degradação do ambiente urbano quanto para a diminuição da qualidade de vida da população, ocasionando inúmeros conflitos sociais. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo identificar a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG), onde são consideradas as características dos fatores do meio físico. Para isso, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, visando unir os fatores que melhor representam o espaço tridimensional de interesse, resultando em um mapa que expressa a real capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá. Como resultado foram obtidas as classes de aptidão às construções urbanas (24,9km²), aptidão às construções urbanas e agricultura urbana (6,0 km²), aptidão à preservação ambiental (12,33km²) e aptidão ao descarte de resíduos (0,0km). Posteriormente, foram analisados em conjunto com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, o uso e ocupação do solo da área de interesse, identificando as regiões que possuem processos de degradação. Tal análise permitiu verificar os conflitos de uso dos solos urbanos existentes em relação ao mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos ao zoneamento urbano municipal. O zoneamento urbano municipal de Itajubá apenas delimita as zonas de expansão urbana, e não estabelece uma hierarquia de quais usos deveriam ser priorizados para os solos urbanos nessas áreas, o que pode potencializar a existência de conflitos nesses solos urbanos. As áreas identificadas apresentando conflitos entre o uso atual e a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, estão localizadas na região nordeste onde ocorre a implantação de um parque tecnológico em uma área que foi classificada como de preservação ambiental, nas porções sul e sudoeste que apresentam a presença crescente de residências em áreas que poderiam ser destinadas a horticultura e ou a instalação de áreas de lazer, como parques, praças e hortos florestais, evidenciando os contrastes com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos nesses locais, o que pode contribuir futuramente para o aumento da degradação ambiental na cidade. Por fim, conclui-se que a identificação da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá pode auxiliar o planejamento urbano, a médio e longo prazo, em um manejo mais adequado dos solos urbanos que, se realizado de forma sustentável, pode levar à redução dos processos de degradação ambiental existentes. Conseqüentemente, a redução de gastos com medidas corretivas pode ser revertida em investimentos para a prevenção de desastres devido a eventos extremos e na implantação de elementos urbanos sustentáveis para a melhor qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Planejamento Territorial; Solos Urbanos, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The processes of expansion and urban development of cities are continuous and intrinsic to human nature, transforming not only landscapes and the dynamics of the physical environment, but directly affecting urban soils. When these changes brought about in favor of development are not linked to sustainable growth and a correct assessment of the capability to use and occupy urban land, a series of problems are caused that contribute both to the increase in the processes of degradation of the urban environment and to the reduction of the quality of life of the population, causing numerous social conflicts. In this sense, the present work aims to identify the capability to use and occupy urban land, in Itajubá (MG), where the characteristics of the factors of the physical environment are considered. For this, geoprocessing techniques were used, aiming to unite the factors that best represent the three-dimensional space of interest, resulting in a map that expresses the real capability for use and occupation of urban land in Itajubá. As a result, the classes of aptitude for urban constructions (24.9km²), aptitude for urban constructions and urban agriculture (6.0 km²), aptitude for environmental preservation (12.33km²) and aptitude for waste disposal (0.0km). Subsequently, they were analyzed together with the capability for use and occupation of urban land, the use and occupation of land in the area of interest, identifying the regions that have degradation processes. This analysis made it possible to verify the conflicts of use of existing urban lands in relation to the map of capability for use and occupation of urban lands to the municipal urban zoning. The municipal urban zoning of Itajubá only delimits the urban expansion zones, and does not establish a hierarchy of which uses should be prioritized for urban land in these areas, which can potentiate the existence of conflicts in these urban lands. The identified areas presenting conflicts between the current use and the capability to use and occupy urban land are located in the northeast region where the implantation of a technology park takes place in an area that was classified as of environmental preservation, in the south and southwest portions that show the growing presence of residences in areas that could be destined for horticulture and/or the installation of leisure areas, such as parks, squares and forest gardens, highlighting the contrasts with the capability for use and occupation of urban land in these places, which can contribute to the increase of environmental degradation in the city in the future. Finally, it is concluded that the identification of the capability to use and occupy urban land in Itajubá can help urban planning, in the medium and long term, in a more adequate management of urban land which, if carried out in a sustainable way, can lead to the reduction of existing environmental degradation processes. Consequently, the reduction of expenses with corrective measures can be reversed in investments for the prevention of disasters due to extreme events and in the implantation of sustainable urban elements for the better quality of life of the population.

Keywords: Geoprocessing; Territorial Planning; Urban Soils, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organograma do Sistema de Avaliação do Potencial de Uso das Terras urbanas, Pedrón (2005).	27
Figura 2: Comparação de critérios Matriz A.....	32
Figura 3: Fluxograma dos processos metodológicos adotados neste trabalho.....	35
Figura 4: Mapa de Localização e principal via de acesso da cidade de Itajubá (MG).....	36
Figura 5: Vista aérea do perímetro urbano, imagem R3G2B1 satélite CBERS4A, sensor WPM.	37
Figura 6: União das Cartas Geológicas Itajubá, Pouso Alegre e Pindamonhangaba na escala 1:100.000, resultando na geologia da cidade de Itajubá (MG).....	38
Figura 7: Mapa de solos do município de Itajubá (MG).....	39
Figura 8: Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa de Itajubá (MG).....	40
Figura 9: Mapa de suscetibilidade à inundação de Itajubá (MG).	41
Figura 10: Etapas para a obtenção do mapa de uso e ocupação do solo.....	44
Figura 11: Etapas para a obtenção das áreas com processos de degradação.....	45
Figura 12: Processos para a obtenção do Mapa de Suscetibilidade à Erosão.	46
Figura 13: Processos para a obtenção do mapa de potencial de alagamentos.....	47
Figura 14: Processo para a geração do mapa de capacidade d uso e ocupação dos solos urbanos.	49
Figura 15: Imagem ilustrativa do drone DJI Phantom 4. Fonte: DJI (2022).	52
Figura 16: Tipos de visada com drone de asa móvel. Fonte: De Paula e Albuquerque (2021).	53
Figura 17: Mapa de uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Itajubá (MG), 2022.....	54
Figura 18: Aplicação do coeficiente kappa para a determinação da acurácia no mapa de uso e ocupação do solo de Itajubá (MG) 2022. Em 1-A) mapa de uso e ocupação do solo de 2022 gerado com a classificação supervisionada, em 1-B) recoberto pelos pontos randômicos, em 2-A) mapa de uso e ocupação do solo levantado pelo Mapbiomas do ano de 2021, em 2-B) recoberto pelos pontos randômicos.	56
Figura 19: Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do perímetro urbano de Itajubá (MG).	57
Figura 20: Mapa de áreas degradadas no perímetro urbano de Itajubá (MG).....	58
Figura 21: Mapa de declividade do perímetro urbano de Itajubá (MG).	59
Figura 22: Mapa de acumulação de fluxo do perímetro urbano de Itajubá (MG).	60
Figura 23: Mapa de suscetibilidade à erosão do perímetro urbano de Itajubá (MG).....	61
Figura 24: Mapa do potencial de alagamentos do perímetro urbano de Itajubá (MG).	62
Figura 25: Mapa de distância dos corpos hídricos, no perímetro urbano de Itajubá (MG). ...	63
Figura 26: Mapa de distância da área construída, no perímetro urbano de Itajubá (MG).	64

Figura 27: Mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG).	67
Figura 28: Pontos visitados no perímetro urbano de Itajubá (MG).....	69
Figura 29: Imagem de sobrevoo no ponto P1, 13/12/2022 e 14/22/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI) e de construções urbanas com restrições (BIIIr).	70
Figura 30:. Imagem do sobrevoo do ponto P2, 13/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbano corresponde à classe de preservação de fauna e flora (DVI).....	72
Figura 31: Imagem de sobrevoo do ponto P3, 14/12/2022. A capacidade de e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI) e de construções urbanas (BIIIr).	74
Figura 32: Imagem de sobrevoo do ponto P4, 14/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas (BIIIi e BIIIr).	76
Figura 33: Localização de sobrevoo do ponto 5, 15/12/2022. Imagem de sobrevoo do ponto P5, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi/ BIIIr), e de preservação de fauna e flora (DVI).	78
Figura 34: Imagem de sobrevoo do ponto P6, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI), e de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr).	80
Figura 35: Imagem de sobrevoo do ponto P7, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr) e para a classe de uso industrial (AIIr).	82
Figura 36: Imagem de sobrevoo do ponto P8, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr).....	84
Figura 37: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, com o mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Itajubá do ano de 2022.....	86
Figura 38: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG), com o zoneamento urbano municipal de Itajubá (MG) de 2019.	88
Figura 39: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, com as áreas degradadas no perímetro urbano.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Hierarquização do mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos.	51
Quadro 2: Divisão dos grupos, classes e subclasses de utilização dos solos urbanos de Itajubá (MG).	65
Quadro 3: Descrição da legenda do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG).	67
Quadro 4: Quadro de fotografias aéreas do ponto P1, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	71
Quadro 5: Quadro de fotografias aéreas do ponto P2, na altitude de 60m a partir do nível do solo.	73
Quadro 6: Quadro de fotografias aéreas do ponto 3, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	75
Quadro 7: Quadro de fotografias aéreas do ponto P4, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	77
Quadro 8: Quadro de fotografias aéreas do ponto P5, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	79
Quadro 9: Quadro de fotografias aéreas do ponto 6, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	81
Quadro 10: Quadro de fotografias aéreas do ponto 7, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	83
Quadro 11: Quadro de fotografias aéreas do ponto 8, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Definição dos solos urbanos e termos similares.....	19
Tabela 2: Continuação da Tabela 1.	20
Tabela 3: Tabela de valores para o índice kappa (LANDIS; KOCH, 1977).....	31
Tabela 4: Escala de Importância entre os critérios na AHP.	33
Tabela 5: Valores empíricos do índice de Consistência Aleatória (RI).	34
Tabela 6: Área dos solos no perímetro urbano de Itajubá (MG).....	39
Tabela 7: Dados espaciais utilizados.	43
Tabela 8: Descrição dos fatores relacionados ao mapa de solos.	47
Tabela 9: Separação dos fatores referentes ao mapa de solos nas classes adequada e restrita.	48
Tabela 10: Valores presentes no mapa de solos de Itajubá, gerado por Gonçalves (2019). ..	48
Tabela 11: Valores atribuídos as classes de cada mapa, e seu autovetor normalizado (w).....	50
Tabela 12: Valores atribuídos as ordens dos solos, a partir dos fatores relacionados ao mapa de solos.	50
Tabela 13: Matriz AHP para a obtenção da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, e o autovetor (w).	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	OS SOLOS URBANOS	19
3.2	SUSTENTABILIDADE DO MEIO URBANO	22
3.3	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO MEIO URBANO.....	23
3.4	PLANO DIRETOR DE ITAJUBÁ (MG)	24
3.4.1	Zoneamento Municipal	25
3.5	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS URBANAS	27
3.6	GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS	28
3.6.1	Classificação de Imagens Multiespectrais	28
3.6.1.1	<i>Acurácia</i>	30
3.6.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	31
3.7	PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO.....	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
4.1.1.1	<i>Geologia</i>	37
4.1.1.2	<i>Solos</i>	38
4.1.1.3	<i>Suscetibilidade a Movimentos de Massa</i>	39
4.1.1.4	<i>Suscetibilidade à Erosão</i>	40
4.1.1.5	<i>Suscetibilidade à Inundação</i>	41
4.1.1.6	<i>Potencial de Alagamentos</i>	42
4.2	AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS	42
4.3	MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	43
4.3.1	Áreas com Processos de Degradação	44
4.4	MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS	45
4.4.1	Mapeamento da Suscetibilidade à Erosão	46

4.4.2	Mapeamento do Potencial de Alagamentos.....	46
4.4.3	Fatores presentes no mapa de solos de Itajubá.....	47
4.4.4	Mapeamento da Capacidade de Uso e Ocupação dos solos urbanos.....	48
4.4.5	Distância das Drenagens e Distância da Área Construída.	52
4.5	LEVANTAMENTO AÉREO DE IMAGENS	52
4.6	CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS URBANOS E POSSÍVEIS CONFLITOS EXISTENTES	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO PERÍMETRO URBANO DE ITAJUBÁ (MG).....	54
5.1.1	Áreas Degradadas.....	56
5.2	FATORES DO MEIO FÍSICO.....	59
5.3	MAPAS DE DISTÂNCIA DOS CORPOS HÍDRICOS E DISTÂNCIA DA ÁREA CONSTRUÍDA	63
5.4	MAPA DE CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS DE ITAJUBÁ	64
5.4.1	ANÁLISE DO USO DO SOLO POR MEIO DO LEVANTAMENTO AÉREO	69
5.5	ANÁLISE DOS POSSÍVEIS CONFLITOS EXISTENTES.....	86
6	CONCLUSÕES.....	91
	REFERÊNCIAS.....	92
	ANEXO I –MAPA DE ZONEAMENTO URBANO E ÁREAS ESPECIAIS 2019.	99

1 INTRODUÇÃO

Segundo Gomes e Pinto (2020), a concentração de pessoas em locais onde se buscava trabalho e acúmulo de capital fez com que surgissem os centros urbanos. Nas aglomerações urbanas é encontrado um número maior de oportunidades de ocupação, obtenção de rendimentos, acesso à educação e serviços de saúde, além de outros benefícios e facilidades proporcionados ao dia a dia do homem (MAMMARELLA, 2001).

O processo de expansão dos centros urbanos costuma ser contínuo e em uma velocidade em que o Estado não é capaz de suprir as necessidades do planejamento urbano e evitar os problemas gerados pelas ocupações irregulares da terra e o crescimento desordenado (GOMES; PINTO, 2020).

Para Pedrón et al. (2006), quando a expansão dos centros urbanos acontece de modo recorrente e intenso sobre áreas consideradas como rurais, resulta em uma situação de caos urbano, sendo caracterizado pelo aumento da degradação de áreas ecológicas importantes ao ambiente natural.

A necessidade atual de um crescimento urbano sustentável obriga que os gestores tenham cada vez mais conhecimento sobre o planejamento urbano atrelado à sustentabilidade. De acordo com Fabrício et al. (2019), o planejamento urbano deve buscar promover o desenvolvimento de serviços básicos e da infraestrutura local, estando geograficamente interligados e possuindo uma implementação harmônica, assegurando que o uso do solo seja compatível com a sustentabilidade.

Dentre os instrumentos que podem auxiliar os gestores no planejamento urbano está o Plano Diretor Municipal, que é o principal instrumento para a gestão territorial, sendo responsável por regular o uso do solo e definir os direitos de propriedade (BUENO; CYMBALISTA, 2007). Segundo Santos et al. (2021), o plano diretor é ainda um documento que deve contemplar, com um diagnóstico fidedigno, as realidades do meio físico, social, econômico, político, cultural e administrativo de um município.

Os solos são indispensáveis para a vida humana por serem necessários para a produção de insumos e utilizados como moradia. Por apresentarem características não renováveis é fundamental que seja estabelecido e implementado o seu uso sustentável (JIALI et al., 2021; JINGXIN et al., 2022).

Os solos urbanos podem ser definidos como solos que estão sobre forte influência humana na paisagem urbana e suburbana, e os presentes em áreas onde há atividade urbana como a industrial, militar, infraestrutura, construção e mineração (De Kimpe; Morel, 2000; Lehman; Stahr, 2007). Solos urbanos tem grande importância no fornecimento de serviços ecossistêmicos nas cidades que buscam o crescimento sustentável, por terem funções de armazenamento de carbono e regulação do clima, fornecimento de biomassa para alimentação e regulação do fluxo de água e benefícios recreativos (O'RIORDAN et al., 2021).

Portanto, ao se analisar os solos urbanos de uma cidade são obtidas informações relevantes sobre quais atividades antrópicas podem ser suportadas pelos solos urbanos no local, e ser utilizado um manejo que vise o crescimento urbano aliado a sustentabilidade, minimizando a degradação existente no meio urbano.

Para isso temos como objeto de estudo a cidade de Itajubá (MG), que teve seu Plano Diretor Municipal instituído ao final do ano de 2019 pela Lei Municipal nº 3.352 (ITAJUBÁ, 2019), estabelecendo as diretrizes para as políticas de desenvolvimento e expansão urbana. Neste contexto, questiona-se se Itajubá (MG) apresenta o uso e ocupação dos solos urbanos correspondente à aptidão do seu meio físico e à expansão urbana sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo identificar a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG), por meio da análise de fatores do meio físico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de se atingir o objetivo geral do estudo, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Itajubá (MG).
- Desenvolver uma metodologia de avaliação da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos.
- Identificar as áreas que possuem conflito entre as classes de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, com seu uso e ocupação atual, bem como com o zoneamento urbano municipal.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada neste trabalho é dividida em sete partes. Nas partes iniciais são trazidas breves contextualizações acerca dos solos urbanos, da sustentabilidade urbana, e as adversidades que os solos urbanos trazem ao cotidiano do planejamento urbano. Posteriormente, são discutidas as formas de estudos que buscam a avaliação dos solos urbanos e a aplicação das geotecnologias no mapeamento dos usos e ocupação do solo. Por fim, é discutida a técnica que será utilizada para a realização da integração dos diferentes tipos de dados utilizados.

3.1 OS SOLOS URBANOS

Os solos urbanos tem um papel de extrema importância no ecossistema urbano, por isso, sua compreensão é fundamental na aplicação do manejo adequado dos mesmos (FURQUIM; ALMEIDA, 2022).

Os crescimentos de estudos sobre os solos urbanos ocorreram de forma substancial após 1950, tendo seu auge na década de 1990, devido a levantamentos de solos que ocorreram principalmente em cidades no hemisfério norte, no qual visavam o apoio ao planejamento das cidades (BURGHARDT et al., 2015; BURGHARDT, 2017). Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as definições dos solos desenvolvidos dentro do ambiente urbano, independente do quanto de perturbação esses solos sofreram.

Tabela 1: Definição dos solos urbanos e termos similares.

Autor	Termo	Definição
Bockheim (1974)	solo urbano	“Um material de solo com uma camada superficial não agrícola, artificial, com mais de 50 cm de espessura, que foi produzido por mistura, enchimento ou por contaminação da superfície do solo em áreas urbanas e suburbanas”.
Craul (1985)	solo urbano	“Um material que foi manipulado, perturbado ou transportado pelas atividades do homem no ambiente urbano e é usado como um meio para crescimento da planta”.
Craul (1992)	solos urbanos	“...solos compostos em grande parte por uma mistura de materiais diferentes dos das áreas agrícolas ou florestais adjacentes, apresentando uma camada superficial superior a 50 cm, e profundamente transformados pela atividade humana através mistura, importação e exportação de material, e por contaminação”.
Hollis (1991)	Solo (definição que abrange solos urbanos)	“Qualquer mineral não consolidado ou material orgânico na superfície da Terra que tem o potencial para apoiar o crescimento da planta”.

Fonte: Furquim e Almeida (2022).

Tabela 2: Continuação da Tabela 1.

Autor	Termo	Definição
De Kimpe e Morel (2000)	solos urbanos	“...todos os solos influenciados extensivamente por atividades humanas na paisagem urbana.” “...solos que estão sob forte influência humana na paisagem urbana e suburbana, a fim de diferenciá-los de outros solos fortemente perturbados, como pedreiras, minas e rejeitos de minas e aeródromos.”
Pedron et al. (2004)	solos urbanos	“...solos que estão no meio urbano e geralmente são alterados por atividades urbanas.”
Lehmann e Stahr (2007)	Solo urbano antropogênico	“...este termo refere-se amplamente a solos profundamente afetados pela urbanização, cobrindo solos antropogênicos internos e extra-urbanos (presentes nas áreas de mineração, indústria, infraestrutura, construção e atividades bélicas).”
Lehmann e Stahr (2007)	solos urbanos	“Cobrindo solos antropogênicos e naturais (dentro das cidades).”
Rossiter (2007)	solos urbanos	“...todos os solos que ocorrem em áreas urbanas e industriais.”
Santos Júnior (2008)	solo urbano	“... mineral não consolidado e/ou material orgânico na superfície da Terra com alteração, por mistura, deposição ou contaminação por diversos materiais, causada por atividades humanas em áreas urbanas ou urbanizadas e não relacionados com a produção agrícola, que sejam capazes de sustentar desenvolvimento da planta...”
Meuser (2010)	solos urbanos	“...são solos em áreas urbanas e suburbanas constituídos por depósitos antrópicos com materiais naturais (minerais, orgânicos) e tecnogênicos, formados e modificados por corte, enchimento, mistura, intrusão de líquidos e gases, vedação e contaminação...”. “Segundo a definição, os solos urbanos estão relacionados com áreas específicas, nomeadamente áreas urbanas e suburbanas. Nesse sentido, os setores industriais, de trânsito áreas de mineração também podem pertencer às áreas de preocupação”.
Hazelton e Murphy (2011)	solos urbanos	“...pode ser considerado um solo natural ou um solo antropizado (Antropossolo) ou um Tecnossolo (um solo desenvolvido em solos não tradicionais substratos e em grande parte devido à intensa atividade humana...).”
Morel et al. (2015)	SUITMA (solos urbanos, industriais, rodoviários, mineiros e áreas militares)	“...variam de solos levemente modificados a solos intensamente manejados e solos perturbados...”
Morel et al. (2017)	solo urbano	“É sinônimo de SUITMA (solos de uso urbano, industrial, de trânsito, de mineração e áreas militares)”.
Morel et al. (2017)	SUITMA (solos urbanos, industriais, rodoviários, mineiros e áreas militares)	“...todos os solos sob forte influência humana...” (o termo foi proposto para) “...ênfatar que os chamados “solos urbanos” são encontrados em uma grande variedade de áreas fortemente antropizadas”

Fonte: Furquim e Almeida (2022).

Os solos urbanos possuem múltiplas funções como: fonte de matéria prima para a realização de obras; manutenção das agriculturas urbanas, suburbanas e áreas verdes; descarte de resíduos e armazenamento e filtragem de águas pluviais, dentre outras. A destinação incorreta dos solos urbanos pode acarretar em inúmeros processos que levam à degradação do meio e, como consequência, à perda da qualidade de vida da população, além de outros danos irreparáveis ou de recuperação sem viabilidade (PEDRÓN et al., 2006).

Alguns autores acrescentam aos solos urbanos, todos aqueles solos que de alguma maneira são afetados pelas modificações promovidas pelas atividades de origem antrópica, englobando as áreas minerais, industriais, de tráfego e militares (Lehman e Stahr, 2007; Rossiter, 2007; Meuser, 2010; Morel et al., 2017). Logo, os solos que anteriormente eram utilizados para fins agrícolas ou de preservação, passam a ter uma maior relevância no planejamento do meio urbano.

O crescimento dos estudos sobre os solos urbanos está relacionado principalmente a expansão das áreas edificadas nas cidades, que conseqüentemente geram áreas com uma maior impermeabilização, o qual é um dos processos de degradação do solo de mais complexa reversão (AMUNDSON et al., 2015).

Quando o aumento dos solos urbanos, ocasionado pela expansão da urbanização não é realizado de forma planejada, contribui com a deterioração do meio e amplifica processos de degradação dos solos. Morello et al. (2020), ao analisarem a expansão urbana sobre terras consideradas férteis em uma área piloto verificaram o esgotamento e deterioração dos recursos nas proximidades dessa área, o que ocasiona uma diminuição dos serviços ecossistêmicos fornecidos nessa região.

O’Riordan et al. (2021), destacam a importância dos solos urbanos no fornecimento de serviços ecossistêmicos, devido a sua multifuncionalidade o que os torna em áreas chaves para o futuro. Ou seja, a atividade antrópica ao gerar novos solos urbanos com um planejamento e manejo adequado dessas transformações, pode contribuir para um crescimento urbano sustentável.

Furquim e Almeida (2022) ao analisarem o histórico sobre a produção científica em relação aos solos urbanos no Brasil, destacam que há um crescimento no número de publicações sobre os solos urbanos, onde a maior parte das pesquisas científicas são realizadas por grupos de pesquisa de universidades das regiões sul e sudeste, em que o foco são estudos de casos em bairros e cidades de grande e médio porte. Onde tais estudos comumente têm ênfase na caracterização, classificação, mapeamento e contaminação do solo, além de análises de erosão do solo, mineralogia, relações com o meio ambiente e doenças urbanas.

Apesar de a produção científica sobre os solos urbanos ter aumentado nos últimos anos, poucas cidades brasileiras possuem estudos sobre os solos urbanos presentes em seu território, o que pode dificultar tanto o crescimento urbano de forma sustentável, quanto o planejamento urbano a ser executado pela administração pública.

3.2 SUSTENTABILIDADE DO MEIO URBANO

A crescente e constante expansão urbana das cidades para áreas destinadas anteriormente ao uso agrícola ou de proteção ambiental, em decorrência de fatores como a má gestão do espaço urbano, a especulação imobiliária, políticas públicas não inclusivas e outros fatores, agravam as desigualdades sociais ao condicionarem a população carente para regiões sem infraestrutura adequada, desfavorecendo o desenvolvimento sustentável das cidades (GOMES; ZAMBAM, 2018).

A organização dos espaços urbanos abrange o planejamento e manutenção de diversos ecossistemas existentes dentro de uma cidade, incluindo os meios físicos, econômicos, ambientais e sociais (GUIMARÃES; PASQUALETTO; MAGALHÃES, 2021). Segundo Santos et al. (2021), o planejamento urbano nas cidades brasileiras tem ocupado uma posição de destaque, devido ao aumento das irregularidades fundiárias que potencializam o surgimento de múltiplos problemas estruturais, ambientais e sociais, tendo a necessidade de serem corrigidas para a melhora da qualidade do espaço urbano.

Em conjunto com o interesse pelo planejamento urbano está a temática da sustentabilidade, que se torna cada vez mais necessária em nosso dia a dia ao promover ações com base nos conceitos de desenvolvimento e crescimento sustentável (DOTTO; SILVA, 2019). A sustentabilidade é uma aliada do planejamento urbano, sendo ao mesmo tempo uma meta, um processo e um interesse do todo, envolta por certas particularidades e múltiplos interesses locais (HECK et al., 2018; SOTTO et al., 2019).

A sustentabilidade urbana pode ser caracterizada como um horizonte onde os recursos naturais são utilizados de forma a maximizar o seu potencial de uso, obtendo maior eficácia e manutenção da qualidade de vida, de acordo com o limiar possível de exploração do meio. Os impactos ambientais e sociais provocados pela urbanização desordenada são a principal barreira na busca da concretização do desenvolvimento sustentável urbano (SHEN et al., 2012).

Denota-se que a sustentabilidade do meio urbano está diretamente relacionada ao planejamento urbano, e este é o responsável pela correção dos excessos da expansão urbana e da interferência causada ao ambiente, “cabendo a ordenação e controle do uso do solo que disciplinam a instalação e o desenvolvimento dos empreendimentos no espaço da cidade” (GRANZIERA, 2009; BODNAR; PRIESS; BIANCHI, 2019).

3.3 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO MEIO URBANO

O Decreto Federal 97.632/89 (BRASIL, 1989) define as áreas degradadas como locais onde existem (ou existiram) processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

De acordo com Santos (2007 apud STANGANINI; LOLLO, 2018), a forma como o espaço é ocupado provoca sucessivos e incontáveis danos ambientais como degradação da cobertura vegetal, perda de biodiversidade, obstrução e alteração das redes de drenagem, transmissão de doenças de veiculação hídrica, contaminação e poluição do ar, da água e do solo, perda de terras produtivas, desencadeamento de processos erosivos, entre outros.

As áreas degradadas nas regiões urbanas comumente estão associadas direta ou indiretamente à expansão urbana e tem motivado estudos relacionados à gestão, ao planejamento e ao ordenamento territorial (STANGANINI; LOLLO, 2018).

Segundo Rubira (2016), a proximidade de reservas ambientais ou áreas de proteção permanente ao meio urbano, sujeita essas áreas a uma série de modificações adversas devido à própria proximidade com a urbanização, fazendo com que a degradação antrópica que sofrem seja praticamente inevitável.

Essa degradação pode ser impulsionada, principalmente, em territórios com características desfavoráveis à urbanização que são menos valorizados e deixados de lado pelo parcelamento da cidade formal, e são ocupados de forma desorganizada por uma população que vive em condições de precariedade social e urbana (FREITAS, 2014).

Stanganini e Lollo (2018) afirmam ainda que, pelo fato de o poder público desconhecer os condicionantes do meio físico em áreas de expansão urbana, ocasiona o favorecimento de impactos ambientais e a degradação do meio.

Diante desse quadro, o levantamento e a identificação das áreas degradadas contidas no meio urbano são fundamentais para o monitoramento, controle, planejamento e gestão do espaço territorial urbano. E, ainda, podem servir como termômetro para auxiliar na identificação de áreas que possuem destinações diferentes de uso e ocupação da capacidade de uso mapeada. Para isso, ferramentas como os planos diretores podem ser fundamentais e nortear o caminho em busca da sustentabilidade urbana nas cidades brasileiras.

3.4 PLANO DIRETOR DE ITAJUBÁ (MG)

Segundo Lacerda et al. (2005), o plano diretor busca orientar a tomada de ações dos gestores públicos e privados nos processos do desenvolvimento municipal, tendo suma importância no caráter estratégico-normativo.

Os planejadores urbanos enfrentam problemas urbanos ambientais (alagamentos, enchentes, movimentação de taludes, erosão, etc...) nas cidades brasileiras que costumam permanecer os mesmos ao decorrer do tempo, mas que se tornam mais volumosos e complexos, vindo a possuir resoluções mais difíceis (ULTRAMARI; REZENDE, 2008). Devido a isso, cabe não somente aos gestores, mas à sociedade como um todo, a cobrança pela elaboração, manutenção e renovação dos Planos Diretores.

O Plano Diretor da cidade de Itajubá (MG) foi aprovado pela sua câmara municipal em dezembro de 2019, no qual é importante ressaltar que nele foram estabelecidos os princípios que regem a Política de Desenvolvimento e Expansão Urbana do Município e o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município (ITAJUBÁ, 2019), sendo eles de acordo com o Art. 3º da Lei nº 3.352:

- I - Função Social da Cidade;
- II - Função Social da Propriedade Urbana;
- III - Função Social da Propriedade Rural;
- IV - Equidade e Inclusão Social e Territorial;
- V - Direito à Cidade;
- VI - Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado;
- VII - Gestão Democrática.

Em seu Art. 5º, A Lei nº3.352 define que o Plano Diretor tem como objetivo geral o desenvolvimento das funções socioambientais da propriedade e da cidade, e o pleno exercício da cidadania. Também é estabelecida uma série de objetivos especiais, dos quais se destacam:

- I – o ordenamento do pleno desenvolvimento do Município no plano social, adequando a ocupação e o uso do solo à função social da propriedade;
- V – a promoção adequada da distribuição espacial dos contingentes populacionais;
- XI – a promoção da gestão democrática e integrada.

Ainda, em seu Art. 6º que trata dos eixos estratégicos e reforçados no Art. 10º, são informadas as diretrizes estratégicas que visam a sustentabilidade ambiental e a prevenção contra enchentes no município. Logo, é possível afirmar que o Plano Diretor da cidade de Itajubá (MG), por meio de seu conteúdo transcrito na Lei nº 3.352 (ITAJUBÁ, 2019), busca promover o desenvolvimento urbano sustentável.

3.4.1 Zoneamento Municipal

O Plano Diretor estabelece também o Zoneamento Municipal (ANEXO I), dividindo a cidade em Zona Urbana (ZU) e Zona Rural (ZR). A ZU é definida como espaços de usos diversificados, destinados à instalação de usos residenciais e não residenciais, segundo critérios gerais de compatibilidade de incômodo e qualidade ambiental, tendo como referência o uso residencial. A ZU é subdividida em três zonas: Zona Adensável (ZAD), Zona de Adensamento Restrito (ZAR) e Zona de Expansão Urbana (ZEU); as quais devem estar contidas no perímetro urbano (ITAJUBÁ, 2019).

Segundo o Plano Diretor de Itajubá (MG), as ZAD são as áreas urbanizadas passíveis de adensamento, em virtude de condições favoráveis do meio físico, infraestruturas e características do uso do solo. Já as ZAR são áreas urbanizadas não passíveis de adensamento, em virtude de restrições ambientais e condições desfavoráveis de infraestruturas e características do uso do solo. Por fim, as ZEU são áreas não urbanizadas e propícias ao parcelamento, ocupação e uso do solo, e que não estejam situadas em ZAD ou ZAR (ITAJUBÁ, 2019).

Dentro do perímetro urbano existem as Áreas Especiais que, devido as suas características específicas, demandam políticas de intervenção e parâmetros urbanísticos diferenciados, os quais prevalecem sobre os do zoneamento, sendo compostas pelas: Área Central (AC); Área de Controle de Risco de Inundação (ACRI); Área de Referência do Sapucaí (ARES); Área de Interesse Econômico (AIE); Área de Interesse Tecnológico (AIT); Área de Interesse Social (AIS); Área de Interesse Cultural (AIC); Área de Interesse Ambiental (AIA); Área Especial Residencial (AER); Área Especial Rural (AERU) (ITAJUBÁ, 2019).

A AC compreende a área identificada e vivenciada como centro urbano, e possui o objetivo de preservação da ambiência e da paisagem construída e manutenção da vitalidade do centro como lugar do encontro e das trocas.

Já a ACRI compreende a área inundada pela última grande cheia do Rio Sapucaí, visando o controle especial do parcelamento, ocupação e uso do solo no sentido da proteção contra enchentes, sendo o uso residencial, especialmente o residencial multifamiliar, objeto de medidas prioritárias de proteção (ITAJUBÁ, 2019).

A ARES compreende uma faixa ao longo do Rio Sapucaí, com largura mínima de 50,00m a partir de cada margem do Rio, objetivando o reforço da presença do Rio como referência positiva da cidade. As AIE compreendem áreas destinadas, prioritariamente, ao desenvolvimento de indústrias e serviços de produção, por serem potencialmente geradoras de poluição ambiental e volume significativo de tráfego de cargas. Já as AIT são áreas destinadas ao parque universitário, centros de pesquisa e desenvolvimento, centros de serviços de alta tecnologia e demais usos tecnológicos (ITAJUBÁ, 2019).

As AIS correspondem às áreas urbanas destinadas, predominantemente, à moradia de população de baixa renda. As AIC são áreas voltadas para a preservação e a valorização de conjuntos de referência históricos culturais resultantes da presença de traçados e tipologias urbanísticas, arquitetônicas e paisagísticas que configuram a identidade do lugar (ITAJUBÁ, 2019).

As AIA são locais que concentram remanescentes florestais expressivos, mata em regeneração ou por estarem em cota superior 950,00m acima do nível do mar, são especialmente importantes para a preservação de mananciais e ecossistemas. As AER são bairros destinados à manutenção da ambiência marcada pelas características atuais do uso e da ocupação do solo predominantemente residencial, com possibilidade de atividades de comércio e serviços de apoio à moradia. Por fim, as AERU são áreas localizadas na Zona Rural e cuja ocupação apresenta características urbanas que justifiquem o interesse público de promover a regularização fundiária (ITAJUBÁ, 2019).

O plano diretor de Itajubá em sua criação não considera os solos urbanos como um dos fatores de importância para as políticas de uso e ocupação do solo no perímetro urbano, o que pode ocasionar conflitos entre os usos existentes e a capacidade dos solos urbanos de atenderem as demandas de usos.

3.5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS URBANAS

Dentre as diversas metodologias para a avaliação do uso e ocupação dos solos urbanos, existem as que trabalham com um foco maior voltado para os solos e em suas propriedades, e aquelas que se utilizam principalmente dados geográficos (mapas) e imagens de satélites aplicando técnicas de geoprocessamento para um maior entendimento do solo urbano.

Entre as mais relevantes daquelas com um foco mais aplicado aos solos, destacam-se o método desenvolvido por Pedrón (2005) e Pedrón et al. (2006), em que propõe um Sistema de Avaliação do Potencial de Uso Urbano das Terras (SAPUT), que foi inspirado em técnicas aplicadas para áreas rurais, com o objetivo do máximo aproveitamento do solo urbano e minimização dos processos de degradação do solo.

A metodologia do SAPUT é baseada em quatro classes apresentando diferentes usos do solo compreendendo: disposição de resíduos (orgânico atóxico e inorgânico atóxico; orgânico tóxico e inorgânico tóxico), construção urbana (lazer/ áreas verdes, comercial/residencial e industrial), agricultura urbana (silvicultura, pastagem, olericultura, fruticultura, cultura anual) e preservação ambiental. Os autores se baseiam em mapeamentos de semidetalhes, legislações sobre as áreas de preservação e fatores restritivos para a produção de um mapa de potencial de uso do solo urbano (Figura 1).

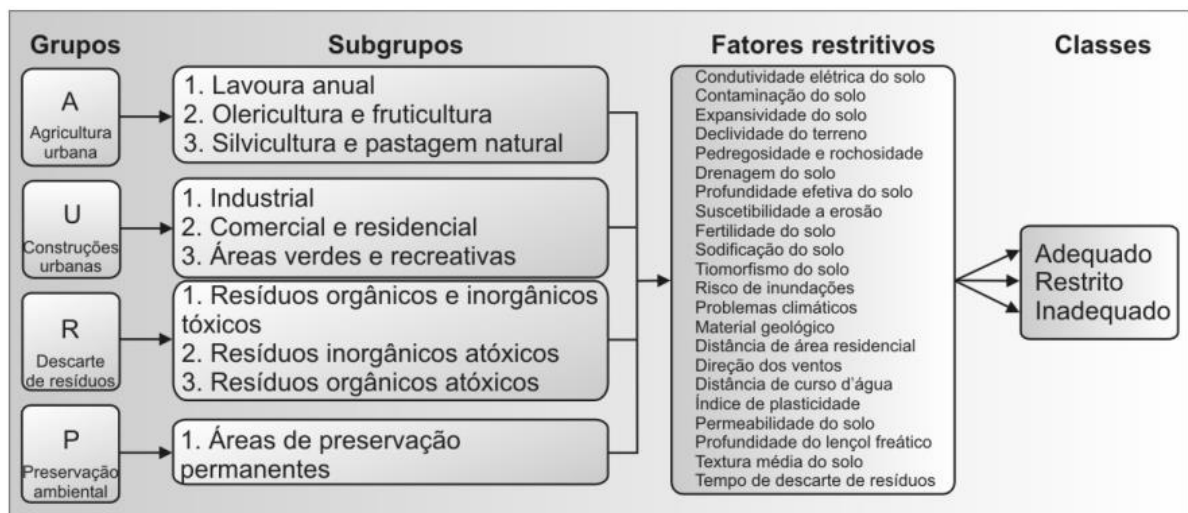


Figura 1: Organograma do Sistema de Avaliação do Potencial de Uso das Terras urbanas, Pedrón (2005).

A metodologia do SAPUT visa principalmente a utilização de parâmetros pedológicos que podem ser obtidos por meio de mapas de solos, associados a parâmetros ambientais. Pedrón et al. (2006) e Souza et al. (2014), ao utilizarem o SAPUT obtiveram resultados significativos, na classificação da capacidade de uso das terras contidas em áreas urbanas.

Já, em relação as metodologias de avaliações do solo urbano que priorizam a utilização de imagens de satélite, mapas e técnicas de geoprocessamento, são em sua maioria estudos em que não há um foco tão grande nas propriedades dos solos urbanos, mas priorizam a avaliação geoespacial, com a utilização de inúmeras técnicas de geoprocessamento para analisar o uso e a ocupação dos solos urbanos atuais, assim como as mudanças decorrentes nesses solos urbanos ao longo do tempo.

Como exemplo temos os estudos de Sebusianne e Bettine (2011); Tavares, Pato e Magalhães (2012), Santos et al. (2020), Zang et al. (2007), que analisam a o uso e a ocupação dos solos urbanos.

3.6 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS

Um grande aliado nos estudos de uso da terra são as geotecnologias que possibilitam a rápida coleta e processamento de dados referente às coberturas na superfície terrestre.

Segundo Câmara e Davis (2001) o geoprocessamento é definido como um aglomerado de técnicas matemáticas e computacionais, utilizadas no tratamento de informações geográficas. Estão interligadas à coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, possuindo a finalidade de gerar novos dados e ou informações espaciais georreferenciadas (ZAIDAN, 2017).

As técnicas de geoprocessamento são uma importante ferramenta para o mapeamento do uso e ocupação do solo, sendo amplamente utilizadas por obterem resultados significativos em um curto período de tempo e com baixo custo.

3.6.1 Classificação de Imagens Multiespectrais

Para Crósta (1999) a classificação automática de imagens multiespectrais corresponde à associação dos pixels de uma imagem a um determinado rótulo que descreve um objeto real.

Os valores atribuídos aos pixels são definidos pela reflectância dos materiais que os compõem, ao serem identificados de acordo com o tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, solo, vegetação, rocha, etc.), posteriormente sendo denominados como temas (CROSTA, 1999).

A classificação de imagens possui extrema relevância na obtenção de informações relacionadas às atividades realizadas sobre a superfície terrestre (RAI et al., 2020).

Tal técnica possibilita a comparação e caracterização das paisagens, a gestão ambiental, o ordenamento do território, além do auxílio à modelagem e monitoramento das alterações da paisagem (STEVIC et al., 2016).

As classificações de imagens são divididas em dois grupos de métodos: os supervisionados e os não supervisionados (VIEIRA; VIANA, 2021; MACHADO et al., 2022).

A classificação não supervisionada envolve a seleção de grupos de pixels de uma imagem com base nas propriedades desses pixels por meio de um algoritmo, onde o algoritmo de agrupamento seleciona os grupos e organiza-os em classes de distribuição do terreno. Alguns dos algoritmos de classificação mais utilizados são K-Média e ISODATA (VIJAYALAKSHMI; KUMAR; ARUN, 2021).

O algoritmo ISODATA baseia-se na identificação das nuvens de pontos contidas nos agrupamentos de pixels que possuem atributos similares, transformando-os em classes únicas (VIEIRA; VIANA, 2021; MAHBOOB; GENC, 2019; ABBAS et al., 2016). Já o algoritmo K-Média é baseado na partição, executando o agrupamento dos pixels por meio de um processo de iteração contínua (WANG; LI; WANG, 2018; KHAN, 2016). Ele funciona atribuindo valores (K) ao centro dos grupos de pixels, associando cada ponto ao centro mais próximo, recalculando o centro de cada grupo e repetindo o processo até que os elementos parem de mudar de grupo (VIEIRA; VIANA, 2021; ABBAS et al., 2016).

A classificação supervisionada funciona a partir da seleção dos grupos de pixels pelo usuário, onde são selecionadas amostras específicas de classes pré-estabelecidas, onde o algoritmo precisa passar por um treinamento para que seja possível a distinção entre as classes definidas, identificando os grupos de pixels semelhantes e os agrupando de acordo com seus padrões (MACHADO et al., 2022). A classificação supervisionada tornou-se o tipo de classificador de imagens mais utilizado para as análises quantitativas das imagens de sensoriamento remoto (MA et al., 2017; COSTA; FOODY; BOYD, 2018).

Dentre os diversos algoritmos de classificação supervisionada existentes, a máxima verossimilhança (MAXVER), é um dos mais utilizados no mundo (PHAM et al., 2019), em trabalhos sobre a cobertura e uso do solo, pois, atinge resultados satisfatórios com imagens de satélite que possuem resoluções espaciais que variam de médias a baixas (LU, HETRIK; MORAN, 2011).

De acordo com Vieira e Viana (2021), a maxver calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma das classes determinadas pelo usuário, onde as amostras de treinamento (normal ou gaussiana) são descritas pelo vetor de média e pela matriz de covariância do pixel.

Portanto, o algoritmo pondera as distâncias entre as médias dos valores dos pixels a partir de parâmetros estatísticos.

3.6.1.1 Acurácia

A validação dos resultados encontrados pela classificação supervisionada pode ser comprovada com a utilização de técnicas de validação. Na qual, a validação da qualidade dos dados obtidos pode ser realizada por meio da aplicação de matrizes de erro (CONGALTON; GREEN, 2009).

Segundo Prina e Trentin (2015) a matriz de erro retrata a qualidade obtida em uma classificação digital de imagem, sendo representada pela correlação dos dados classificados com os dados de referência (reais).

O coeficiente Kappa é uma das principais variáveis que podem ser quantificadas para a quantificação da acurácia na matriz de erro, e representa o quanto a classificação realizada concorda com os índices de referência (MASTELLA; VIEIRA, 2018). O kappa é calculado de acordo com a seguinte Equação (1) de Ma e Redmond (1995):

$$Kappa = \frac{n \sum_{i=1}^m x_i - \sum_{i=1}^m (x_{i+} + x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^m (x_{i+} + x_{+i})} \quad (1)$$

Em que n = número total de observações; $x_{i+} + x_{+i}$ = somatório na linha e na coluna, respectivamente; e M = número de temas mapeados.

Os valores identificados do Kappa recebem a seguinte classificação de acordo com a sua qualidade na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela de valores para o índice kappa (LANDIS; KOCH, 1977).

Índice Kappa	Qualidade
0.00	Péssima
0.01 – 0.20	Ruim
0.21 -0.40	Razoável
0.41 – 0.60	Boa
0.61 – 0.80	Muito Boa
0.81 – 1.00	Excelente

3.6.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Segundo Ponzoni et al. (2012), as folhas apresentam uma baixa reflectância na região do espectro visível devido a ação dos pigmentos fotossintetizantes, e uma alta reflectância na região do infravermelho, em decorrência do espalhamento da radiação no interior das folhas. Sendo assim, a aplicação de um índice de vegetação que explore as propriedades espectrais das folhas é fundamental nas análises da cobertura da superfície terrestre.

Huang et al. (2021) afirmam que o NDVI apresenta uma rápida capacidade de delinear a vegetação e o estresse vegetativo, propiciando a sua ampla utilização nos estudos do uso do solo e na agricultura.

Devido às folhas apresentarem uma maior reflectância nas faixas do infravermelho próximo (NIR), e menor reflectância nas faixas do vermelho (RED), o NDVI analisa as diferenças existentes entre essas faixas de comprimento de onda e indica as regiões que apresentam vegetação saudável, com estresse vegetativo ou sem nenhum tipo de cobertura vegetal (COSTA et al., 2020).

O NDVI é calculado de acordo com a Equação 2 (HUETE et al., 2002).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

A partir do NDVI é possível estimar as áreas recobertas por vegetação e as áreas com ausência de vegetação. Quando os valores encontrados no NDVI estão mais próximos de 1, indicam que essa área apresenta vegetação densa (matas nativas, áreas de reflorestamento e silvicultura), se os valores estão mais próximos de 0, indica que essas regiões apresentam pouquíssima ou nenhuma cobertura vegetal no solo (solo exposto, áreas urbanizadas, pastagens secas), valores menores que zero representam a água (PONZONI et al., 2012). Portanto, esse índice pode ser de grande utilidade ao se analisarem áreas degradadas que apresentam solo exposto.

3.7 PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO

Para realizar a integração entre os dados de uso e ocupação do solo com os fatores do meio físico, podem ser aplicados métodos de decisão multicritério que unem diferentes tipos de dados.

De acordo com Tiba e Azevedo (2020), o Processo Analítico Hierárquico (AHP) é um dos principais métodos de Análise de Decisão Multicritério (MDA), tendo sido desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty em meados da década de 1980. O objetivo principal do método AHP é a divisão de um problema em partes menores, criando uma espécie de hierarquia para a resolução do problema, facilitando que o tomador da decisão se concentre em um número limitado de elementos (GNANAVELBABUA, ARUNAGIRIB, 2018).

Segundo Saaty (1980), para que esse objetivo seja atingido é necessário que os critérios a serem analisados sejam agrupados em níveis hierárquicos, formando uma matriz quadrada, na qual os critérios são comparados entre si (comparação par a par), considerando o grau de importância que cada um representa diante do grupo.

Conseqüentemente, tem-se que cada julgamento representa a dominância que um critério da coluna à esquerda tem sobre um critério da linha no topo.

Saaty (1990) ainda propõe a utilização de uma matriz de comparação par a par $A = [a_{ij}]n \times n$, dentro da AHP para a definição dos pesos dos critérios, onde n é o número de critérios que influenciam na tomada de decisão. Com a matriz sendo recíproca, ou seja, cada um dos valores de importância (a_{ij}) resultante da comparação entre dois critérios, equivale a $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$, quando $i \neq j$, e a diagonal da matriz, quando $i = j$ (comparação de um critério com ele mesmo) equivale a $a_{ij} = 1$ (Figura 2).

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Figura 2: Comparação de critérios Matriz A.

A comparação entre os critérios é realizada utilizando-se a escala de importância relativa, que varia de 1 a 9, conforme a Tabela 4. Essa tabela fornece a intensidade da relação entre os pares de critérios analisados (Silva et al., 2020).

Tabela 4: Escala de Importância entre os critérios na AHP.

Valores de Importância	Valores de Importância Recíprocos	Importância
1	1	Importância igual
3	1/3	Importância moderada
5	1/5	Importância forte
7	1/7	Importância muito forte
9	1/9	Importância extrema
2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valores Intermediários

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2020).

Posteriormente a atribuição dos pesos (prioridade global), é necessária a avaliação da consistência do modelo pelo chamado Grau de Consistência (CR), que é calculado a partir das equações (3) e (4) a seguir:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Onde:

CI: Índice de Consistência.

RI: Índice de Consistência Aleatória, valores de referência e calculados em laboratório, apresentados na Tabela 5, em função do número de critérios (n).

$\lambda_{\text{máx}}$: máximo autovalor, equação (5).

n: número de critérios

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \frac{w'_3}{w_3} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (5)$$

Onde: $w' = A \times w$.

Tabela 5: Valores empíricos do índice de Consistência Aleatória (RI).

Ordem da Matriz (n)	RI	Ordem da Matriz (n)	RI
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	1,12	10	1,49

Fonte: Saaty (1980).

Caso o valor encontrado para CR for maior ou igual a 0,1, os valores de julgamento na matriz de comparação pareada dos critérios devem ser revisados, pois não apresentam consistência o suficiente para a estimativa dos pesos (TIBA; AZEVÊDO, 2020). Mas se o valor for inferior a 0,1, então os valores julgados são considerados satisfatórios (SAATY, 1980).

Sendo considerado como satisfatório o resultado obtido, posteriormente é realizada a integração dos critérios por meio de uma combinação linear ponderada, onde são atribuídos pesos para os critérios, gerando-se um resultado ponderado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que os objetivos propostos sejam alcançados, foram necessárias diferentes etapas metodológicas que foram executadas de modo sistematizado. Essas etapas consistiram, principalmente, na aquisição de dados espaciais e, posteriormente, na geração dos mapas temáticos envolvendo o uso e ocupação do solo, os fatores do meio físico, as áreas de preservação permanente (APP's) e as áreas urbanas degradadas. Gerados os mapas temáticos foi então realizada a análise da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos e como ela está relacionada ao uso e ocupação do solo atual, à degradação ambiental e ao zoneamento urbano municipal presente no plano diretor (ANEXO I). Tais passos são apresentados na Figura 3.

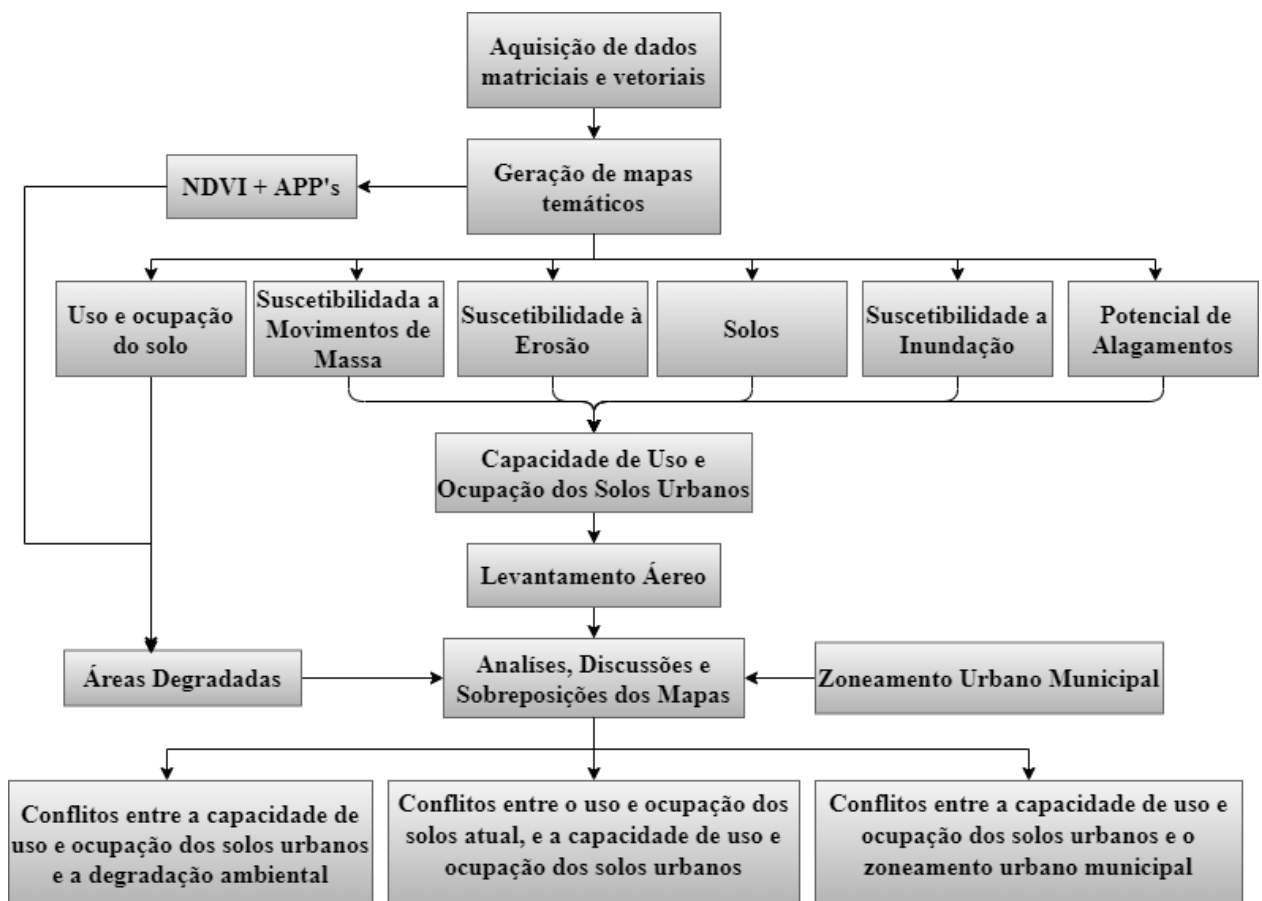


Figura 3: Fluxograma dos processos metodológicos adotados neste trabalho.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região sul do estado de Minas Gerais, inserida no município de Itajubá, entre os paralelos S 22°36'0" e 22°18'0", e os meridianos O 45°36'0" e 45°12'0", com sua principal via de acesso à cidade sendo a BR-459 (Figura 4), com área de aproximada de 42 km² (Figura 5).

O relevo da região é classificado como predominantemente montanhoso, e a cidade é cortada pelo rio Sapucaí (porção centro-oeste). Já o clima é do tipo monção de estação chuvosa de outubro a março, e estação seca no restante do ano (cwa) (SILVA; REBOITA, 2014). De acordo com dados do IBGE (2021), a população estimada de Itajubá (MG) para o ano de 2021 era de 97.782 habitantes, com uma densidade demográfica de 307,5 hab/km².

Segundo Felix et al. (2019), a ocupação urbana do município de Itajubá (MG) ocorreu com semelhanças às ocupações de diversas cidades brasileiras, em que o processo de urbanização tem início às margens dos rios, devido, principalmente, ao favorecimento topográfico que essas áreas possuem, entre outros fatores.

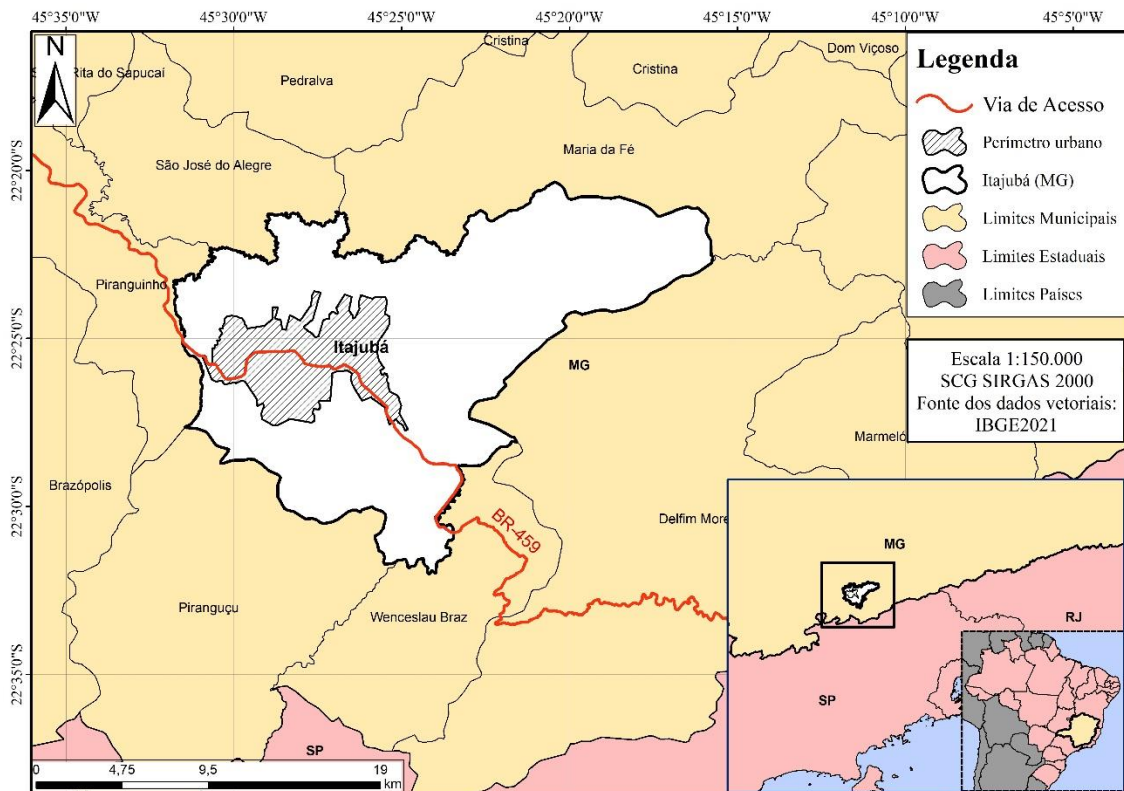


Figura 4: Mapa de Localização e principal via de acesso da cidade de Itajubá (MG).
Fonte: O Autor (2023).

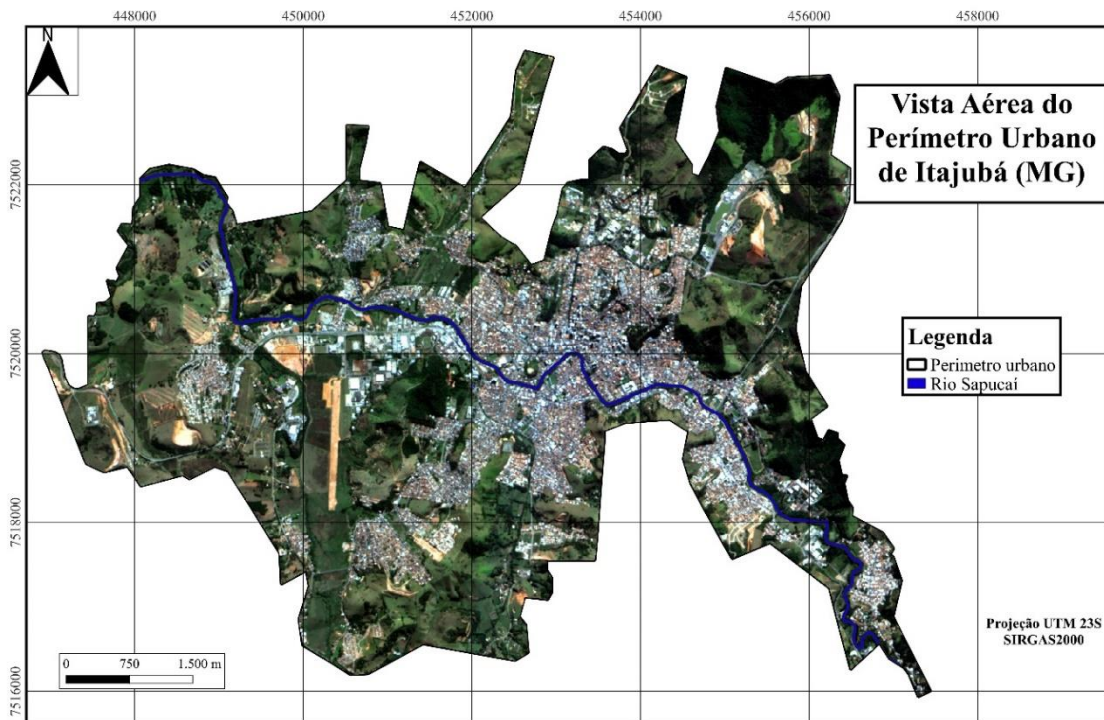


Figura 5: Vista aérea do perímetro urbano, imagem R3G2B1 satélite CBERS4A, sensor WPM. Fonte: Autor, 2023.

Na figura 5, é observado o Rio Sapucaí cortando a porção urbanizada da cidade no sentido SE-NW, tendo início na porção inferior direita onde está localizado o bairro Santa Rosa, e findando-se na porção superior esquerda no bairro Santos Dumont (BARROS, 2015). Além da ocupação ao redor dos vales fluviais, Gonçalves (2019) destaca que com a ampliação das atividades comerciais e o aumento da população, também foram ocupadas áreas indevidas nas encostas e ao longo das rodovias.

4.1.1.1 Geologia

A cidade de Itajubá (MG) está inserida na Província Mantiqueira no Domínio Alóctone III, entre as Faixas Brasília e Ribeira. Sua geologia é composta, principalmente, por rochas Neoproterozóicas representadas por granitóides e gnaisses altamente metamorfizados, além de depósitos aluvionares cenozoicos que permeiam as planícies de inundação dos cursos hídricos que cortam a cidade (TROW et al., 2008).

Os estudos acerca da geologia de uma região são fundamentais na implementação e manutenção de diversas atividades antrópicas, pois a geologia está intrinsecamente relacionada aos solos e sua formação.

A geologia do perímetro urbano de Itajubá (MG) é representada basicamente por duas unidades litológicas que envolvem os depósitos aluvionares, concentrados nos locais onde ocorre a deposição de sedimentos pelos cursos hídricos presentes na área (Figura 6).

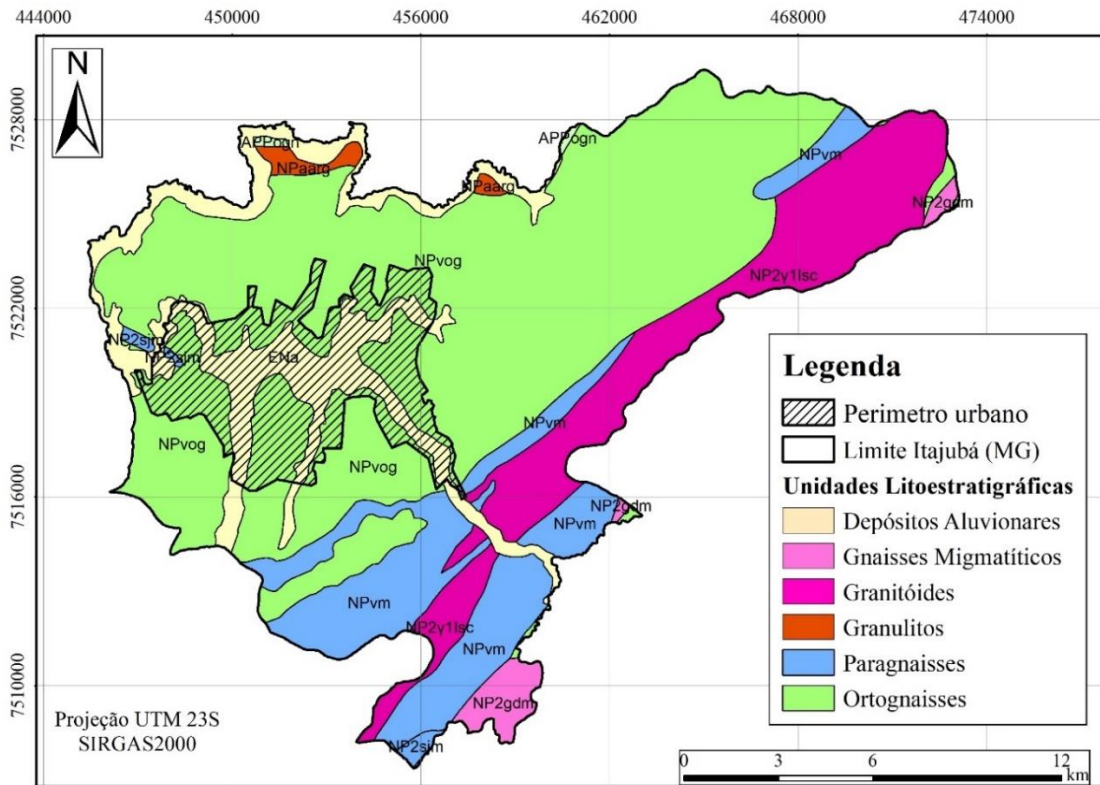


Figura 6: União das Cartas Geológicas Itajubá, Pouso Alegre e Pindamonhangaba na escala 1:100.000, resultando na geologia da cidade de Itajubá (MG).

Fonte: Adaptado de CPRM (2008; 2014).

Os depósitos aluvionares estão estritamente ligados à formação dos gleissolos háplicos nessas porções (Figura 6). A outra unidade que compõe a geologia é a de ortognaisses que são representados por ortognaisses que muitas das vezes possuem hornblenda e biotita em sua composição, possuindo intercalações com rochas anfibolíticas (CPRM, 2008).

4.1.1.2 Solos

Estudos recentes como o de Gonçalves et al. (2021), demonstram que os solos de Itajubá (MG) possuem uma maior diversidade de ordens, ao atualizarem a escala do mapeamento de solos do município (Figura 7).

As ordens de solos encontradas no perímetro urbano são: Argissolos vermelhos, Argissolos vermelho-amarelos, Cambissolo háplicos, Gleissolos háplicos e Latossolo vermelho-amarelo.

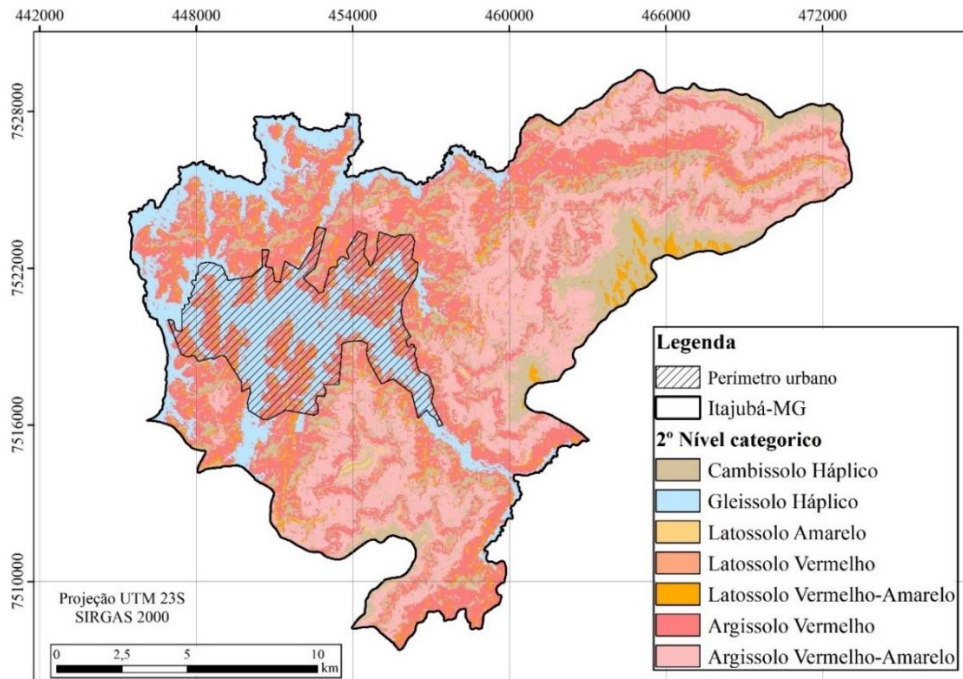


Figura 7: Mapa de solos do município de Itajubá (MG).

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2021).

Os gleissolos hápticos recobrem a maior parte da área do perímetro urbano (Tabela 6), e por serem solos hidromórficos, são responsáveis pelo acúmulo de água nas porções de relevo mais planas. Os argissolos vermelhos estão associados as áreas de relevo declivosas do perímetro urbano e devido as suas características texturais e a sua composição apresentam maior predisposição a erosão, sendo encontrados junto aos cambissolo hápticos, latossolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos.

Tabela 6: Área dos solos no perímetro urbano de Itajubá (MG).

Solos	Área (km ²)	Área total (%)
Cambissolos hápticos	1.9	4.5
Gleissolos hápticos	20.9	50.0
Latossolos amarelos	2.3	5.5
Argissolos vermelhos	16.5	39.5
Argissolos vermelho-amarelos	0.2	0.5

4.1.1.3 Suscetibilidade a Movimentos de Massa

De acordo com Carvalho (2018), Itajubá (MG) apresenta poucas regiões com alta suscetibilidade a movimentos de massa, enquanto que as suscetibilidades média e baixa se dividem igualmente pelo município (Figura 8).

A suscetibilidade a movimentos de massa encontrada no perímetro urbano se distingue, principalmente, entre as áreas de relevo mais plano que apresentam uma baixa suscetibilidade e as áreas mais declivosas, em que a suscetibilidade a movimentos de massa varia de média a alta.

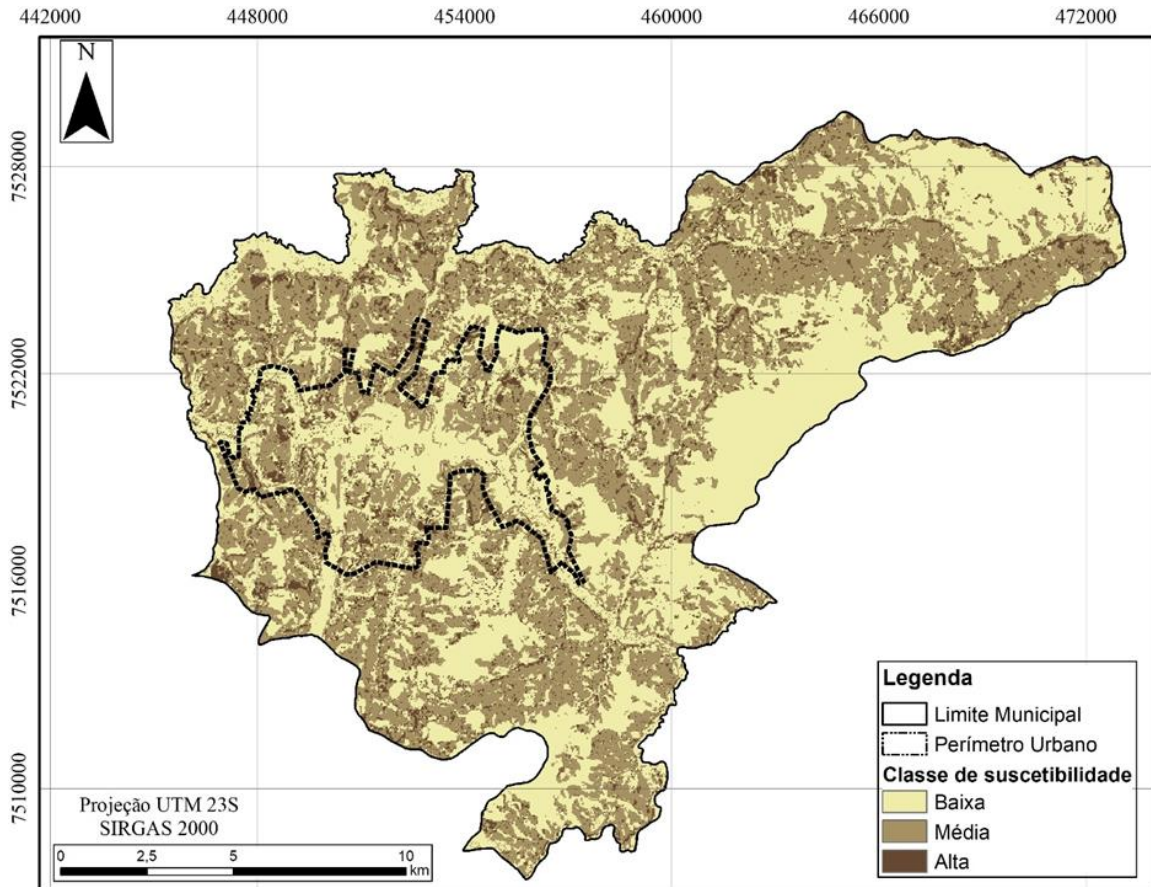


Figura 8: Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa de Itajubá (MG).

Fonte: Adaptado de Carvalho (2018).

4.1.1.4 Suscetibilidade à Erosão

Flauzino et al. (2016), ao trabalharem com uma Bacia Hidrográfica piloto do município de Itajubá (MG) que engloba parte do perímetro urbano, identificaram uma grande quantidade de áreas contendo altas declividades, pedregosidade, erodibilidade e solos poucos profundos. Ainda no contexto local, Silva (2015) identificou a existência de diversos processos erosivos em um loteamento da área urbana do município, que aliava as condições de relevo, físicas e texturais do solo no local com a ocupação irregular do terreno. Logo, tem-se que a suscetibilidade à erosão é um dos fatores de grande relevância ao analisarmos os solos urbanos de Itajubá, mas há pouquíssimos estudos que trabalham sobre este tema.

4.1.1.5 Suscetibilidade à Inundação

Carvalho (2018) afirma que as áreas mais suscetíveis à inundação em Itajubá (MG) estão associadas à planície de inundação do Rio Sapucaí e às sub-bacias mais planas, onde parte delas estão inseridas no espaço urbanizado (Figura 9).

A porção urbanizada do município comumente é afetada por eventos inundacionais nas épocas de verão, devido ao grande acúmulo de chuvas na região em um curto espaço de tempo. A suscetibilidade à inundação indica que no perímetro urbano, as regiões de planície de inundação pertencentes ao Rio Sapucaí e de seus afluentes que englobam os córregos urbanos de Itajubá, apresentam alta suscetibilidade de leste a oeste, e de noroeste a sudoeste, a esses eventos destrutivos.

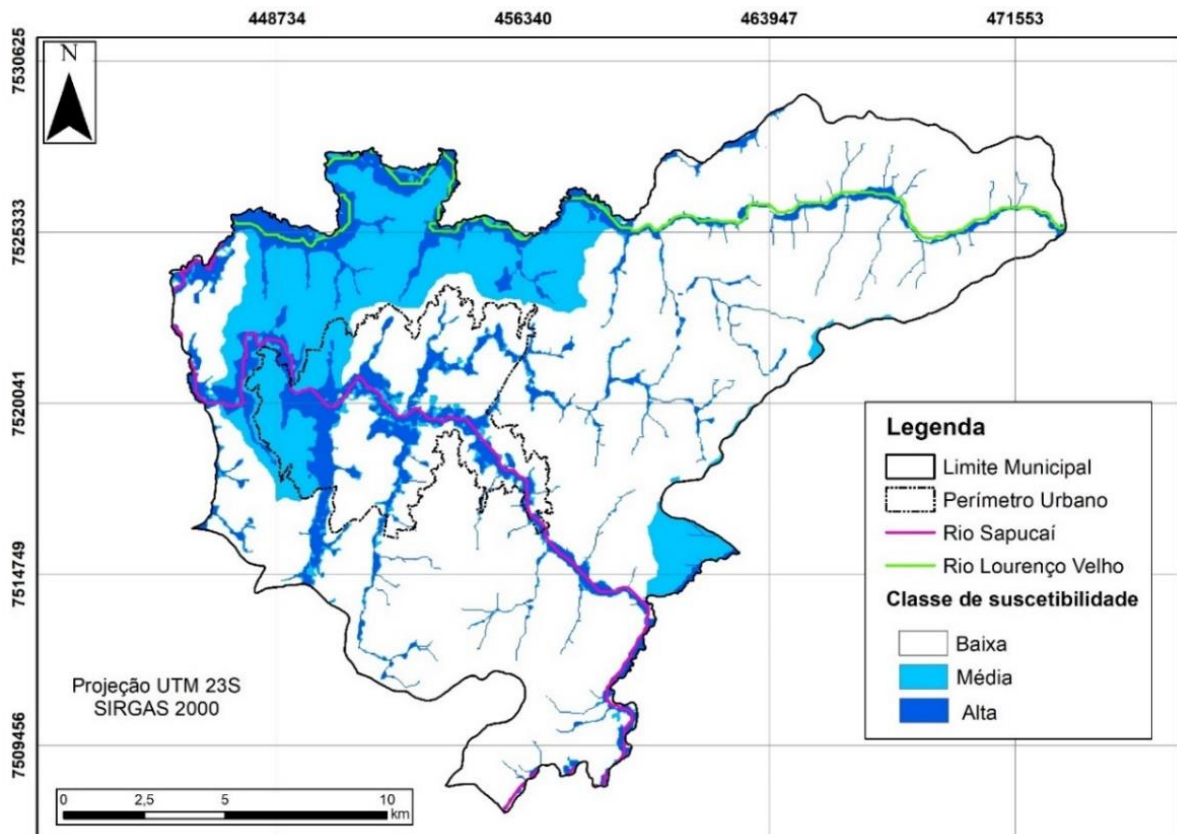


Figura 9: Mapa de suscetibilidade à inundação de Itajubá (MG).

Fonte: Adaptado de Carvalho (2018).

4.1.1.6 Potencial de Alagamentos

Diversos fatores podem influenciar na ocorrência de alagamentos no perímetro urbano de Itajubá, alguns dos que podem ser descritos são: a grande quantidade de gleissolos háplicos dentro do perímetro urbano encontrados saturados em água, e que impedem que ocorra uma infiltração adequada da água no solo; construções em áreas anteriormente de várzea e que passaram por obras de terraplanagem; a canalização de córregos dentro do perímetro urbano, que restringe o fluxo da água e aumentando o tempo de permanência dela na bacia; a ausência de áreas vegetadas nas zonas de recarga que contribuiriam na infiltração da água e diminuiria a velocidade do escoamento para áreas planas. Logo, o perímetro urbano de Itajubá pode apresentar potencial de alagamento elevado devido aos pontos elencados.

4.2 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

Inicialmente, para o desenvolvimento do projeto, foi realizada a agrupamento de dados geográficos disponíveis em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), dentro do software QGIS versão 3.16.11. Todos os dados apresentados a seguir foram reprojatados para o sistema de coordenadas planas UTM, Datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 Sul.

Para a análise do uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens do ano de 2022. O satélite escolhido foi o CBERS4A, que possui o sensor WPM, cujas bandas multiespectrais possuem resolução espacial de 8m. Essas imagens foram obtidas de forma gratuita, por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens obtidas passaram pelos processos de ortorretificação e tratamentos radiométricos realizados pelo INPE.

Dentre os demais dados adquiridos gratuitamente estão o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 12,5m, obtido no portal de dados Vertex, do órgão Alaska Satellite Facility (ASF), imageadas pelo *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)* e disponibilizados pela NASA.

Os dados vetoriais do zoneamento urbano municipal contidos no Plano Diretor de Itajubá (MG) foram obtidos na Prefeitura Municipal de Itajubá (ITAJUBÁ, 2019). O mapa de uso e ocupação do solo de 2021, foi obtido no portal Mapbiomas. O polígono do perímetro urbano foi atualizado pelo autor para abranger a expansão urbana até de 2019 a 2023.

O vetor da hidrografia da área de estudo foi obtido a partir da base de dados SISEMA, pertencente ao governo estadual de Minas Gerais e os vetores das unidades litológicas que compõem a geologia da região, por meio das folhas geológicas Itajubá e Pouso Alegre, na escala 1:100.000, foram obtidas no Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2014; CPRM 2008).

O mapa de solos da cidade de Itajubá na escala 1:25.000, foi produzido por Gonçalves (2021), e os mapas de suscetibilidade à inundação e suscetibilidade a movimentos de massa foram produzidos por Carvalho (2018). Os dados utilizados são descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Dados espaciais utilizados.

Dados	Fonte	Data	Modelo de dado	Resolução espacial	Escala
CBERS4A	INPE	2022	raster	8m	-
MDE ALOS	ASF Alaska	2011	raster	12.5m	-
Mapa de Solos	Gonçalves et al. (2021)	2019	raster	-	1:25.000
Mapa Suscetibilidade à Inundação	Carvalho (2018)	2018	raster	-	1:25.000
Mapa Suscetibilidade a Movimentos de Massa	Carvalho (2018)	2018	raster	-	1:25.000
Zoneamento Urbano	Plano Diretor de Itajubá (MG)	2018	vetor	-	1:20.000
Perímetro Urbano	O Autor	2023	vetor	-	-
Geologia	CPRM	2014/2008	Vetor	-	1:100.000
Uso e ocupação dos solos	Mapbiomas	2021	raster	-	-
Hidrografia	Sisema	2019	vetor		1:50.000
Uso e ocupação do solo	Mapbiomas	2021	raster	30m	-

4.3 MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A etapa de mapeamento do uso e ocupação do solo tem início com a análise da imagem de satélite CBERS4A, obedecendo a sequência de tarefas indicadas na Figura 10. As bandas da imagem multiespectral passam por processos de pré-processamento, onde são reprojatadas e, em seguida, foram recortadas com base na extensão da área de interesse. Posteriormente, essas bandas foram combinadas em uma única imagem, gerando uma composição colorida que representa a cor natural do terreno.

A partir da composição colorida foi realizada a classificação da imagem. O método selecionado foi o da classificação supervisionada maxver, por meio do plugin SCP presente no software QGIS. A classificação supervisionada se inicia com o treinamento do algoritmo, onde são separadas classes distintas de uso e ocupação do solo e recolhidas amostras.

Para essa classificação foi adotado o limite mínimo de 30 amostras por classe, devido ao tamanho da área.

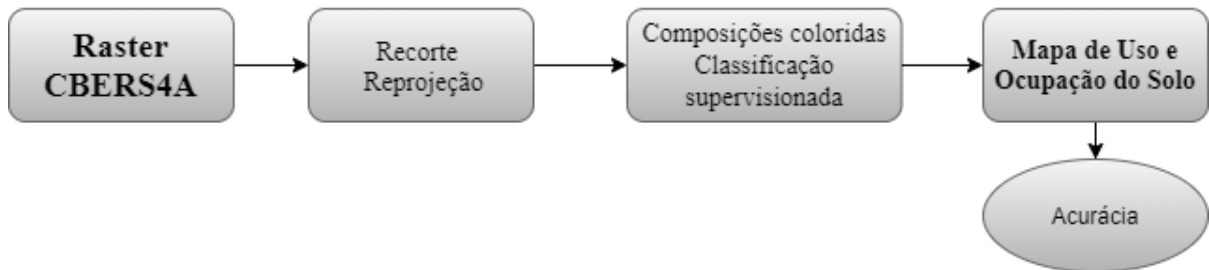


Figura 10: Etapas para a obtenção do mapa de uso e ocupação do solo.

Para a checagem da acurácia foi realizada uma seleção randômica de 1000 pontos com as ferramentas “create accuracy assessment points”, seguida pelo uso da ferramenta “update accuracy assessment points” e, por fim, a ferramenta “compute confusion matriz” presentes no ArcGIS 10.3.

Os pontos de comparação foram criados aleatoriamente sobre o mapa de uso e ocupação do solo de Itajubá (MG) de 2022, adquirindo a classe presente naquele local. Posteriormente, foi criado um novo arquivo de pontos que coleta a classe de uso e ocupação do mapeamento de uso e ocupação do solo realizado pelo Mapbiomas (2021), que foi adotado como mapa de referência e, por fim, foi gerado um relatório que expressa as relações dos locais com discrepância e igualdade de classes entre os pontos.

4.3.1 Áreas com Processos de Degradação

Para a realização do mapeamento das áreas que sofrem com processos de degradação foram selecionadas as áreas que apresentam solo exposto, por serem de fácil identificação nas imagens de satélite e estarem contidas dentro do perímetro urbano.

Em conjunto com essas áreas degradadas foram determinadas as APP’s dos cursos hídricos, devido a sua proximidade com os locais de solo exposto, e aos problemas que os solos degradados podem ocasionar quando os seus sedimentos atingem os cursos hídricos.

As APP’s dos cursos hídricos foram determinadas a por meio de um buffer de 15 metros a partir da margem dos cursos hídricos que percorrem o perímetro urbano, sendo extraídos da composição colorida gerada no item 4.4, conforme a legislação ambiental (BRASIL, 2012).

As áreas com solo exposto foram identificadas por meio da imagem de uso e ocupação do solo e aliada ao Índice de Vegetação Normalizada (NDVI), que foi criado a partir das bandas 2 e 4 do satélite CBERS4A (Figura 11).

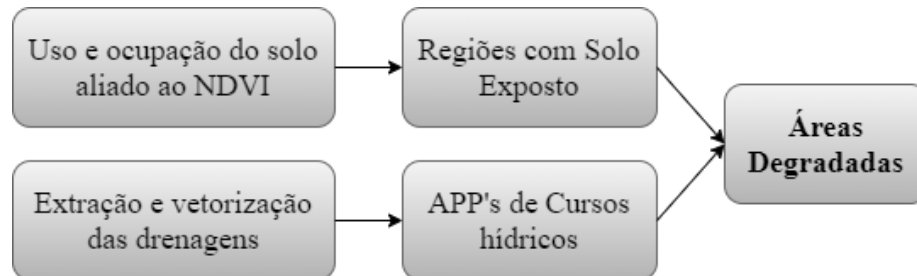


Figura 11: Etapas para a obtenção das áreas com processos de degradação.

4.4 MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS

Ao se conhecer o meio físico de uma cidade com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, é possibilitada a compreensão das modificações que ocorrem no uso da terra e na cobertura vegetal, visando o desenvolvimento territorial e econômico (ROCHA; ROSA, 2008). De acordo com Silva et al. (1999), nas caracterizações fisiográficas de determinada área, diversos planos de informação são adquiridos para a entrada no ambiente SIG, onde passam por cruzamentos, gerando novas informações que, após interpretadas, servem de base para o planejamento e manejo do ambiente.

Para a identificação da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG) foram selecionados os seguintes fatores do meio físico que, devido às suas particularidades, são os fatores que melhor representam o espaço tridimensional de Itajubá (MG).

Envolvendo a suscetibilidade a erosão, suscetibilidade a movimentos de massa, suscetibilidade inundações, potencial de alagamentos, profundidade do solo, declividade, textura, risco de subsidência, fertilidade e pedregosidade.

É necessário que os fatores do meio físico estejam no formato matricial (raster) para que possam ser integrados. Com isso, alguns dos fatores foram previamente adquiridos neste formato (Tópico 4.3) e precisaram passar por pequenas alterações que envolveram o recorte para a área de estudo e o processo de reamostragem de pixels, modificando o tamanho dos pixels da imagem. Os fatores em que esse processo será realizado são os de suscetibilidade à inundações e suscetibilidade a movimentos de massa.

Os fatores de suscetibilidade à erosão e potencial de alagamentos foram gerados a partir do banco de dados mencionado no tópico 4.3. Já, os demais fatores do meio físico estão incorporados ao mapa de solos sendo descritos no tópico 4.4.3.

4.4.1 Mapeamento da Suscetibilidade à Erosão

Para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão foram utilizados os mapas de solos, uso e ocupação do solo e o mapa de classes de relevo originado por meio do MDE.

A partir do MDE foi extraída a declividade da área, tendo sido reclassificada com base nas classes de declividade da EMBRAPA (1979). Em seguida, foram atribuídos pesos para cada um dos mapas e suas subclasses, de acordo com a sua importância perante o fator de suscetibilidade à erosão.

Após a definição dos pesos e das suas ponderações em relação ao potencial de alagamento, os valores atribuídos passaram por um processo de normalização para que os mapas pudessem, então, ser integrados, resultando no potencial de alagamento (Figura 12).

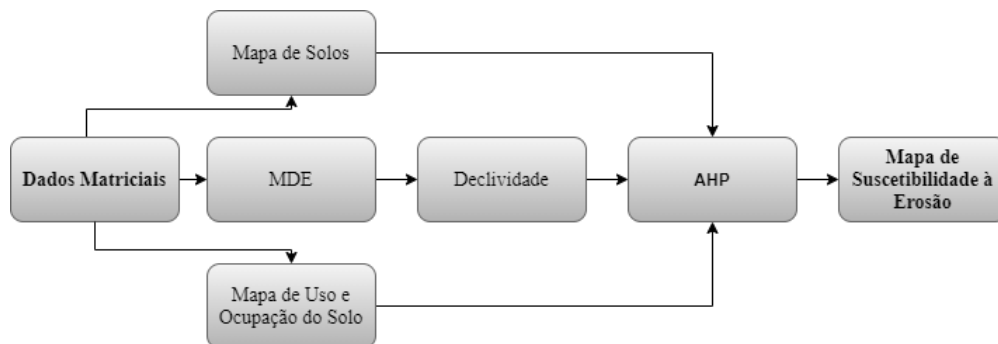


Figura 12: Processos para a obtenção do Mapa de Suscetibilidade à Erosão.

4.4.2 Mapeamento do Potencial de Alagamentos

A partir do MDE foi extraída a declividade e as direções de fluxo acumulado, que passaram por um processo de reclassificação para que fossem adotadas classes de relevo e classes de fluxo acumulado, as quais foram utilizadas na etapa posterior, da AHP. Em seguida, foram atribuídos pesos para os mapas e suas classes, de acordo com a sua importância perante a suscetibilidade à erosão.

Após a definição dos pesos e das suas ponderações em relação ao potencial de alagamento, os valores atribuídos passaram por um processo de normalização para que os mapas pudessem então ser integrados, resultando no potencial de alagamento (Figura 13).

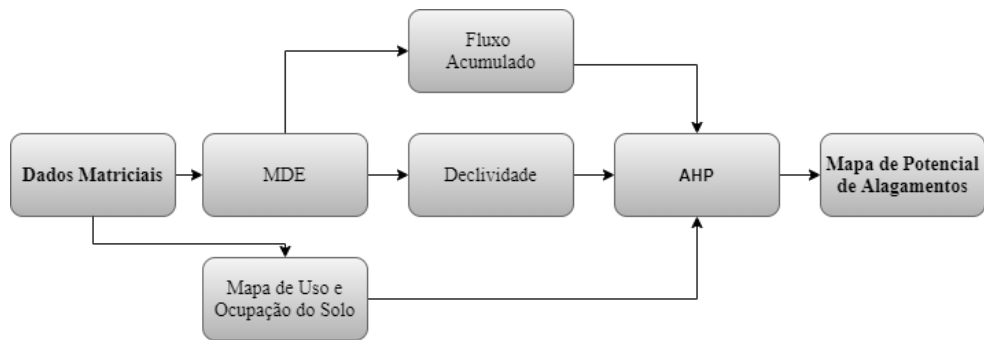


Figura 13: Processos para a obtenção do mapa de potencial de alagamentos.

4.4.3 Fatores presentes no mapa de solos de Itajubá

Os fatores do meio físico de profundidade do solo, declividade, textura do solo, risco de subsidência, fertilidade e pedregosidade estão presentes no mapeamento de solos realizado por Gonçalves (2019). Foram selecionados apenas estes, pois são o que possuem informações mais completas acerca de suas variáveis, enquanto que, outros fatores de mesma ou mais importância em um mapeamento de solos (drenagem do solo, índice de plasticidade, permeabilidade do solo, profundidade efetiva do solo) não possuíam informações na escala de trabalho adotada, portanto foram utilizados os fatores descritos a seguir, na tabela 8.

Tabela 8: Descrição dos fatores relacionados ao mapa de solos.

Fatores	Descrição	Fonte
Profundidade	É a profundidade do solo desde a superfície até o topo da rocha.	Keller (1996).
Declividade	Representa a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal, influenciando no potencial de erosão.	Ramalho Filho Beek (1995); Keller (1996) Da Costa e Cintra (1999).
Textura	É a composição granulométrica do solo, afeta diversas propriedades como retenção de nutrientes, água e fragilidade a erosão.	Fepam.
Risco de subsidência	Corresponde ao abaixamento do terreno devido à ruptura do teto de cavidades subterrâneas ocasionado, muitas vezes, pelo peso exercido em superfície ou pela dissolução das rochas pela água	CPRM (2008)
Fertilidade	É uma propriedade dos solos relacionada com seu potencial de suprir as necessidades fisiológicas das plantas.	Ramalho Filho Beek (1995); SBSCS (2004)
Pedregosidade	Refere-se à presença de pedras na superfície do solo, influenciando a mecanização e a implantação de diversas atividades antrópicas.	Keller (1996).

Estes fatores, posteriormente foram separados nos grupos adequado e restrito, que expressam o potencial dos solos existentes de abrigar as atividades exercidas no perímetro urbano de Itajubá, e auxiliaram na atribuição dos pesos as ordens de solos presentes no perímetro urbano (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9: Separação dos fatores referentes ao mapa de solos nas classes adequada e restrita.

Fatores do solo	Adequados	Restritos
Profundidade	>1,5m	<1,5m
Declividade	2 - 10% (baixa)	>10% (média a alta)
Textura	>40% de argila	< 40% de argila
Risco de subsidência	Sem risco	Com risco
Fertilidade	Alta (MO e V%)	Média a baixa (MO e V%)
Pedregosidade	Baixa	Alta

Tabela 10: Valores presentes no mapa de solos de Itajubá, gerado por Gonçalves (2019).

Fatores do solo	Cambissolo H	Gleissolos H	Latossolo VA	Argissolo V	Argissolo VA
Profundidade	>1,5m	<1,0m	>1,5m	>1,5m	>1,5m
Declividade	Alta	Baixa	Média a alta	Média	Alta
Textura	Média	Média	Argilosa	Argilosa	Argilosa
Risco de subsidência	Sem risco	Com risco	Sem risco	Sem risco	Sem risco
Fertilidade	Média a baixa	Alta	Média a baixa	Média a baixa	Média a baixa
Pedregosidade	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

4.4.4 Mapeamento da Capacidade de Uso e Ocupação dos solos urbanos

Após a obtenção dos fatores do meio físico em formato raster, foram atribuídos pesos a cada um dos mapas para que fosse realizada a ponderação em relação à capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos. Após as ponderações, esses pesos foram normalizados e foi realizada a integração dos mapas, resultando no mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos (Figura 14).

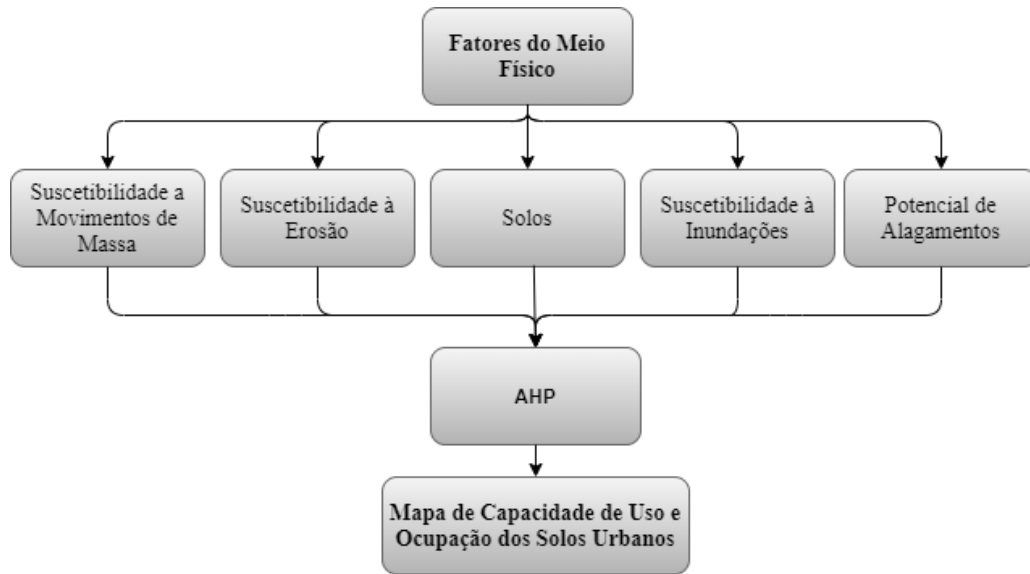


Figura 14: Processo para a geração do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos.

Antes da união dos mapas dos fatores do meio físico, e de estabelecer os seus pesos em relação a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, foi necessário ponderar os pesos para cada classe contida dentro desses mapas na forma de uma matriz, de acordo com a importância analisada de uma classe em relação a outra, Tabelas 11 e 12.

Essas ponderações foram realizadas levando em conta o grau de importância de uma classe sobre a outra em cada mapa. De acordo com a escala de importância relativa, como os mapas utilizados possuem apenas três classes, a classe baixa recebeu valores de “importância igual”, a classe média recebeu valores de “importância forte”, e a classe alta recebeu valores de “importância extrema”.

Posteriormente a atribuição dos pesos, é obtido o autovetor “w” que indica o valor a ser atribuído a determinada classe. Com o grau de consistência das matrizes ficando em 0.04.

Tabela 11: Valores atribuídos as classes de cada mapa, e seu autovetor normalizado (w).

Matriz	Pesos			w
Suscetibilidade a Mov. Massa (1)	Baixa	Média	Alta	-
Baixa	1,00	0,33	0,11	0.07
Média	5,00	1,00	0,20	0.27
Alta	9,00	5,00	1,00	0.66
-				
Suscetibilidade à Erosão (2)	Baixa	Média	Alta	-
Baixa	1,00	0,33	0,11	0.07
Média	5,00	1,00	0,20	0.27
Alta	9,00	5,00	1,00	0.66
-				
Suscetibilidade à Inundação (3)	Baixa	Média	Alta	-
Baixa	1,00	0,33	0,11	0.07
Média	5,00	1,00	0,20	0.27
Alta	9,00	5,00	1,00	0.66
-				
Potencial de Alagamentos (4)	Baixo	Médio	Alto	-
Baixo	1,00	0,33	0,11	0.07
Médio	5,00	1,00	0,20	0.27
Alto	9,00	5,00	1,00	0.66

Tabela 12: Valores atribuídos as ordens dos solos, a partir dos fatores relacionados ao mapa de solos.

Solos (5)	1	2	3	4	5	w
(1) Cambissolos Háplicos	1,00	1,00	0,20	0,20	0,14	0,04
(2) Argissolos Vermelho-Amarelo	3,00	1,00	1,00	0,20	0,14	0,09
(3) Argissolos Vermelho	5,00	3,00	1,00	0,33	0,20	0,16
(4) Gleissolos Háplicos	7,00	5,00	3,00	1,00	0,33	0,28
(5) Latossolos Vermelho-Amarelo	9,00	7,00	5,00	3,00	1,00	0,42

Após a execução do procedimento anterior, foi definido a ordem de importância dos mapas no cálculo da AHP. Do ponto de vista de análise dos solos urbanos, o mapa de solos (5) apresentou a maior importância, devido a quantidade de fatores presentes, seguido pelo mapa de suscetibilidade à erosão (4), seguido pelos mapas de suscetibilidade a movimentos de massa (3), e potencial de alagamentos (2) e suscetibilidade à inundação (1).

Em seguida, foram atribuídos os pesos e realizadas as ponderações entre esses mapas, após isso, foi calculado o autovetor “w”, o que é demonstrado na Tabela 13.

A partir dos valores de w e dos pesos da matriz utilizada para a geração do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, foi obtido grau de consistência igual a 0,028, indicando que não houve inconsistências nos valores atribuídos aos julgamentos entre os mapas.

Tabela 13: Matriz AHP para a obtenção da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, e o autovetor (w).

Matriz	Pesos					w
	1	2	3	4	5	
Capacidade de Uso e Ocupação dos Solos Urbanos						-
1 Suscetibilidade à Inundação	1	0,33	0,20	0,14	0,11	0,03
2 Potencial de Alagamentos	3	1	0,33	0,20	0,14	0,08
3 Suscetibilidade a Movimentos de Massa	5	3	1	0,33	0,2	0,17
4 Suscetibilidade à Erosão	7	5	3	1	0,33	0,28
5 Mapa de Solos	9	7	5	3	1	0,44

Obtido o mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá contendo 3 classes (aptas, pouco aptas e muito pouco aptas), foi necessário agrupar as classes em grupos de aptidão. Foram estabelecidos quatro tipos de grupos distintos de uso e ocupação dos solos urbanos, sendo eles: Uso Industrial/Descarte de resíduos, construções urbanas, agricultura urbana, preservação ambiental.

Devido ao fato de que tais grupos apresentam certas peculiaridades, foi necessário subdividi-los em classes e, posteriormente, de acordo com as suas limitações, em subclasses (Quadro 1).

Quadro 1: Hierarquização do mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos.

Grupos	Classes	Fatores Limitantes	Subclasse	
A - Uso Industrial/Descarte de Resíduos	(I) Descarte de Resíduos	suscetibilidades à erosão, a movimentos de massa, à inundação, potencial de alagamentos, profundidade do solo, declividade, textura, risco de subsidência, fertilidade e pedregosidade.	-	-
	(II) Uso Industrial		Irrestrito (i)	Restrito (r)
B - Construções Urbanas	(III) Uso Residencial/Comercial		Irrestrito (i)	Restrito (r)
	(IV) Áreas recreativas		Irrestrito (i)	Restrito (r)
C - Agricultura Urbana	(V) Horticultura		Irrestrito (i)	Restrito (r)
D - Preservação Permanente	(VI) Preservação da Fauna e Flora		-	-

4.4.5 Distância das Drenagens e Distância da Área Construída.

Para a criação dos mapas de distâncias das drenagens e da área construída, foi necessário o cálculo da distância euclidiana de cada um dos vetores de hidrografia obtido pelo Sisema, e do vetor de área construída obtido no item 4.4, por meio da ferramenta “euclidean distance”, presente no programa ArcGIS 10.3. Posteriormente foi realizada a classificação das distâncias de acordo com os padrões de referência adotados.

Segundo Moreira et al. (2021), a disposição incorreta de resíduos próximos a cursos d’água e à área urbanizada traz sérias complicações à saúde pública, logo, a utilização dos mesmos garante, em parte, a minimização dos danos ambientais.

4.5 LEVANTAMENTO AÉREO DE IMAGENS

O levantamento aéreo de imagens tem como objetivo auxiliar nas análises dos resultados, ao obter imagens recentes dos locais de interesse da pesquisa.

Para a coleta das imagens aéreas foi utilizado o drone Phantom 4 Pro V2.0 (Figura 15), cedido pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), que possui sensor CMOS de 1” capaz de gravar vídeos em 4K a 60fps e fotos em 20 MP (DJI, 2022). A altura de voo definida para a coleta das imagens foi a de 60m, e o tipo de visada adotada foi a visada oblíqua alta que representa fielmente o espaço tridimensional urbano ao captar a profundidade (Figura 16).



Figura 15: Imagem ilustrativa do drone DJI Phantom 4. Fonte: DJI (2022).

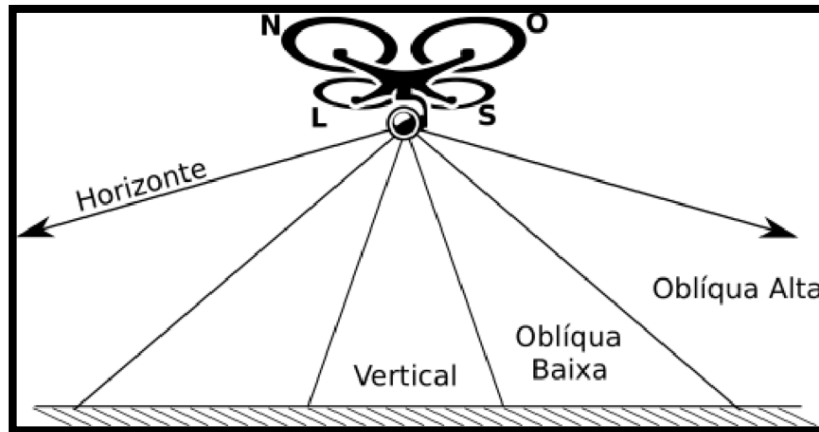


Figura 16: Tipos de visada com drone de asa móvel. Fonte: De Paula e Albuquerque (2021).

4.6 CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS URBANOS E POSSÍVEIS CONFLITOS EXISTENTES

Após a obtenção dos mapas temáticos foram realizadas as sobreposições do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos com os mapas de uso e ocupação do solo atual (2022), com o zoneamento urbano proposto pelo plano diretor e com o mapa das áreas que possuem processos de degradação ambiental, a fim de se identificar das áreas que possuem conflitos entre a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos identificados e o uso urbano existente nessas áreas.

Posteriormente, foram realizadas análises de como esses conflitos de uso podem estar afetando os solos urbanos e como estão contribuindo para o aumento dos impactos e aceleração dos processos de degradação do ambiente urbano local.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é destinado a apresentar e discutir os resultados obtidos na pesquisa. No primeiro tópico serão analisados os resultados do mapeamento de uso e ocupação do solo. No segundo tópico é apresentado o mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos. E, por fim, no terceiro tópico são avaliados os possíveis conflitos existentes entre a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, o uso do solo atual, as áreas degradadas e o plano diretor do município.

5.1 MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO PERÍMETRO URBANO DE ITAJUBÁ (MG)

O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido ao se aplicar a classificação supervisionada em uma imagem multiespectral de maio do ano de 2022, do satélite CBERS4A. Para o mapeamento do uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Itajubá foram definidas cinco classes, que correspondem, respectivamente, à água, solo exposto, área construída, fragmentos florestais e vegetação rasteira, estando representadas na Figura 17.

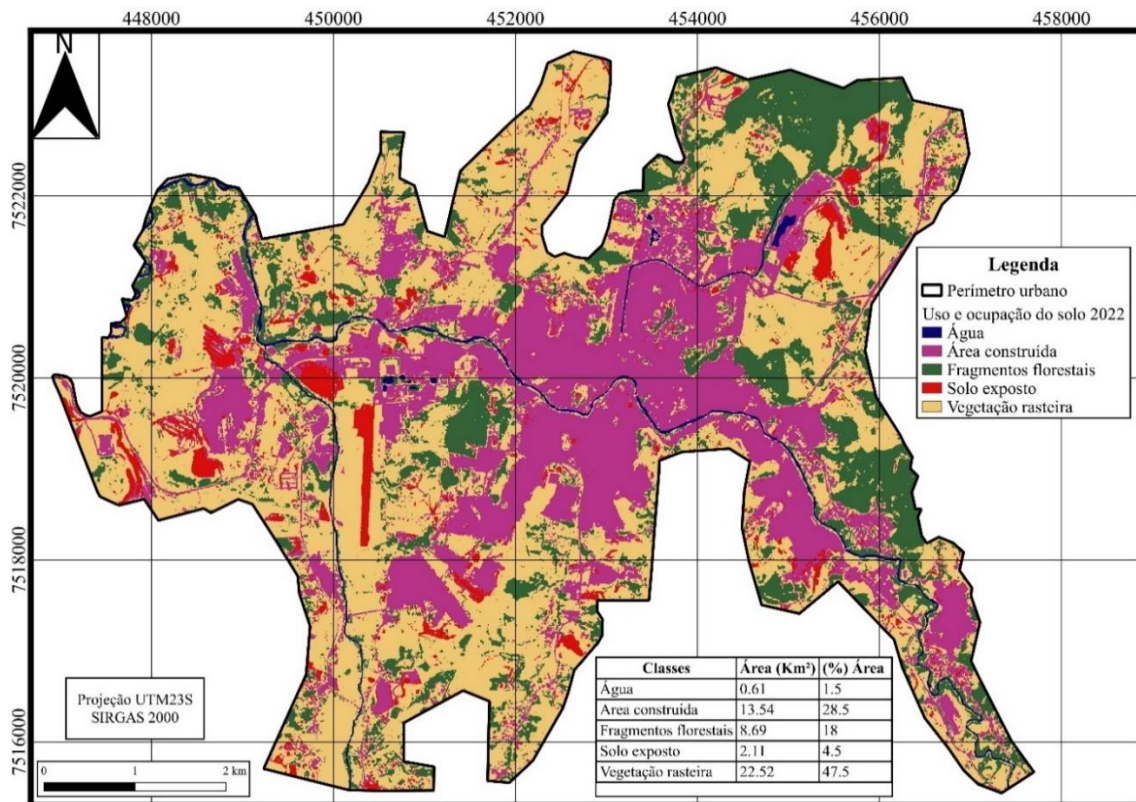


Figura 17: Mapa de uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Itajubá (MG), 2022.

Ao observar a disposição das classes de uso e ocupação do solo na Figura 17 e os valores de área de cada classe, vemos que a maior área do perímetro urbano é ocupada pela classe de vegetação rasteira, seguida pela área construída e pelos fragmentos florestais.

A classe de vegetação rasteira circunda quase que em sua totalidade as demais classes e engloba vegetações herbáceas, áreas de várzea e as áreas de pastagem e uso agrícola, o que explica o alto valor. Já a classe de área construída representa toda a urbanização e estruturas existentes no perímetro urbano, estando concentrada na porção central e apresentando ramificações nas direções oeste, sudoeste, sudeste e nordeste.

A classe de fragmentos florestais representa as áreas onde ainda há o predomínio de vegetação densa, estando localizadas, em sua maioria, na porção leste do perímetro urbano, concentradas em morros e apresentando alguma continuidade. Já os fragmentos na porção oeste possuem tamanho menor e se encontram mais espaçados uns dos outros.

A classe de solo exposto representa áreas sem cobertura vegetal, estando presente nos limites externos da classe de área construída, e estão relacionadas ao processo de expansão das áreas urbanizadas. Quanto à classe de água que apresentou a menor área, são observados o Rio Sapucaí na parte central da Figura 17 e os cursos hídricos tributários que o alimentam na porção urbana, sendo, principalmente, o Ribeirão José Pereira na direção nordeste, e o Ribeirão Piranguçu na direção sudoeste. O baixo valor das áreas identificadas para a classe de água pode estar relacionado à dificuldade de o programa conseguir separar a resposta espectral da água, da classe de vegetação rasteira e, devido ao tamanho do pixel que corresponde a oito metros.

A acurácia da classificação supervisionada do mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano foi aferida por meio da utilização do coeficiente Kappa, ao comparar o mapa obtido neste trabalho, com os dados de uso e ocupação do solo existentes para a região na plataforma Mapbiomas.

Os resultados encontrados para o coeficiente kappa correspondem a 0,615 que, segundo Fonseca (2000), representam valores de acurácia considerados como muito bom (Figura 18).

De modo geral, apesar da diferença de tamanho dos pixels entre o mapa de uso e ocupação do solo da plataforma Mapbiomas (item 3 na Figura 18 com 30m pixel), e o mapa de uso e ocupação do solo de Itajubá do ano de 2022 (item 1 na Figura 10 com 8m pixel) que indica maior precisão, os dois dados demonstraram grande compatibilidade entre as localizações das respectivas classes.

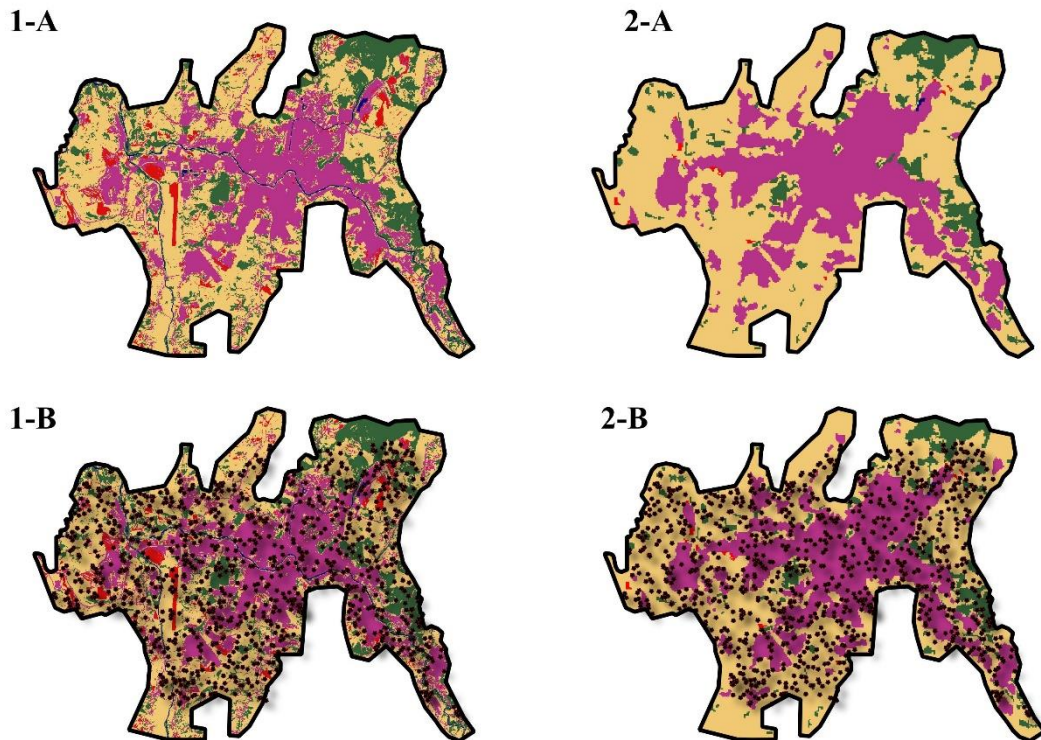


Figura 18: Aplicação do coeficiente kappa para a determinação da acurácia no mapa de uso e ocupação do solo de Itajubá (MG) 2022. Em 1-A) mapa de uso e ocupação do solo de 2022 gerado com a classificação supervisionada, em 1-B) recoberto pelos pontos randômicos, em 2-A) mapa de uso e ocupação do solo levantado pelo Mapbiomas do ano de 2021, em 2-B) recoberto pelos pontos randômicos.

5.1.1 Áreas Degradadas

A seleção das áreas degradadas em Itajubá (MG), como mencionada no item 4.4.1, foi realizada ao recortar a classe de solo exposto do mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano e utilizando o NDVI para confirmar que pela resposta espectral apresentada as áreas de solo exposto realmente não possuem cobertura vegetal.

Na Figura 19 pode ser observado o mapa NDVI, contendo cinco intervalos de classe que variam de -0.5 a 0.9.

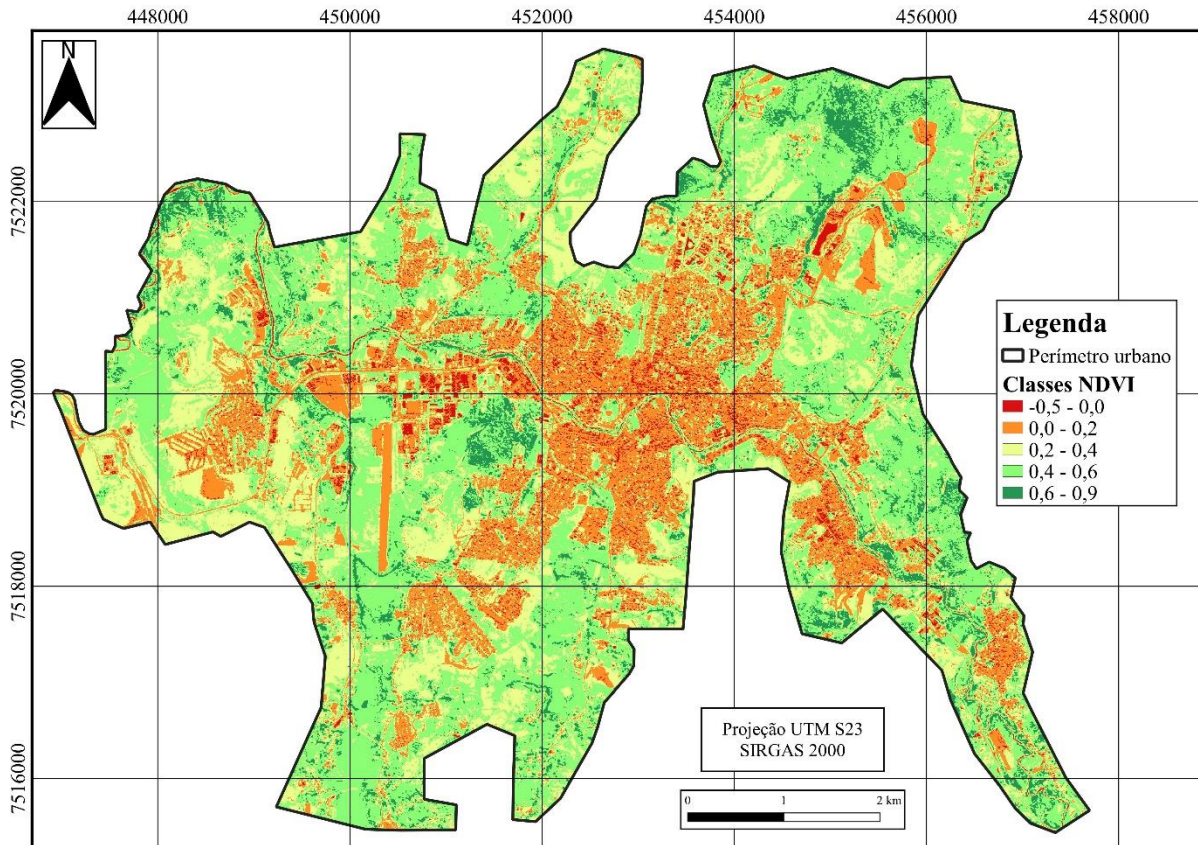


Figura 19: Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do perímetro urbano de Itajubá (MG).

O NDVI consegue identificar as áreas não vegetadas contidas no intervalo de -0.5 a 0.2 (cores vermelha e laranja), com a cor vermelha indicando majoritariamente a presença de água, já a cor laranja representa o solo exposto e as coberturas de telhas de cerâmica da área urbana. Enquanto que, as áreas que compreendem o intervalo de 0.2 a 0.4 indicam a existência de algum tipo de cobertura no solo, mais que não se apresenta sadia quanto as coberturas vegetais presentes nos intervalos de 0.4 a 0.9.

O mapa NDVI foi utilizado para comprovar que as áreas contínuas com formatos elípticos nas regiões noroeste e oeste do mapa, e de formato alongados no sudoeste do mapa, representam porções de terra com o solo exposto. Não foi possível aproveitar as áreas restantes com valores de NDVI baixos entre 0.0 e 0.2, por apresentarem confusão entre o solo exposto e a área construída.

Ao unir os resultados do NDVI com a classe de solo exposto, do mapa de uso e ocupação do solo, foi obtido o mapa das áreas degradadas (Figura 20). Este mapa indica a existência de regiões com solo exposto por todo o perímetro urbano da cidade, mas que a maioria dessas áreas estão localizadas na porção mais a oeste do perímetro urbano.

Tais áreas correspondem à região do aeroporto e áreas de atividade industrial. Também se tem áreas de loteamentos que estão sendo construídos e configuram a expansão urbana. Não menos importante, no extremo nordeste do mapa, na região do parque tecnológico que integra a sub-bacia do Ribeirão José Pereira, há também a presença de solo exposto que corresponde à implantação das construções.

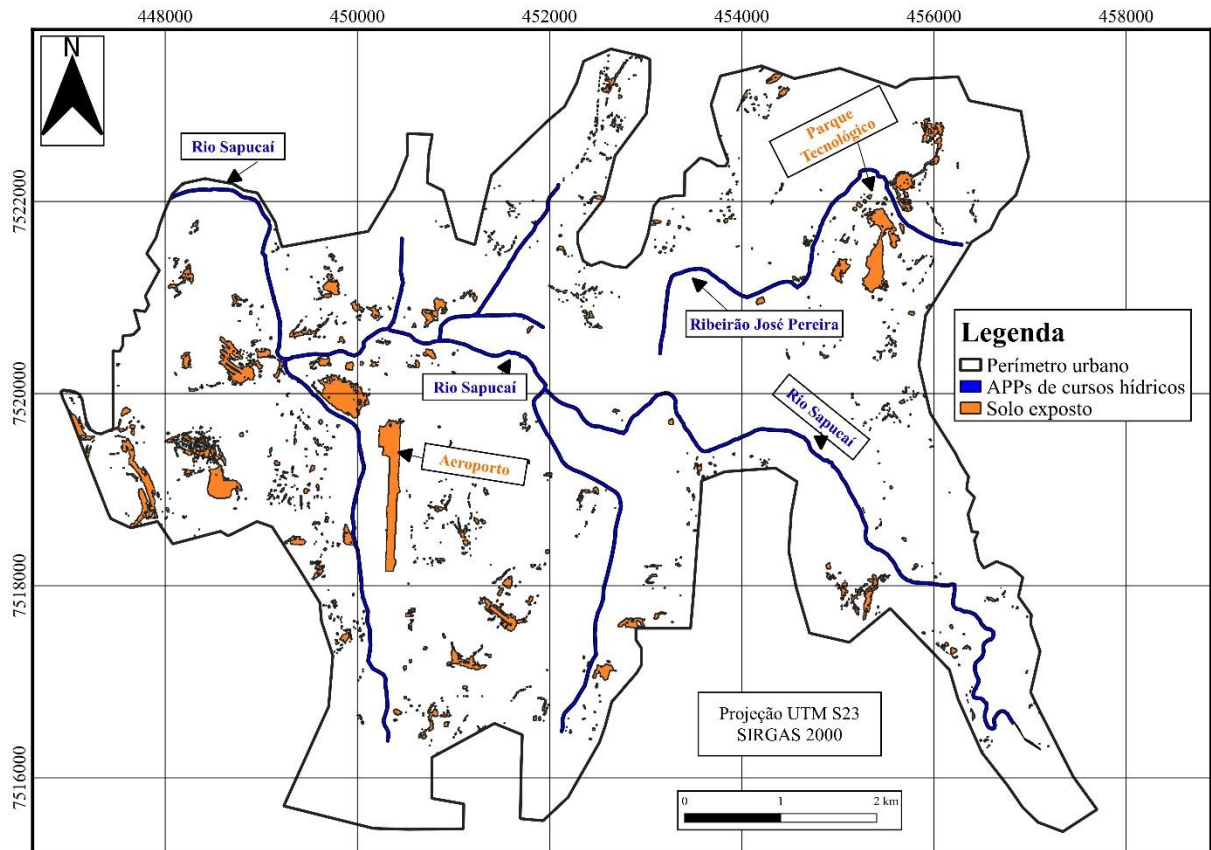


Figura 20: Mapa de áreas degradadas no perímetro urbano de Itajubá (MG).

Aliado às áreas com solo exposto, são observadas as APP's de cursos hídricos que envolvem o Rio Sapucaí, e os demais córregos urbanos que o alimentam, assim como o Ribeirão José Pereira que possui seu trecho final com canalização subterrânea.

As regiões com solo exposto podem apresentar maior incidência de problemas relacionados à erosão do solo, o que contribui para o aumento da quantidade de sedimentos que chegam até os cursos hídricos. O aumento da quantidade de sedimentos nos cursos hídricos pode ocasionar diversos problemas como o assoreamento, turbidez elevada da água, à inundação, além de prejudicar toda a biota que vive nesses habitats.

5.2 FATORES DO MEIO FÍSICO

Dentre os mapas utilizados para a geração do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, apenas dois tiveram que ser gerados: o mapa de suscetibilidade à erosão, e o mapa de potencial de alagamentos. Os demais já se encontravam prontos e foram apresentados anteriormente, no item 3.4.

A partir do MDE ALOS foram gerados o mapa de declividade e o mapa de acumulação de fluxo.

O mapa de declividade (Figura 21) indica que a maior parte do perímetro urbano está contida na classe de relevo fortemente ondulado, seguido pelas classes de relevo ondulado e suavemente ondulado concentradas no interior dos vales. Esse mapa, somado aos mapas de uso e ocupação do solo e ao mapa de solos, deu origem ao mapa de suscetibilidade à erosão.

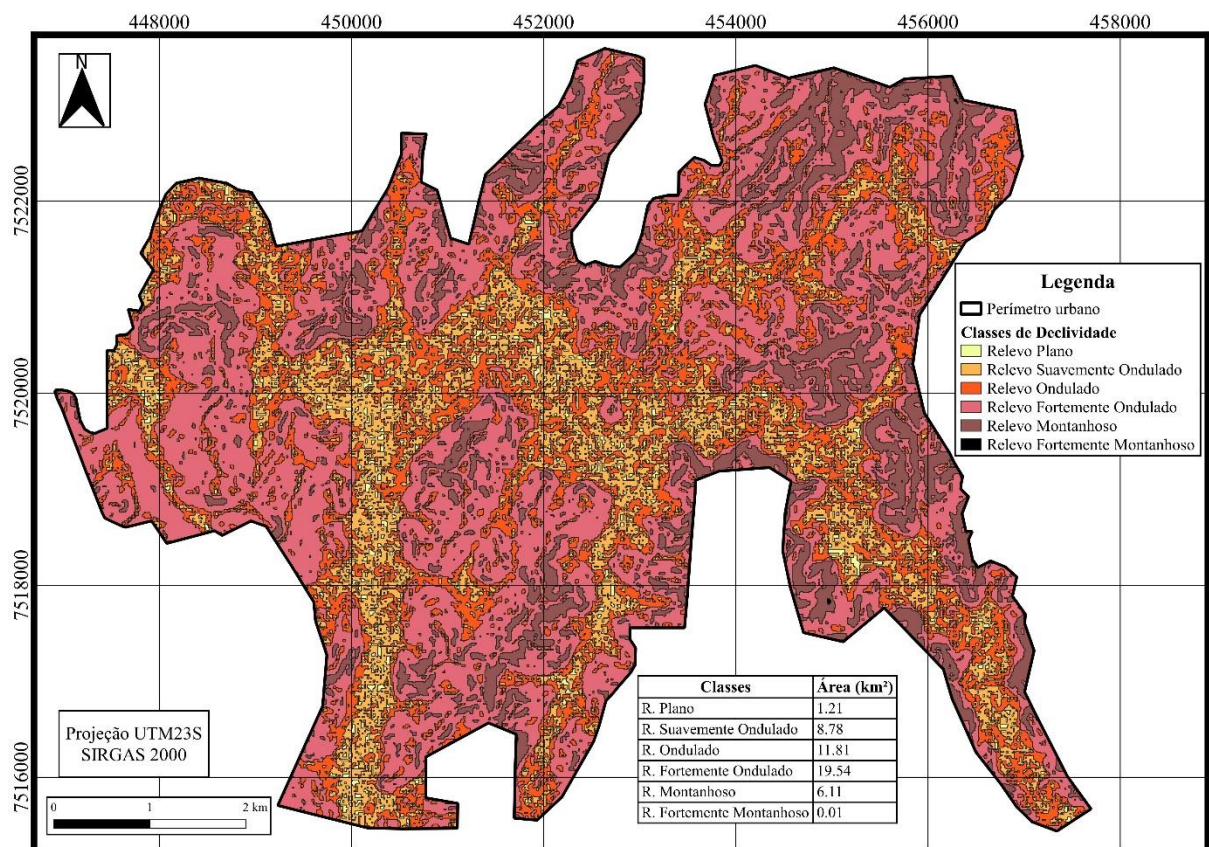


Figura 21: Mapa de declividade do perímetro urbano de Itajubá (MG).

O mapa de acumulação de fluxo (Figura 22) representa o grau do acúmulo de água em uma área.

O grau de acúmulo foi, então, dividido em três classes, onde a classe baixa corresponde a regiões onde a acumulação de fluxo varia de 0 a 1, por serem áreas topograficamente mais elevadas, a classe moderada em que a acumulação de fluxo varia de 1 a 5, e a classe alta, onde o grau de acumulação de fluxo é >5 , normalmente localizadas em regiões mais baixas e com relevo plano a suave ondulado.

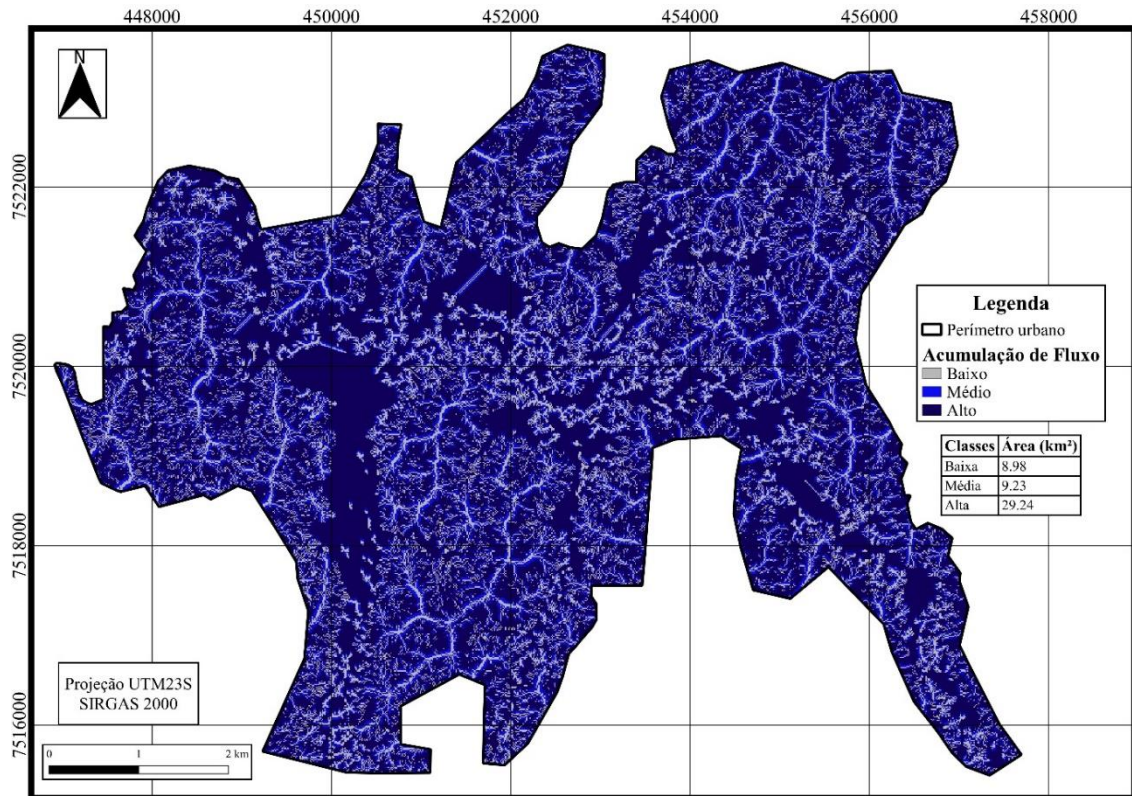


Figura 22: Mapa de acumulação de fluxo do perímetro urbano de Itajubá (MG).

A partir da aplicação da técnica AHP, utilizando os mapas das Figuras 21 e 22, foi então possível gerar os mapas de suscetibilidade à erosão e potencial de alagamentos, como descrito nos tópicos 4.5.1 e 4.5.2.

O mapa de suscetibilidade à erosão (Figura 23) indica que as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos são encontradas, em sua maioria, nos limites externos do perímetro urbano, e representam cerca de 58% da área total (27,38km²), estando relacionadas, principalmente, a áreas que possuem relevo variando de ondulado a forte ondulado. Já 29% da área restante apresenta uma média suscetibilidade à erosão e 13% correspondem a baixa suscetibilidade à erosão.

As áreas com suscetibilidade à erosão variando de média a baixa, quando comparadas com o mapa de uso e ocupação do solo, se sobrepõem, em grande parte, à classe de área construída, o que indica que a classe de áreas construídas do mapa de uso e ocupação do solo estão em locais com menor suscetibilidade a processos erosivos.

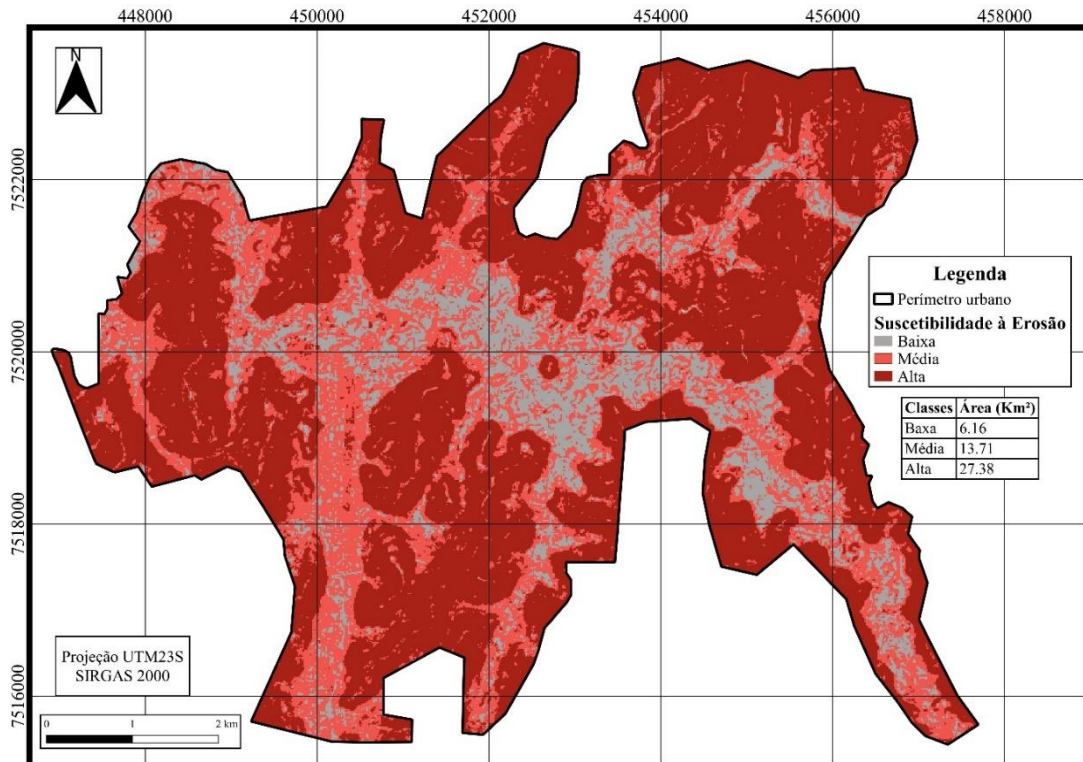


Figura 23: Mapa de suscetibilidade à erosão do perímetro urbano de Itajubá (MG).

O mapa de potencial de alagamentos (Figura 24) demonstra que as áreas com maior potencial de serem alagadas estão concentradas nas porções mais centrais do perímetro urbano, representando as planícies de inundação, e correspondem a 18% da área total. Isto ocorre devido ao fato de serem regiões com relevo variando de plano a suave ondulado e por possuírem menor capacidade de infiltração de água no solo, ocasionada pela impermeabilização do solo que as construções urbanas causam. Cerca de 59% do perímetro urbano possui baixos valores de potencial de alagamento e estão associadas a regiões com relevo mais acidentado. Já as áreas com médio potencial de alagamento correspondem a 23% da área total do perímetro urbano, e podem vir a ter o seu potencial aumentado em decorrência do aumento da impermeabilização do solo nessas porções, devido a fatores como compactação do solo e aumento da urbanização.

Apesar das áreas predominantes serem as que contêm menor potencial de alagamentos, as porções com maior potencial de alagamentos são justamente as que concentram o maior adensamento populacional urbano e, que estão associadas ao vale estreito que percorre o Rio Sapucaí no perímetro urbano de Itajubá. Tornando a cidade altamente suscetível a inundações e alagamentos, sendo de grande preocupação para o poder público, que possui um sistema de alerta de cheias.

O mapa de potencial de alagamentos demonstrou resultados inversamente proporcionais ao mapa de suscetibilidade à erosão, ou seja, as regiões com baixa suscetibilidade à erosão apresentam alto potencial de alagamentos, e as áreas com baixo potencial de alagamentos possuem alta suscetibilidade a eventos erosivos.

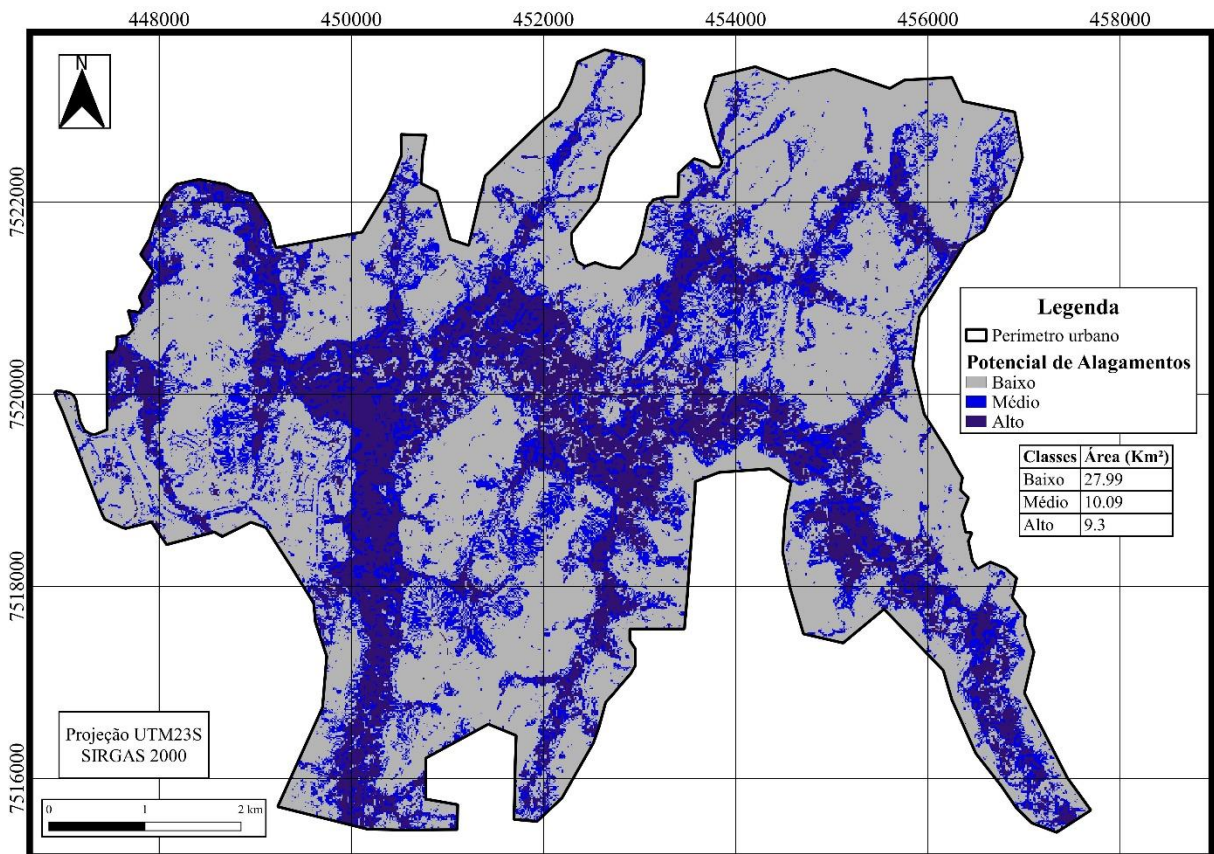


Figura 24: Mapa do potencial de alagamentos do perímetro urbano de Itajubá (MG).

5.3 MAPAS DE DISTÂNCIA DOS CORPOS HÍDRICOS E DISTÂNCIA DA ÁREA CONSTRUÍDA

Os mapas de distâncias da área construída e distância dos corpos hídricos são fundamentais para a escolha e alocação de diversos tipos de atividades sobre as áreas urbanas. Neste trabalho, eles foram utilizados com a função de selecionar áreas que poderiam abrigar o grupo de descarte de resíduos.

De acordo com os trabalhos de Carrilho et al. (2018) e de Lourenço et al. (2015), as áreas que estão dispostas a distâncias de até 200 metros de corpos hídricos e de até 250 metros da área urbana são consideradas inaptas para o descarte de resíduos, e áreas que estão localizadas acima dessas distâncias poderiam ser consideradas aptas para o descarte de resíduos, possuindo algum tipo de restrição.

O mapa de distância dos corpos hídricos (Figura 25) indica que não há áreas contidas no perímetro urbano com a distância maior de 200m dos corpos hídricos, e o mapa de distância das áreas construídas também indica que não há áreas com distância maior de 250m das construções urbanas (Figura 26), demonstrando que não há áreas aptas a receber o descarte de resíduos no perímetro urbano. Moreira et al. (2021), afirmam que a disposição incorreta de resíduos próximos a cursos d'água e à área urbanizada traz sérias complicações à saúde pública.

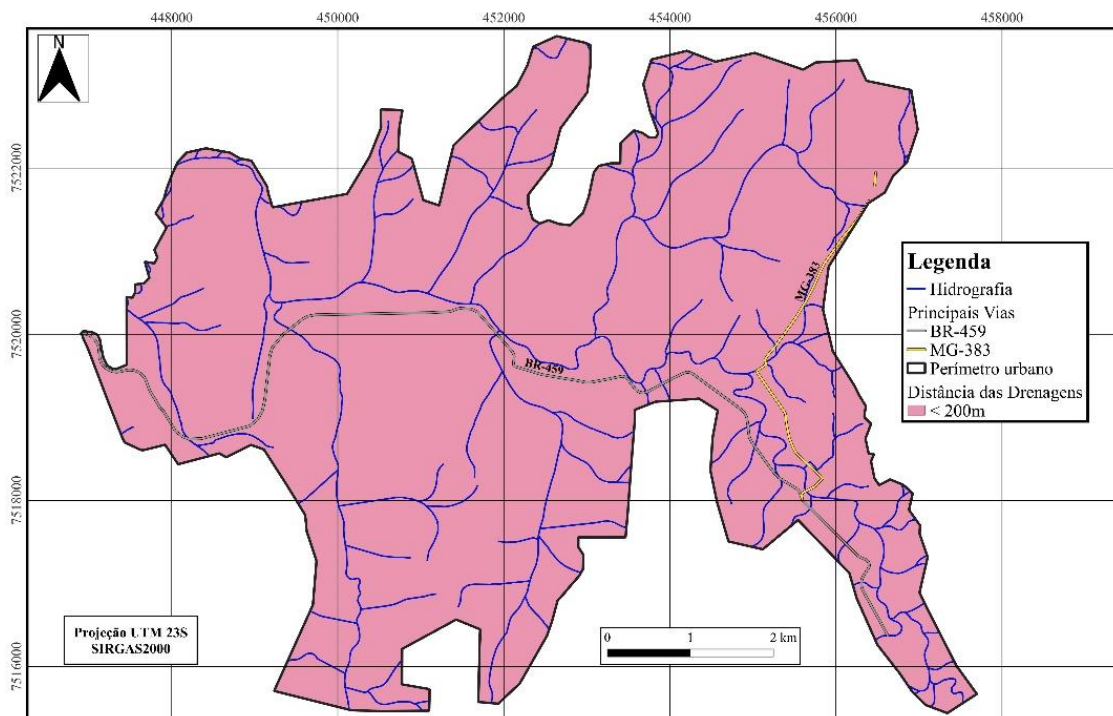


Figura 25: Mapa de distância dos corpos hídricos, no perímetro urbano de Itajubá (MG).

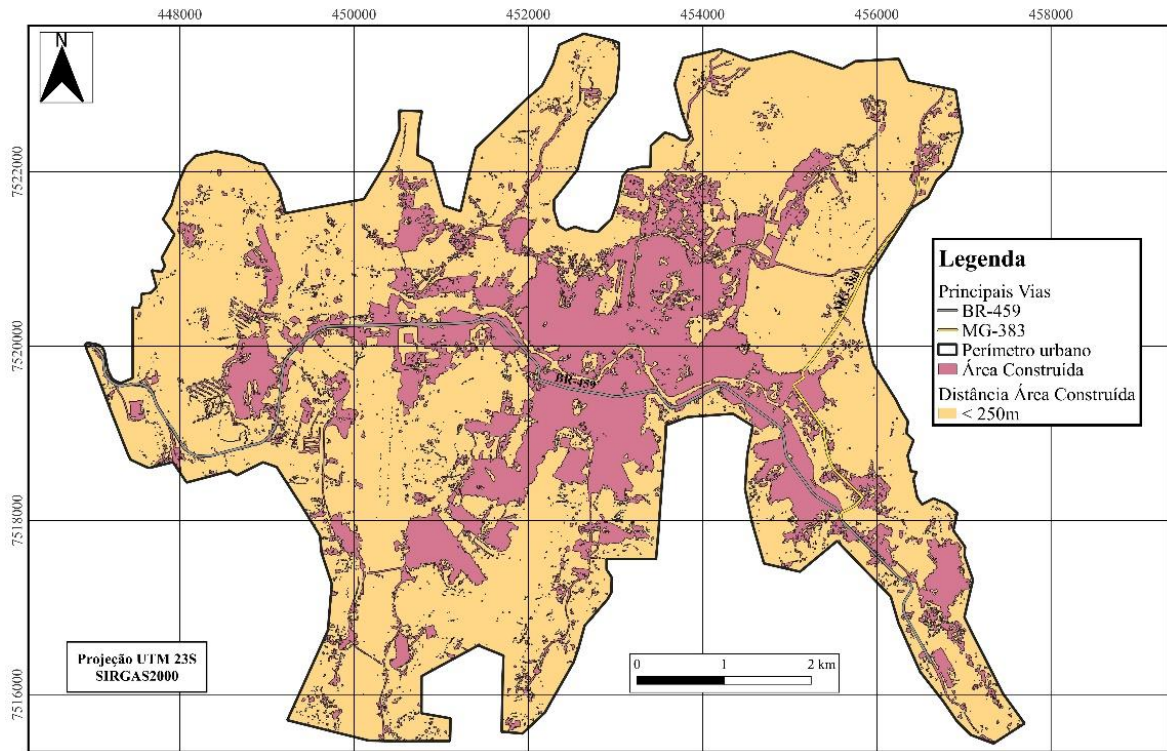


Figura 26: Mapa de distância da área construída, no perímetro urbano de Itajubá (MG).

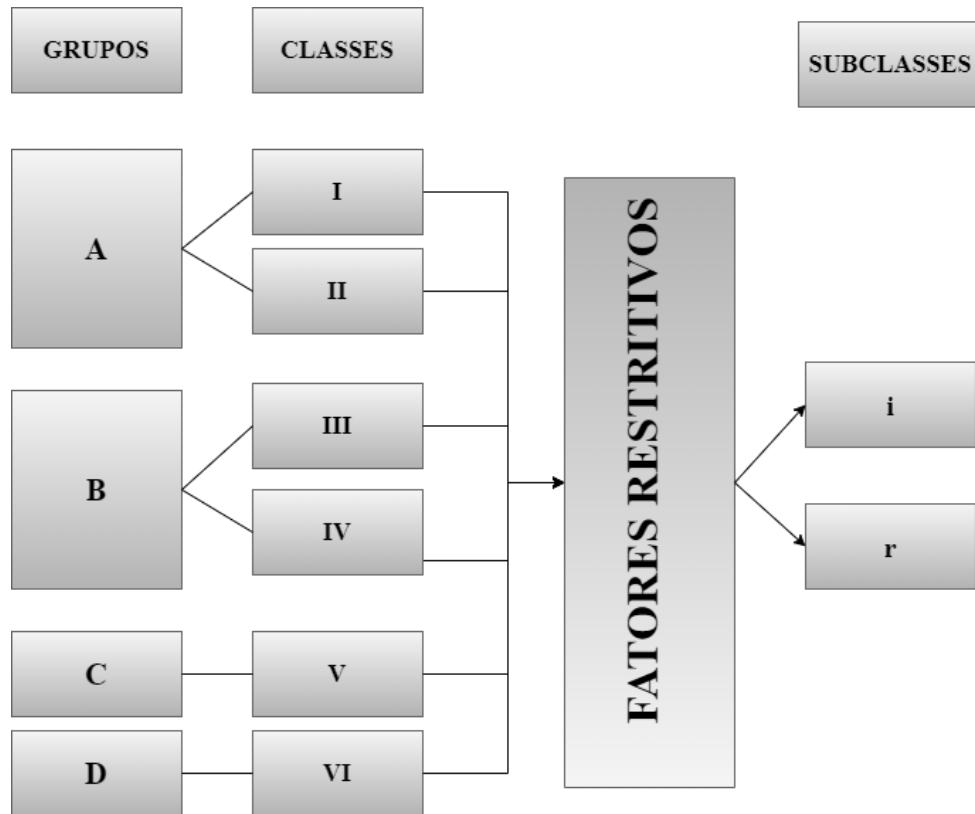
5.4 MAPA DE CAPACIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS URBANOS DE ITAJUBÁ

O mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG) visou auxiliar no planejamento da cidade quanto à destinação dos solos urbanos para a sua melhor utilização, priorizando a expansão urbana e considerando as diferentes características e propriedades dos solos urbanos presentes no local, de acordo com os fatores do meio físico selecionados.

O mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, uma vez realizado, não é necessariamente definitivo, pois, devido aos avanços tecnológicos futuros, uma área considerada inapta para a alocação de um determinado uso, pode passar a apresentar aptidão para o mesmo uso que outrora não possuía (PEDRON, 2005).

Os grupos, classes e subclasses de utilização dos solos urbanos definidos anteriormente no item 4.5.3 estão presentes no Quadro 2.

Quadro 2: Divisão dos grupos, classes e subclasses de utilização dos solos urbanos de Itajubá (MG).



Os grupos de uso industrial/descarte de resíduos (A) e construções urbanas (B) possuem 2 classes cada, que são representados pelos números de I a IV, enquanto que o grupo de agricultura urbana (C), é representado pelo número “V”, os quais indicam a principal aptidão de uso e ocupação dos solos no meio urbano. O grupo de preservação ambiental (D) possui apenas uma classe VI.

As descrições dos grupos e classes de utilização dos solos urbanos são apresentadas a seguir:

Grupo A – Uso Industrial/Descarte de Resíduos: Representam áreas indicadas para o descarte de resíduos e instalação de atividades industriais, oferecendo poucos riscos ao ambiente.

Classe (I) Resíduos Sólidos: são áreas que não apresentam problemas para o descarte de materiais poluentes.

Classe (II) Áreas Industriais: São regiões que apresentam maior potencial para abrigar empreendimentos industriais de pequeno a grande porte, minimizando os impactos ambientais e sociais e os riscos de degradação do meio ambiente.

Grupo B – Construções Urbanas: São áreas que possuem destinação prioritária para a expansão urbana, o que envolve as construções residenciais, comerciais, áreas de lazer como parques, praças e hortos florestais.

Classe (III) Áreas Residenciais/Comerciais: são áreas que apresentam certas limitações quanto ao uso urbano, sendo destinadas, principalmente, para o adensamento populacional e/ou uso comercial.

Classe (IV) Áreas Recreativas: são áreas verdes, parques, praças e ambientes de interação social. Essas áreas apresentam algum tipo de limitação para construção civil. De acordo com Chaves e Souza (2018), essas áreas proporcionam benefícios à sociedade por serem locais de usos sociais múltiplos para o lazer, sendo praticadas as mais diversas atividades passivas ou ativas pela população.

Grupo C – Agricultura Urbana: São áreas localizadas no espaço urbano que priorizam a produção de hortaliças, para o consumo local.

Classe (V) Horticultura: são áreas que apresentam limitações intermediárias ao seu uso, mas que possuem aptidão para o cultivo de espécies hortaliças (folhas, inflorescências, raízes e caules).

Grupo D – Preservação Ambiental: São regiões destinadas, prioritariamente, à conservação ambiental, estando sujeitas a processos de degradação ambiental, caso utilizadas para outros fins.

Classe (VI) Áreas de Preservação da Fauna e Flora: são áreas regulamentadas pelas legislações federal, estadual e ou municipal, e que são inadequadas para os demais usos devido ao alto risco de degradação dos solos.

De acordo com os grupos, classes e subclasses de uso e ocupação dos solos urbanos definidos anteriormente, foi obtido o mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG) (Figura 27) (Quadro 3).

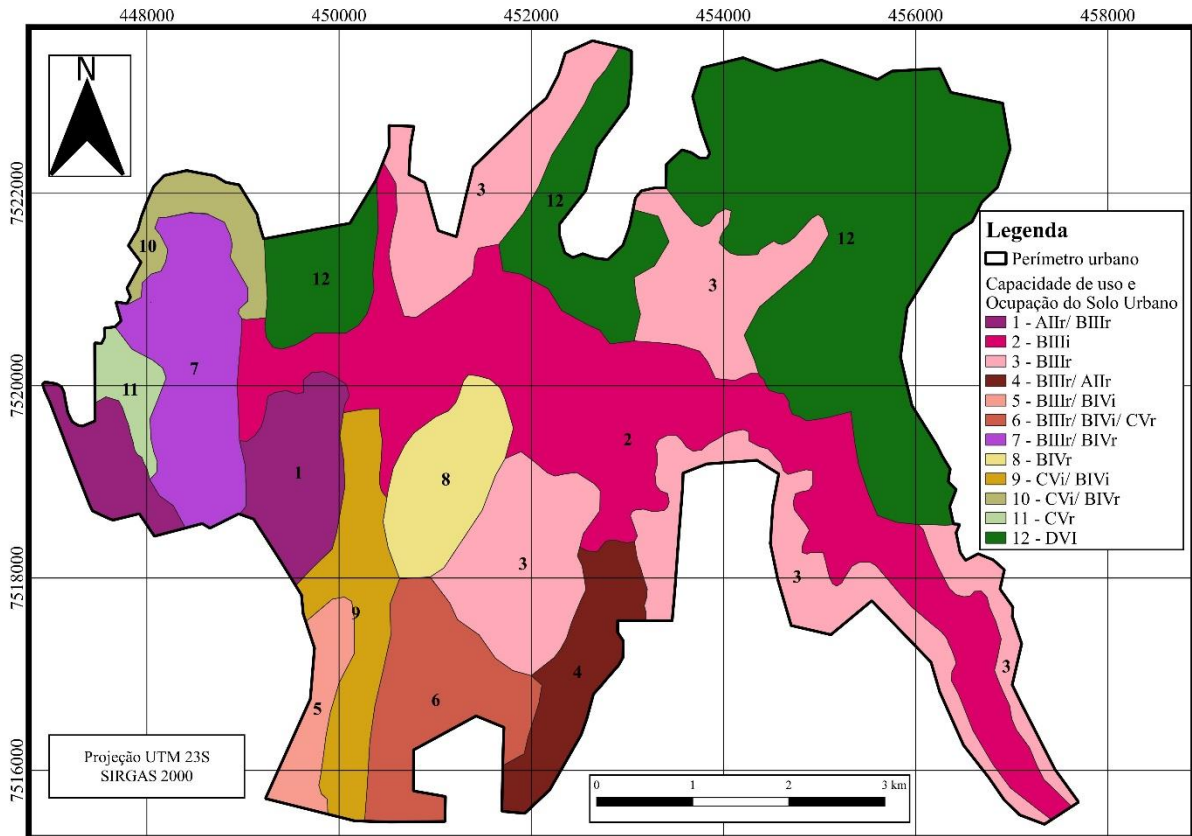


Figura 27: Mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG).

Quadro 3: Descrição da legenda do mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG).

Classes	Área (Km ²)	Descrição
1 – AIr / BIIIr	2,62	Áreas com aptidão a instalação industriais, e comercio.
2 – BIIIi	9,79	Área com aptidão para residências e comércio.
3 – BIIIr	9,59	Áreas com aptidão residencial e comercial, com restrições.
4 – BIIIr / AIr	1,66	Áreas com aptidão residencial, comercial e industrial, com restrições.
5 – BIIIr / BIVi	0,83	Área com aptidão residencial/comercial com restrições, e para instalação de áreas recreativas
6 – BIIIr / BIVi / CVr	2,43	Área com aptidão para instalações residenciais, recreativas e para agricultura urbana, com restrições.
7 – BIIIr / BIVr	2,93	Área com aptidão residencial e agricultura urbana, com restrições.
8 – BIVr	1,73	Área com aptidão para áreas recreativas com restrições.
9 – CVi / BIVi	2,09	Área com aptidão para agricultura urbana, e áreas recreativas.
10 – CVi / BIVr	0,91	Área com aptidão para agricultura urbana, e áreas recreativas, com restrições.
11 – CVr	0,56	Área com aptidão para agricultura urbana com restrições.
12 – DVI	12,33	Áreas aptas a preservação ambiental.

A classificação observada na Figura 27 representa a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, por meio dos fatores do meio físico, onde as diversas áreas do perímetro urbano podem possuir usos de um único grupo ou mais de um grupo.

Essa proposta de classificação priorizou o grupo de construções urbanas que envolvem as classes “BIIIi e BIIIr”, e o grupo uso industrial /descarte de resíduos classe “AIr”, estabelecendo os locais mais aptos para receberem a expansão e a ocupação de atividades antrópicas nos solos urbanos.

Apenas 24.89km² (52,5%) dos solos urbanos possuem aptidão para a instalação do grupo de construções urbanas (B) dentro do perímetro urbano. As áreas em conjunto dos grupos de construções urbanas (B) e uso industrial/descarte de resíduos (A) representam cerca de 4,28km² (9%), já as áreas que podem ser destinadas à agricultura urbana (C) em conjunto com as construções urbanas (B) correspondem a 6km² (12,5%), e as áreas classificadas como de preservação ambiental (D) correspondem a 12.33km² (26%) do total do perímetro urbano.

O mapa de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG) reflete as potencialidades que o perímetro urbano da cidade possui para a implantação ou expansão das atividades contidas nos grupos determinados anteriormente.

Os solos urbanos classificadas como o grupo de construções urbanas se concentram, principalmente, na porção central do perímetro urbano, ocupando a maior área e totalizando 52,5%. Como os grupos A, B e C compartilham porções de solos que podem ser destinadas para um tipo ou mais de uso, essas áreas e correspondem a cerca de 10.28km² (21.5%) e devem priorizar o uso e ocupação de acordo com as necessidades urbanas do município.

Os solos urbanos classificadas como áreas de preservação ambiental estão concentradas, em sua maioria, na porção nordeste, e se estendem até a parte sudeste do perímetro urbano, possuindo também, áreas não menos importantes na porção noroeste. A área de preservação ambiental representa 21% dos solos urbanos.

Devido às distâncias dos corpos hídricos e da distância das construções urbanas indicarem que não há solos urbanos disponíveis para a o uso da classe (AI) de descarte de resíduos, é recomendado que o descarte de resíduos aconteça fora do perímetro urbano em uma área propícia que não afete o regime hídrico e a população local.

5.4.1 ANÁLISE DO USO DO SOLO POR MEIO DO LEVANTAMENTO AÉREO

A etapa de campo foi realizada entre os dias 13/12/2022 e 15/12/2022 no perímetro urbano de Itajubá, tendo sido selecionados, no total, 8 pontos de sobrevoio em locais em que apresentaram divergências entre capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos que foi mapeada, e o uso atual.

As figuras de localização dos pontos 1 a 8 foram geradas no QGIS 3.16 com a visão de imagens de satélite do Google Earth, da data de 29/07/2022, em função da melhor resolução espacial desta imagem (Figura 28), e sobrepostas com as delimitações das classes de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, enquanto que as fotografias obtidas com o sobrevoio do drone são do mês de dezembro de 2022.

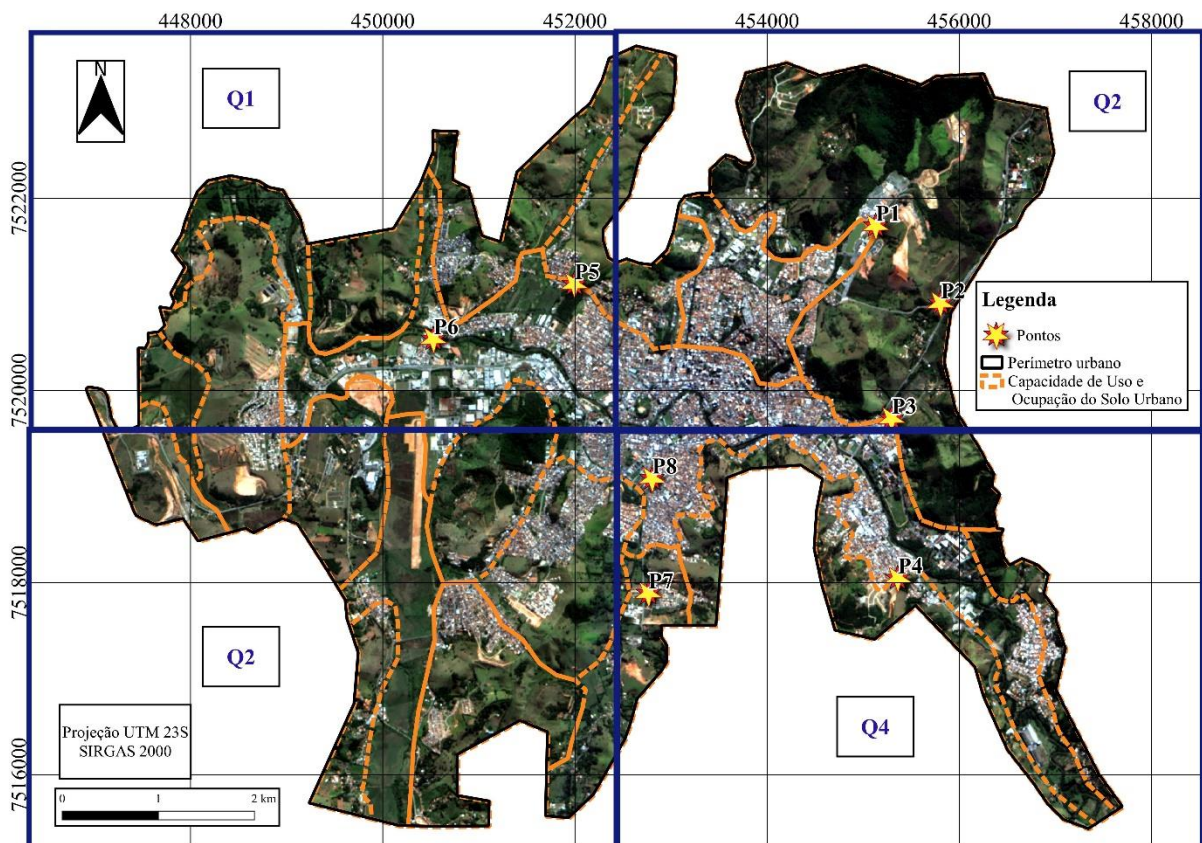


Figura 28: Pontos visitados no perímetro urbano de Itajubá (MG).

A Figura 28 foi dividida em quatro quadrantes, de Q1 a Q4. Os pontos P1 e P2 estando em Q2, os pontos P3, P4, P7 e P8 localizados em Q4, e os pontos P5 e P6 localizados em Q1.

O primeiro ponto (P1) (Figura 29) está localizado na porção nordeste do perímetro urbano em Q2, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E455127, N7521714.

De acordo com a classificação obtida para a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, as áreas ao redor do parque municipal foram classificadas como áreas de preservação de fauna e flora (DVI), e parte do parque municipal está contido nos solos urbanos destinadas ao grupo das construções urbanas com restrições da classe BIIIr.



Figura 29: Imagem de sobrevoo no ponto P1, 13/12/2022 e 14/22/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI) e de construções urbanas com restrições (BIIIr).

As fotografias A1 a A4 (Quadro 4) obtidas no ponto P1, indicam que a maior parte do parque municipal está contido em uma área com aptidão para este uso (BIIIr), mas as áreas ao redor do parque, classificadas como de fauna e flora (DVI), estão em constante expansão de ocupação urbana, devido às obras realizadas no seu entorno, contrastando com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos identificada para as porções à direita de P1.

O ponto P1 é caracterizado pelo relevo acidentado e está associado aos argissolos-vermelhos, ou seja, o manejo inadequado desses solos urbanos e a retirada da cobertura vegetal na área pode potencializar a ocorrência de eventos erosivos e de movimentos de massa no local.

Quadro 4: Quadro de fotografias aéreas do ponto P1, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto A1: Direção nordeste, vista do Parque Científico e Tecnológico de Itajubá – PCTI, ao fundo.



Foto A2: direção sudeste, vista da prefeitura municipal de Itajubá (MG).



Foto A3: Direção sudoeste, vista do lago do parque à direita.



Foto A4: Direção norte, kartódromo do parque municipal à esquerda.

O segundo ponto (P2), também está localizado na parte nordeste do perímetro urbano em Q2, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E455798, N7520906.

Neste ponto é possível visualizar uma área com solo exposto no alto de um morro, na porção noroeste na Figura 28. Esse morro faz parte da área do parque tecnológico, cujas obras de terraplanagem estão ocorrendo para futuras construções dos prédios. As porções de solo do lado direito da rodovia, no sudeste do mapa, estão localizadas fora do perímetro urbano.

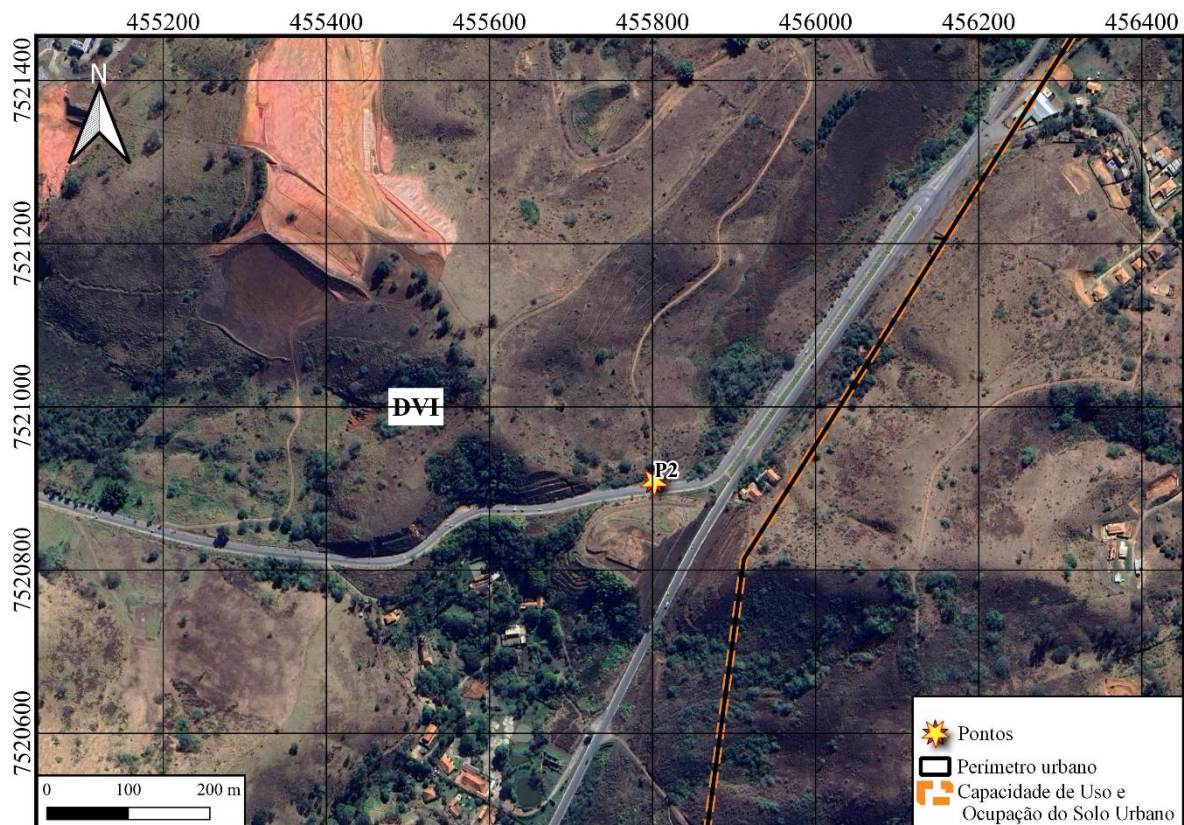


Figura 30:. Imagem do sobrevoo do ponto P2, 13/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbano corresponde à classe de preservação de fauna e flora (DVI).

As fotografias B1 a B4 (Quadro 5) refletem as mesmas condições observadas no ponto anterior (P1), mas com o agravante das áreas classificadas como áreas de preservação de fauna e flora possuírem pouquíssima cobertura vegetal.

A porção sudeste do ponto P2 ainda apresenta ocupação antrópica na encosta dos morros, paralelas às drenagens.

Quadro 5: Quadro de fotografias aéreas do ponto P2, na altitude de 60m a partir do nível do solo.



Foto B1: Direção norte, morro que faz parte do parque tecnológico (PTTI).



Fotografia B2: Direção nordeste, rodovia sentido Itajubá (MG) - Maria da Fé (MG) à direita.



Foto B3: Direção sul, rodovia sentido Maria da Fé (MG) - Itajubá (MG)- Maria da Fé (MG) à esquerda.



Foto B4: Direção sudoeste, estrada Lourenço Velho, sentido parque municipal.

O terceiro ponto (P3) Figura 31, está localizado em Q4 no sudeste do perímetro urbano, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E455292, N7519704.

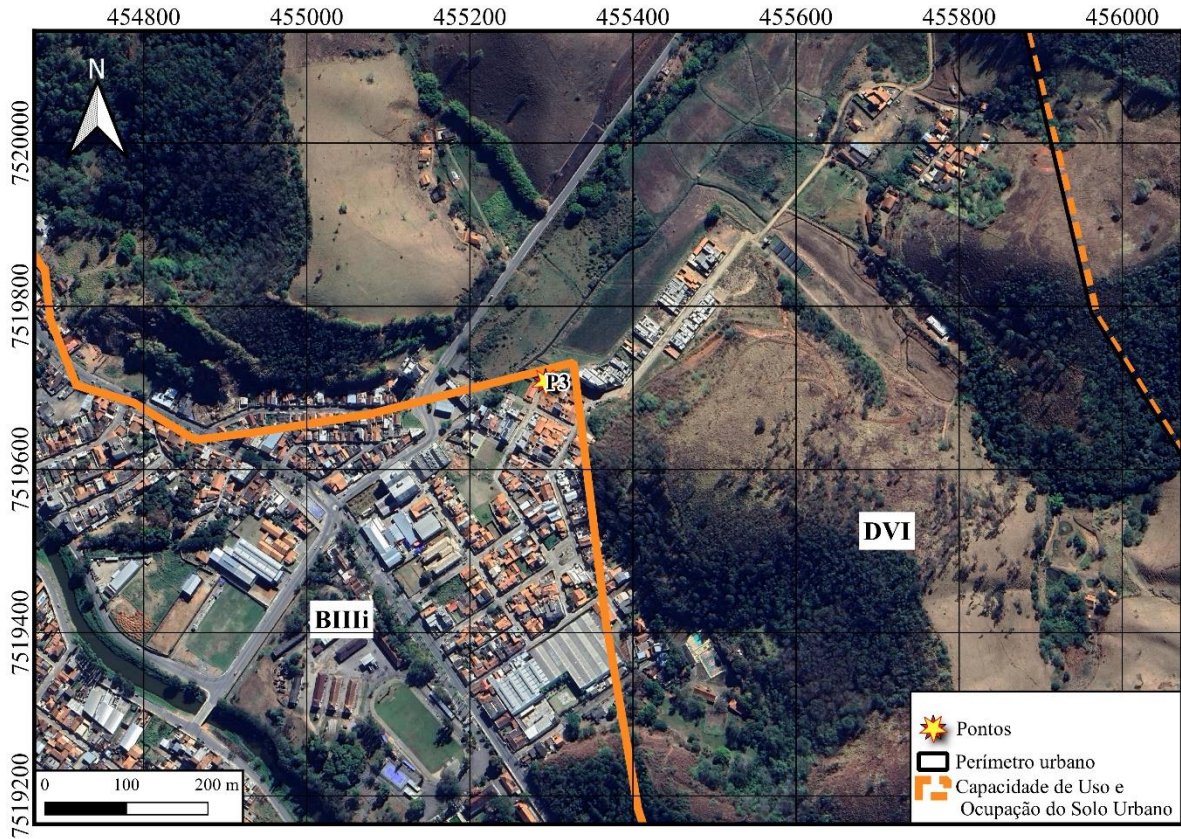


Figura 31: Imagem de sobrevoio do ponto P3, 14/12/2022. A capacidade de e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI) e de construções urbanas (BIIIr).

O ponto se encontra sobre a área urbanizada e é possível notar que, apesar do mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos no local apresentar coerência com alguns dos usos atuais nas porções a sudoeste da Figura 30, uma área na porção central, dentro da classe DVI, está sendo ocupada, onde é observado o crescimento de um loteamento urbano em expansão em direção a uma área de várzea e na encosta do morro à direita mais a nordeste.

A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos ao norte, noroeste, nordeste e sudeste de P3, indicam que esses solos urbanos seriam melhor aproveitadas se fossem utilizadas para o grupo de preservação ambiental, pois, haveriam menos processos de degradação nesses solos urbanos.

No Quadro 6 pode-se observar a situação atual da região.

Quadro 6: Quadro de fotografias aéreas do ponto 3, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto C1: Direção nordeste, rodovia sentido Itajubá (MG) - Maria da Fé (MG) a esquerda.



Foto C2: Direção nordeste, loteamento no bairro Varginha. Ao lado de uma área de várzea.



Foto C3: Direção norte, vista de um morrote com resquícios de fragmentos florestais.



Foto C4: Direção nordeste, rodovia sentido Itajubá (MG) - Maria da Fé (MG) a esquerda

O ponto P4 (Figura 32), está no sudeste do perímetro urbano em Q4, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E455285, N7517992.

Neste ponto tem-se o Rio Sapucaí na parte direita da figura, sendo possível observar a Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL, na porção mais a nordeste de P4.



Figura 32: Imagem de sobrevoo do ponto P4, 14/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas (BIIIi e BIIIr).

Neste ponto P4, visto tanto pela imagem em planta (Figura 31), quanto nas fotografias em visada oblíqua do Quadro 7, observa-se que há uma ocupação crescente da urbanização para as porções a sudoeste e oeste de P4 que, de acordo com a sua capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos mapeada, acontecem sobre solos em que as construções urbanas possuem restrições relacionadas aos fatores do meio físico indicam propensão a processos erosivos e de movimentação de massas.

Quadro 7: Quadro de fotografias aéreas do ponto P4, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto D1: Direção nordeste, ao fundo vista da IMBEL.



Foto D2: Direção sudeste, vista de uma instalação de reservatório no alto do morro para abastecimento de água do loteamento em construção.



Foto D3: Direção sudoeste, vista de cortes no talude para construção de um loteamento.



Foto D4: Direção noroeste, vista do bairro Nossa Senhora de Fátima, cuja ocupação é bastante adensada.

O ponto P5 está localizado ao norte do perímetro urbano entre Q1 e Q2 nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E451961, N7521113.

Neste ponto, retratado pela Figura 33, é observado um processo de movimento de massas em que ocorreu a queda de um talude.

De acordo com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos, na área em que este morro está localizado, a instalação de construções urbanas deveria ser evitada por apresentar alta suscetibilidade a processos erosivos e de movimentação de massas. Tal afirmação é comprovada pela degradação presente no local e que ainda se encontra em processo de evolução.

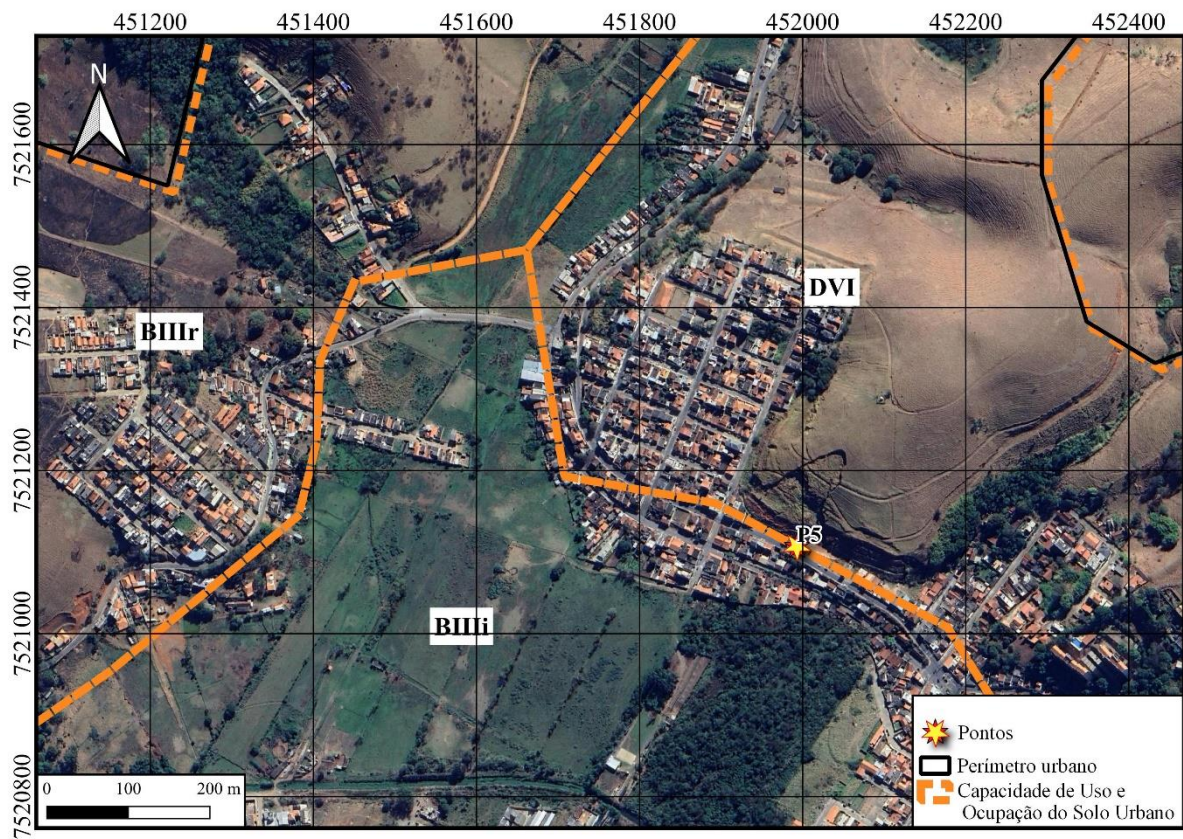


Figura 33: Localização de sobrevoo do ponto 5, 15/12/2022. Imagem de sobrevoo do ponto P5, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi/ BIIIr), e de preservação de fauna e flora (DVI).

No Quadro 8 é possível observar nas fotos E1 e E2 a proximidade das casas ao talude movimentado, além da ocupação das encostas dos morros.

Quadro 8: Quadro de fotografias aéreas do ponto P5, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto E1: Direção norte-nordeste, deslizamento de terra, face central.



Foto E2: Direção nordeste, morro no Bairro Vila Isabel, à direita da área instabilizada.



Foto E3: Direção noroeste, vista do Bairro Vila Isabel.



Foto E4: Direção sudoeste, Vista do Bairro Vila Isabel.

O ponto P6 (Figura 34), está localizado no noroeste do perímetro urbano em Q1, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E450509, N7520521.

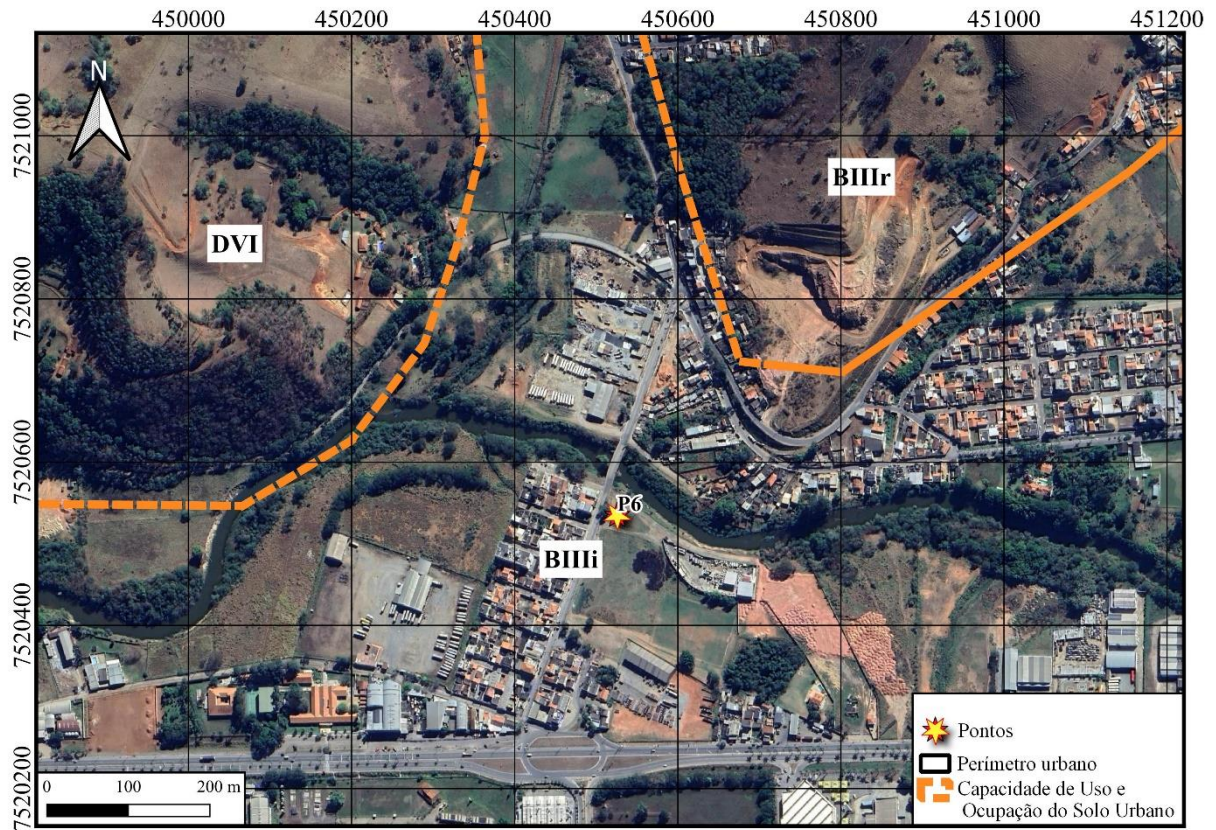


Figura 34: Imagem de sobrevoo do ponto P6, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de preservação de fauna e flora (DVI), e de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr).

Neste ponto são observadas a correta utilização dos solos urbanos para a o grupo de construções urbanas na porção sul do mapa, e a área à nordeste que apresenta aptidão com restrições também para o grupo de construções urbanas, de acordo com o mapeamento da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos obtido. Na região noroeste, mapeada com melhor aptidão para a classe de preservação de fauna e flora (DVI), observa-se o desmatamento, porém com possibilidade de reflorestamento, em função da distância, ainda mantida, das construções urbanas.

No Quadro 9 são observadas a concentração de residências, comércios e instalação de indústrias nas porções de relevo plano.

Quadro 9: Quadro de fotografias aéreas do ponto 6, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.

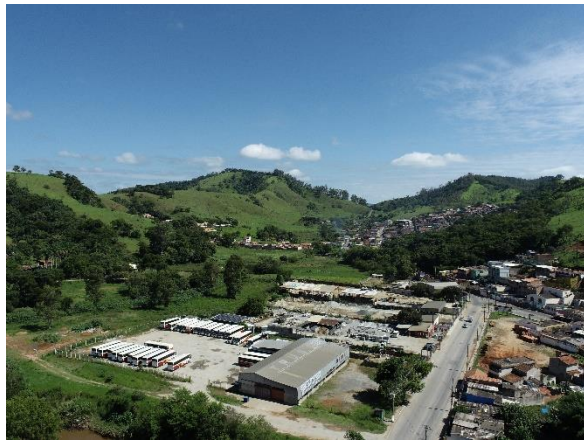


Foto F1: Direção oeste, vista do Bairro Santos Dumont.



Foto F2: Direção norte, vista do Bairro Novo Horizonte ao fundo.



Foto F3: Direção sul, vista do Distrito Industrial.



Foto F4: Direção leste, vista de fragmento florestal no Bairro Santos Dumont.

O ponto P7 (Figura 35), está localizado no Bairro Anhumas, na Rua José Rodrigues Sobrinho, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E452661, N7517874.

Neste ponto também é possível observar a ocupação urbana em áreas que apresentam alta suscetibilidade a processos erosivos e movimento de massa.

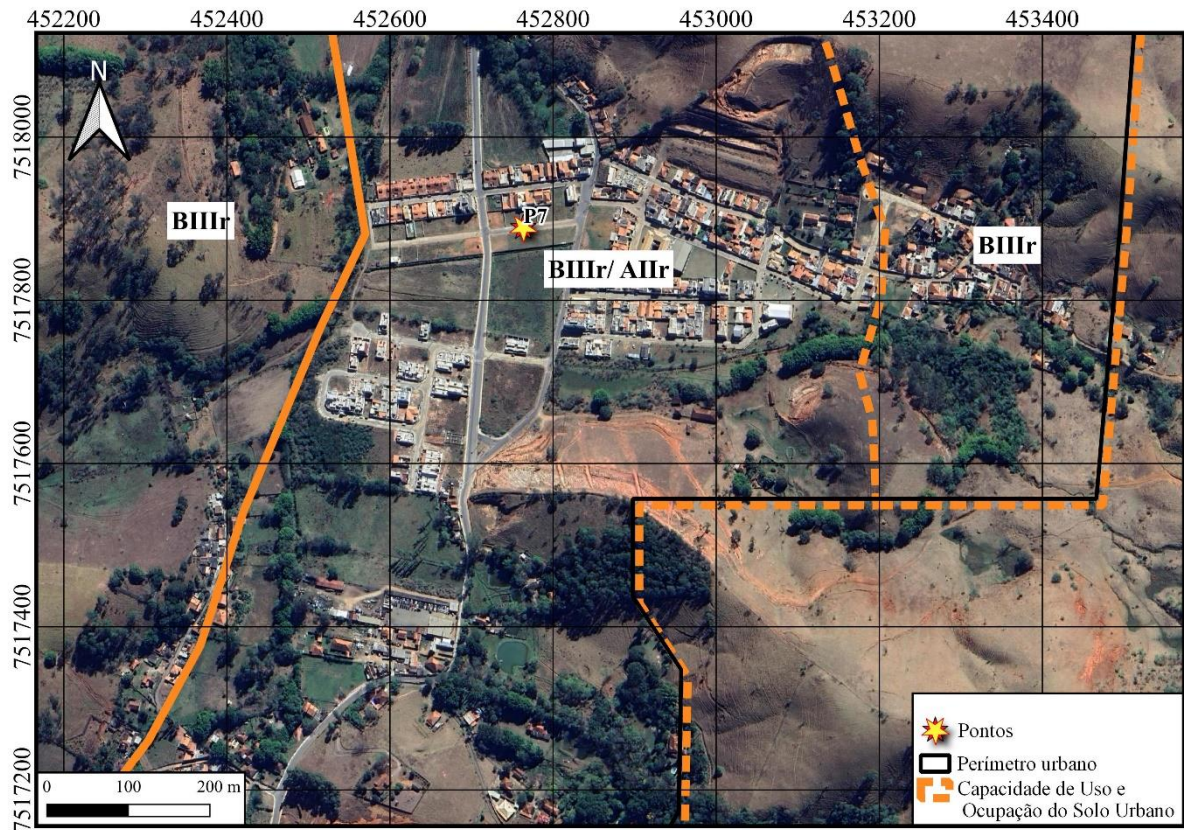


Figura 35: Imagem de sobrevoo do ponto P7, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr) e para a classe de uso industrial (AIIr).

As áreas de pastagem que recobrem os morros que circundam o Bairro Anhumas, de acordo com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos identificados, possuem restrições pois estão ligadas a alta suscetibilidade erosiva que existem na região ligadas a classe (BIIIr)

No quadro 10 é possível observar uma baixa densidade de ocupação desses solos urbanos, que começa a aumentar nas direções dos vales e à medida que são abertos novos loteamentos nos morros da região.

Quadro 10: Quadro de fotografias aéreas do ponto 7, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto G1: Direção sudeste, vista do Bairro Anhumas.



Foto 2: Direção sudoeste, vista do Bairro Anhumas.



Foto G3: Direção leste, vista do Bairro Anhumas.



Foto G4: Direção nordeste, vista do Bairro Anhumas.

O ponto P8 está localizado também no sudeste do perímetro urbano em Q4, nas coordenadas UTM Sirgas 2000 23S, E452803, N7519081.

Neste ponto, pode-se observar a alta densidade de ocupação urbana em áreas que foram classificadas como aptas para este uso e ocupação dos solos urbanos (Figura 36).



Figura 36: Imagem de sobrevoo do ponto P8, 15/12/2022. A capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos corresponde às classes de construções urbanas com e sem restrições (BIIIi e BIIIr).

No quadro 11, é observado o adensamento urbano nas regiões mais planas (fotos H1 e H4), aliado à ocupação de porções de solos urbanos nas encostas dos morros (fotos H2 e H3) de áreas com restrições em decorrência das suscetibilidades a movimentos de massa e erosão moderadas (BIIIr). Devido à proximidade dessas áreas possuindo restrições com a porção central do perímetro urbano, seria mais interessante o investimento em com coberturas vegetais nas encostas e sobre os morros para a redução de possíveis processos de erosão e melhora da qualidade de vida da população.

Quadro 11: Quadro de fotografias aéreas do ponto 8, na altitude de 60m, a partir do nível do solo.



Foto H1: Direção sudeste, vista do Bairro São Vicente.



Foto H2: Direção sudoeste, vista do Bairro São Vicente.



Foto H3: Direção noroeste, vista do Bairro São Vicente.



Foto H4: Direção norte, vista do Bairro São Vicente.

De um modo geral, os dados obtidos com o sobrevoo de drone corroboram para a confiabilidade da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos mapeados, que podem servir de subsídio para trabalhos futuros envolvendo os usos dos solos urbanos de Itajubá.

5.5 ANÁLISE DOS POSSÍVEIS CONFLITOS EXISTENTES

Neste tópico são abordados os possíveis conflitos existentes entre a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, com o uso e ocupação do solo de 2022, o zoneamento urbano e as áreas degradadas.

Ao se sobrepormos a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá com o mapa de uso e ocupação do solo de 2022 (Figura 37), observa-se que a classe de área construída (em rosa) que representam a ocupação urbana (casas, comércio, praças, etc...), ocupam preferencialmente, as áreas mais aptas para esta finalidade envolvendo as classes BIIIi e BIIIr.

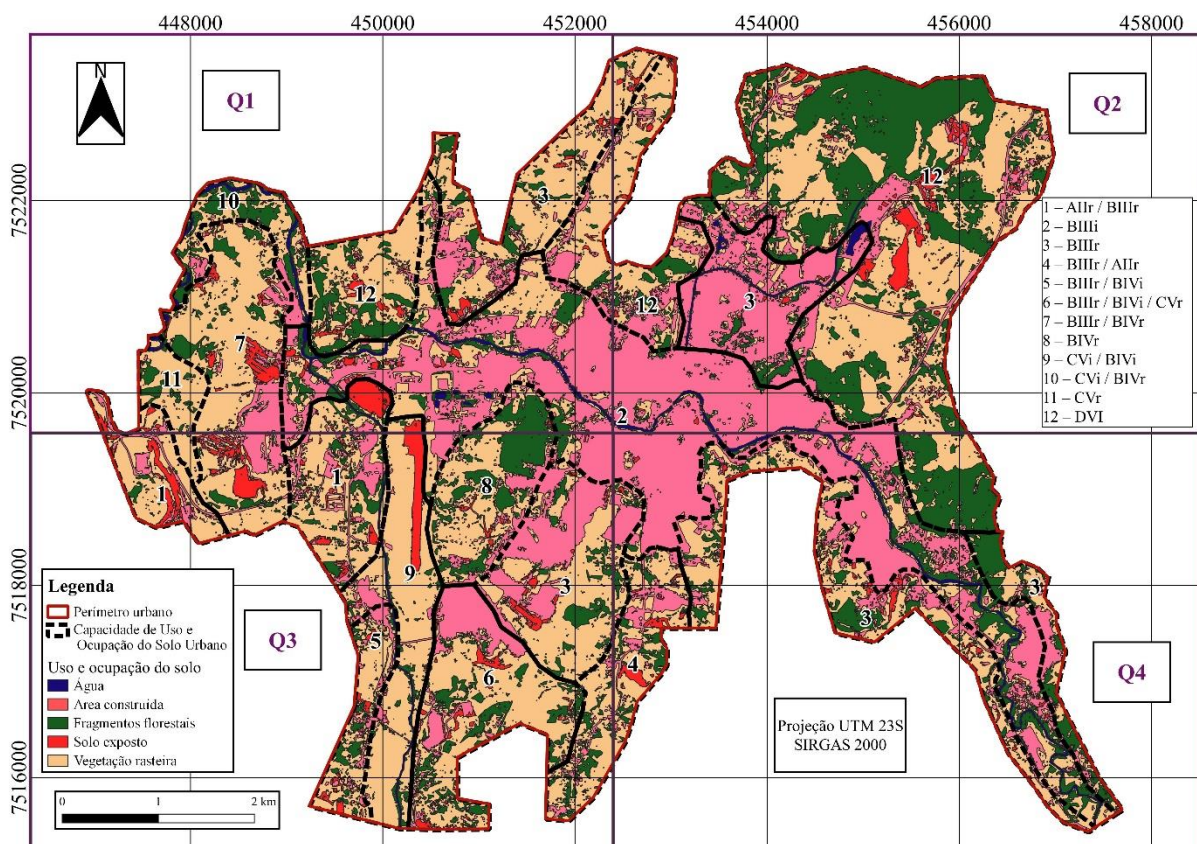


Figura 37: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, com o mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Itajubá do ano de 2022.

Do mesmo modo, as porções de solos urbanos que apresentam maior área e continuidade entre os fragmentos florestais estão em solos urbanos classificadas como regiões de preservação de fauna e flora (DVI), situadas a noroeste, nordeste e sudeste do perímetro urbano. Essas porções possuem um manejo mais restrito por apresentarem alta suscetibilidade à erosão e moderada suscetibilidade a movimentos de massa, relacionadas a declividade fortemente ondulada e aos argissolos vermelhos presentes nessas porções.

A classe de vegetação rasteira tem predomínio sobre as demais regiões do perímetro urbano, em porções que, de acordo com a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos indicada, podem ser destinadas para o grupo de construções urbanas (BIIIr, BIVi, BIVr), garantindo a expansão da urbanização sustentável para áreas com melhor aptidão, desde que o manejo dos solos urbanos se adequa as restrições existentes no local em função das fragilidades existentes. Também podem ser utilizadas para a implantação do grupo de agricultura urbana, ao abrigarem a classe de horticultura (CVi e CVr) fornecendo hortaliças para o consumo local, e cabendo aos agentes públicos determinarem o melhor uso e ocupação dos solos urbanos nesses locais.

A instalação de atividades relacionadas ao uso industrial (AIIr), preferencialmente devem ser instaladas nas porções sul e oeste, que se encontram mais afastadas do perímetro urbano, reduzindo os efeitos negativos gerados pela poluição sonora, visual, do ar e demais que podem ser produzidas pelas atividades industriais.

Quanto aos possíveis conflitos existentes e os que podem vir a aparecer no futuramente ao não ser analisada a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos antes da instalação das atividades, temos que sobre o perímetro urbano de Itajubá são observadas, áreas com existência de solos expostos em regiões onde a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos as classifica como de preservação de fauna e flora nos quadrantes Q1 e Q2.

Em Q2 temos a instalação de obras para a construção de um parque tecnológico, o que explica a área de solo exposto existente, mas essa é uma área em que há pré-disposição para a ocorrência de eventos erosivos e de movimentação de massa. Ou seja, futuramente os processos de degradação podem aumentar em decorrência das limitações desses solos urbanos.

Já em Q1 além da instalação de construções urbanas (cor rosa) em áreas que compreendem a classe do grupo de preservação de fauna e flora (DVI), tem-se também a ocorrência de solo exposto em uma área que é parcialmente recoberta por fragmentos florestais e está próxima ao Rio Sapucaí. Então, os conflitos existentes estão ligados ao uso de solos urbanos que deveriam ser preservados, por não possuírem aptidão para a implantação e expansão da urbanização.

No zoneamento urbano municipal de Itajubá (MG)2018, representado na Figura 38, o perímetro urbano é dividido nas seguintes zonas: ZAR (zona de adensamento restrito), ZAD (zona adensável) e ZEU (zona de expansão urbana). Dentro dessas zonas existem as áreas especiais, sendo de interesse para este trabalho somente as áreas especiais que se sobrepõem à ZEU, as quais são: AIA (Área Especial de Interesse Ambiental), AIT (Área Especial de Interesse Tecnológico) e AIE (Área Especial de Interesse Econômico).

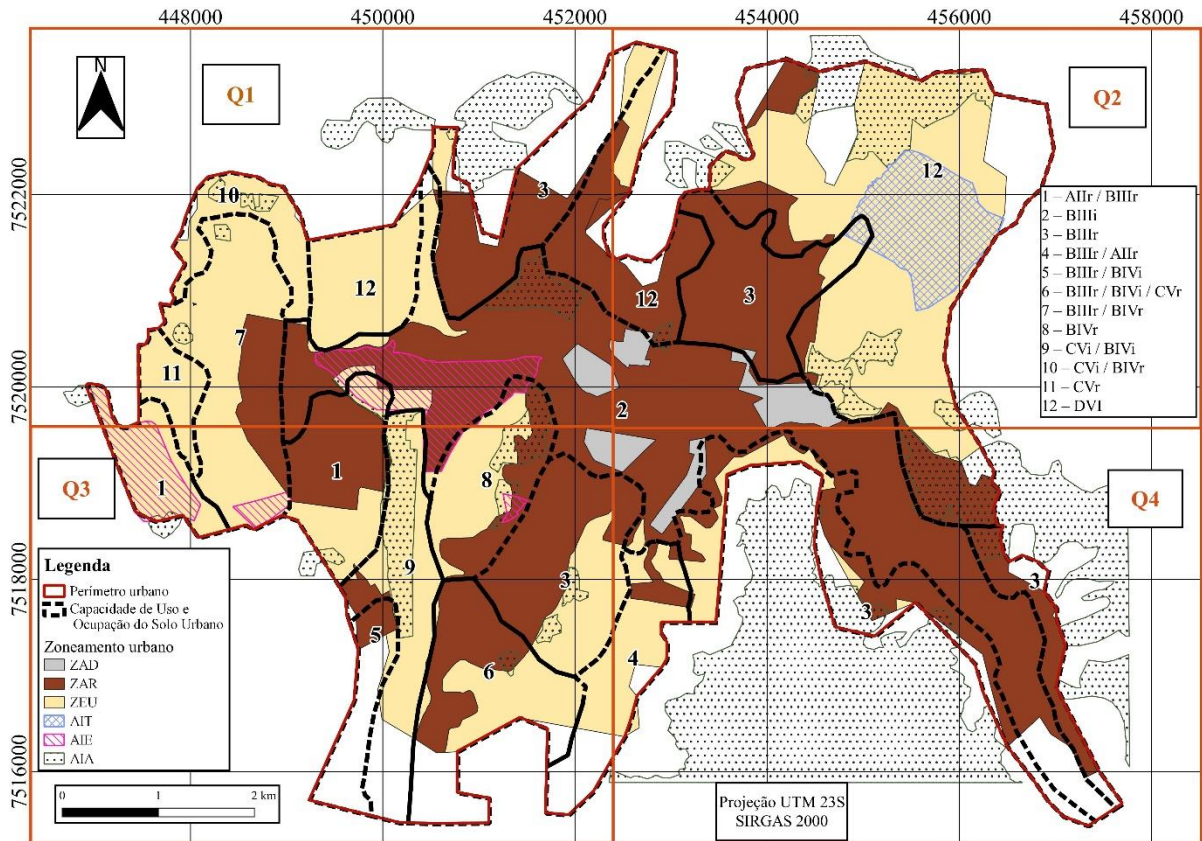


Figura 38: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG), com o zoneamento urbano municipal de Itajubá (MG) de 2019.

À princípio, os possíveis conflitos existentes entre a capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá e o zoneamento urbano municipal são semelhantes aos identificados para com o uso e ocupação do solo de 2022.

Os solos urbanos classificados como áreas de preservação de fauna e flora (DVI) estão contidas nas ZEU e parte deles é recoberta por AIA's, mas ocorre de que no quadrante Q2 a instalação da AIT sobre a classe de preservação de fauna e flora além do fato de que nem todos os fragmentos florestais identificados pelo mapeamento de uso e cobertura do solo são considerados como AIA mesmo estando dentro das ZAR e das ZEU.

Apesar das ZEU e das ZAR possuírem algumas AIA's, quando se visa um crescimento urbano sustentável é necessário que as AIA's sejam demarcadas antes do começo dos processos de ocupação e da expansão urbana, de forma que a fauna e flora existentes sejam preservadas.

Em Q4 o zoneamento urbano indica o crescimento da ZAR a sudeste que é cercada por AIA's, ainda sendo possível observar a abertura de novos loteamentos para adensamento da ocupação como foi observado no quadro 8, indo contra as diretrizes do plano diretor, e contra a aptidão desses solos urbanos, podendo vir a gerar danos ambientais.

As sobreposições anteriores, aliadas à sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG), com o mapa de áreas degradadas (Figura 39) reforçam que os principais conflitos existentes estão presentes ao longo de todo o perímetro urbano, mas com os solos urbanos na porção nordeste sendo uma das mais afetadas, por terem sido mapeadas como áreas de preservação de fauna e flora (DVI).

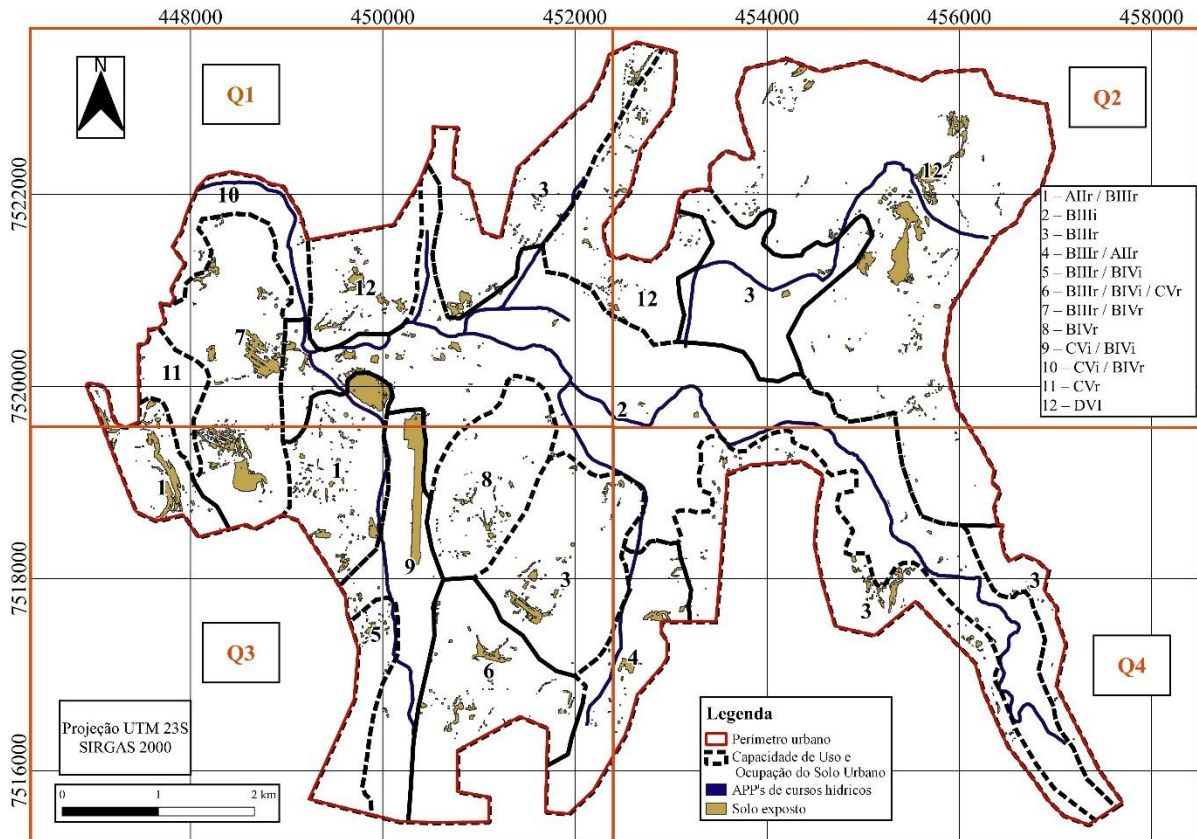


Figura 39: Sobreposição da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá, com as áreas degradadas no perímetro urbano.

Os locais de conflito expostos nas comparações anteriores, são observados novamente na Figura 39, e são evidenciados novos locais no quadrante Q3 em que estão concentradas a maior parte das áreas com solo exposto em decorrência da abertura de loteamentos e obras paralisadas como é o caso da obra da pista do aeroporto. Em Q1, Q2 e Q3, temos porções com solo exposto próximas aos cursos hídricos, podendo vir a contribuir com o aumento da degradação do Rio Sapucaí que corta o perímetro urbano.

Um dos exemplos negativos existentes do que pode acontecer caso os solos urbanos em que ocorre a retirada da cobertura vegetal do solo, e que são transformadas em áreas com solo exposto, é a área das obras para a pista do aeroporto que foi aterrada para a construção da obra, porém, devido à impedimentos legais para a implantação do aeroporto em local de várzea e com moderada suscetibilidade à inundação, a obra está parada, e o local está sujeito à formação de processos erosivos contribuindo para o assoreamento dos corpos hídricos próximos.

6 CONCLUSÕES

O levantamento do uso e ocupação do solo de Itajubá (MG) do ano de 2022, demonstra que o perímetro urbano da cidade apresenta altas porcentagens de área construída (28,5%) e vegetação rasteira (47,5%), e pouca quantidade de fragmentos florestais (18%). Tendo-se em vista o crescimento urbano sustentável, o aumento das áreas que incluem fragmentos florestais em relação à classe de vegetação rasteira seria uma medida benéfica à qualidade de vida da população e ao meio ambiente.

Os fatores do meio físico selecionados para este estudo foram bastante eficazes para a identificação dos solos urbanos com maior aptidão para a instalação dos grupos selecionados, de acordo com a prioridade proposta envolvendo os grupos de construções urbanas que englobam áreas recreativas, áreas residenciais/comerciais. Mais da metade do perímetro urbano apresenta aptidão, ou aptidão com restrições para a classe de construções urbanas, o que demonstra o enorme potencial de urbanização que a cidade possui, sem que haja o aumento das construções urbanas em áreas inadequadas.

As classes de capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá podem vir a auxiliar os gestores públicos na criação de políticas voltadas para o uso sustentável dos solos urbanos e nas futuras atualizações do plano diretor. Uma vez que as zonas de expansão urbana existentes não hierarquizam a prioridade do uso dos solos urbanos com base nas aptidões ou fragilidades dessas áreas.

Ainda, dentro do crescimento sustentável, a adoção da capacidade de uso e ocupação dos solos urbanos de Itajubá (MG) para a destinação dos usos para os solos urbanos presentes nas ZEU, de acordo com as aptidões apresentadas por esses solos, pode vir a reduzir os conflitos ocasionados pela má utilização dos solos urbanos e auxiliar na diminuição da degradação das mesmas.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.W.; MINALLH, N.; AHMAD, N.; ABID, S.A.R.; KHAN, M.A.A. K-means and isodata clustering algorithms for landcover classification using remote sensing. **Sindh Univ. Res. Jour. (Sci. Ser.)**, v.48 n. 2, p. 315-318, 2016.
- AMUNDSON, R.; BERHE, A.A.; HOPMANS, J.W.; OLSON, C.; STEIZEN, A.E; SPARKS, D.L. Soil science. Soil and human security in the 21st century. **Science**, v.348, p. 1261071, 2015.
- BARROS, D.P. **Diagnóstico da cobertura vegetal da cidade de Itajubá/MG, utilizando geoprocessamento e proposta de plano de manejo**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- BODNAR, Z.; PRIESS, A.S.; BIANCHI, P.N.L. A sustentabilidade por meio do planejamento urbano. **Revista Brasileira de Direito**, v. 15, n. 3, p. 38, 2019.
- BRASIL. Decreto n. 97.632 - 10 abr. 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2o, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.
- BRASIL. 2012. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, DF: PR, 2012.
- BUENO, L.M.M.; CYMBALISTA, R. (Org.). **Planos Diretores Municipais: novos conceitos de Planejamento Territorial**. São Paulo: Annablume, p. 290, 2007.
- BURGHARDT, W.; MOREL, J.L.; ZHANG, G.L. Development of the soils research about urban, industrial, traffic, mining and military areas (SUITMAS). **Soil Sci Plant Nutr**, v. 61, p. 3-21. 2015.
- BURGHARDT W. Main characteristics of urban soils. In: Levin, M.; Kim, K.H.J.; Morel, J.L.; Burghardt, W.; Charzynski, P.; Shaw, R.K. Editors. *Soils within Cities: Global approaches to their sustainable management - composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. Stuttgart: Catena Soil Science; p. 19-26. 2017.
- CÂMARA, G; DAVIS, C. Apresentação. In: Câmara G, Davis C, Monteiro AMV, organizadores. *Introdução à ciência da geoinformação*. 2001. Acessado em abr 2022. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>>.
- CARRILHO, A.N.; CANDIDO, H.G.; SOUZA, A.D. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.1, p201-206, 2018.
- CARVALHO, M.B. **Mapeamento das suscetibilidades a inundações e movimentos de massa usando SIG no município de Itajubá, MG**. 112f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá, 2018.
- CHAVES, A.M.S.; SOUZA, R.M. Adensamento urbano e usos sociais de áreas verdes públicas da cidade de Garanhuns-PE. **Ateliê Geográfico**, v. 12(2), p.114–137, 2018.
- CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2nd ed., Boca Raton, FL, 2009.
- COSTA, H.; FOODY, G.M.; BOYD, D.S. Supervised methods of image segmentation accuracy assessment in land cover mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 205, p. 338-351, 2018.

- COSTA, L.; NUNES, L.; AMPATZIDIS, Y. A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values in RGB images using genetic algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, p.105334, 2020.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica Folha Itajubá SF. 23-Y-B-III Escala 1:100.000, URFJ/CPRM, 2008.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica Folha Pindamonhangaba SF. 23-Y-B Escala 1:100.000, CPRM, 2014.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica Folha Pouso Alegre SF. 23-Y-B-II Escala 1:100.000, CPRM, 2014.
- CRÓSTA, A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. UNICAMP/Instituto de Geociências. p. 171, 2002.
- DE PAULA, E.M.S.; ARAÚJO, W. 2021. Drones, redes sociais digitais e educação ambiental: proposta de ensino-aprendizagem em Geografia. **Geografia Física e Geotecnologias**, (org) De Paula, Éder & Albuquerque, Emanuel. p. 1-12, 2021.
- DJI, 2022. DJI drone manufacturer (Phantom Series). Disponível em <<https://www.dji.com/br/93hantom-4-pro-v2?site=brandsite&from=nav>>, acesso em dez 2022.
- DOTTO, B.R.; SILVA, A.S. A representatividade da mobilidade urbana em certificações de sustentabilidade. **Cidades, Comunidades e Territórios**, v. 20, n. 38, p. 1-10, 2019.
- FABRÍCIO, E.P.; BRUM, N.D.; PINTO, R.B.; KÖHLER, F.A. Planejamento urbano sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 2, p. 1326–1338, 2019.
- FELIX, R.R.O.M.; COSTA, D.R.T.R.; LIMA, J.P. Modelo de Avaliação de Áreas Urbanas para receber Projetos Integrados de Revitalização e Mobilidade Sustentável. **EURE- Revista Latino-americana de Estudios Urbanos Regionales**, v. 45, p. 77-98, 2019.
- FLAUZINO, B.K.; MELLONI, E.G.P.; PONS, N.A.D. LIMA, O. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. **Geociências**, v.35, n.2, p.277-287, 2016.
- FREITAS, C.F.S. Ilegalidade e degradação em Fortaleza: os riscos do conflito entre a agenda urbana e ambiental brasileira. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 6, n. 1, p. 109-125, 2014.
- FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.
- FURQUIM, S.A.C.; ALMEIDA, I.S. 2022. Urban soils in Brazil: a review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210124, 2022.
- GARDI, C.; FLORCZYK, A.J.; SCALENGHE, R. Outlook from the soil perspective of urban expansion and food security. **Heliyon**, v.7, n. 1, p. e05860, 2021.
- GNANAVELBABUA, A.; ARUNAGIRIB, P. Ranking of MUDA using AHP and fuzzy AHP algorithm. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 13406-13412, 2018.
- GRANZIERA, M.L.M. Direito ambiental. São Paulo: Atlas, 2009, p. 487. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios Brasileiros, 2019. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2020. 90 p. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101770.pdf>> Acesso em: 20 jun, 2021.

- GOMES, D.; ZAMBAM, N. J. Sustentabilidade do espaço urbano: novas tecnologias e políticas públicas urbanístico-ambientais. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 1, p. 310-334, 2018.
- GOMES, M.F.; PINTO, W.S. Justiça socioambiental e processo de urbanização das cidades. **Revista de Direito da Cidade**, vol. 12, nº 1, p. 582-608, 2020.
- GONÇALVES, T.G.; PONS, N.A.D.; MELLONI, E.G.P.; MANCINI, M.; CURI, N. Digital soil mapping: Predicting soil classes distribution in large areas based on existing soil maps from similar small areas. **Ciência e Agrotecnologia**, 45. 2021.
- GUIMARÃES, C.M.; PASQUALETTO, A.; MAGALHÃES, A.T. Planejamento urbano-ambiental: percepção da população sobre o parque zoológico de goiânia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. 413101219991, 2021.
- HECK, V.; HOFF, H.; WIRSENIUS, S.; MEYER, C.; KREFT, H. Land use options for staying within the planetary boundaries: synergies and trade-offs between global and local sustainability goals. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, v.49, p.73-84, 2018.
- HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**,v. 32, n. 1 p. 1-6, 2021.
- HUETE, A., DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G.; Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases e Referências. Base Cartográfica Contínua ao Milionésimo, escala 1:250000, 2019. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloadsgeociencias.html?caminho=cartas_e_maipas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/>. Acesso em: 20 abr, 2022
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, panorama dos municípios de Minas Gerais, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>> Acesso em: 03 de abril 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela número de municípios que sofrerem com alagamentos (censo de 2010). 2018. Disponível: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2245>>. Acesso em: 3 abr. 2022.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens. CBERS 4A. 2022. Disponível em: <<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>> Acesso em mai, 2022.
- ITAJUBÁ. Prefeitura Municipal de Itajubá (MG) . Lei N. 3352, de 17 de dezembro de 2019.
- JIALI, W.; YANFANG, L.; XIAOLING, Z.; Conflict in informal rural construction land transfer practices in China: a case of Hubei. **Land Use Policy**, v. 109, p. 105573, 2021.
- JINGXIN, G.; JINBO, S.; LUFANG, W. A new methodology to measure the urban construction land-use efficiency based on the two-stage DEA model. **Land Use Policy**, v. 112, p. 105799, 2022.
- KHAN, F. An initial seed selection algorithm for K-means clustering of georeferenced data to improve replicability of cluster assignments for mapping application. **Applied Soft Computing**, v. 12, n. 11, p. 3698-3700, 2016.
- LACERDA, N.; MARINHO, G.; BAHIA, C.; QUEIROZ, P.; PECCHIO, R. Planos diretores municipais. aspectos legais e conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 7 n. 1, p. 55-72, 2005.

- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.
- LEHMANN, A.; STAHR, K. Nature and significance of anthropogenic urban soils. **J Soil Sediment**, v.7, p. 247-260, 2007.
- LOURENÇO, R.W.; SILVA, D.C.C.; SALES, J.C.A.; MEDEIROS, G.A.; OTERO, R.A.P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.37, n.4, p.122-140, 2015.
- MA, L.; LI, M; MA, X.; CHENG, L.; DU, P.; LIU, Y. A review of supervised object-based land-cover image classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 277-293, 2017.
- MA, Z.; REDMOND, R.L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.
- MACHADO, P.P.; CONTARINI, L.C.; ROCHA, L.S.; FERREIRA JUNIOR, J.L.L.; MILANEZE, L.A.; SILVA, M.A.P.; RODRIGUES, B. D. Geoprocessamento aplicado a área de meio ambiente: um estudo de caso baseado em processamento digital de imagens e sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 23819-23836, 2022.
- MAHBOOB, M.A.; GENÇ, B. Evaluation of isodata clustering algorithm for surface gold mining using satellite data. **2019 International Conference on Electrical, Communication, And Computer Engineering (Icecce)**, p. 1-6, 2019.
- MAMMARELLA, R. Apontamentos sobre a qualidade da urbanização: a região sul do país. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.100, p. 59-70, 2001.
- MASTELLA, A. F.; VIEIRA, C. A. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 5, p. 1618-1643, 2018.
- MEUSER, H. **Contaminated urban soils**. Dordrecht: Springer Netherlands; 2010.
- MOREIRA, R.M.; DALMAS, F.B.; PARANHOS FILHO, A.C. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na seleção de áreas aptas à implantação de aterro sanitário no Portal do Pantanal. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e135101320992, 2021.
- MOREL, J.L.; BURGHARDT, W.; KIM, K.H.L. The challenges for soils in the urban environment. In: Levin M, Kim KHJ, Morel JL, Burghardt W, Charzynski P, Shaw RK, editors. *Soils within Cities: Global approaches to their sustainable management - Composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. Stuttgart: Catena Soil Science; 2017. p. 1-6.
- MORELLO, J.; BUZAI, G.D.; BAXELENDE, C.A.; RODRÍGUEZ, A.F.; MATTEUCCI, S.D.; GODAGNORE, R.E.; CASAS, R.R. Urbanization and the consumption of fertile land and other ecological changes: the case of Buenos Aires. **Environment and Urbanization**, v.12, n.2, p. 119-131, 2000.
- O'RIORDAN, R.; DAVIESS, J.; STEVENS, C.; QUINTON, J.N.; BOYKO, C. The ecosystem services of urban soils: A review. **Geoderma**, v.395, p. 115076, 2021.
- PHAM, T.D.; XIA, J.; HA, N.T.; BUI, D.T.; LE, N.N.; TEKEUCHI, W. A review of remote sensing approaches for monitoring blue carbon ecosystems: Mangroves, seagrasses and salt marshes during 2010–2018. **Sensors**, v. 19, p. 1933, 2019.

- PEDRON, F.A. Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria -RS. 75f. Dissertação. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2005.
- PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; MIGUEL, P. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 468-477, 2006.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. & KUPLICH, T.M. 2012. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. Oficina de Textos 2 Ed. São Paulo.
- PRINA, B.Z.; TRENTIN, R.G.M.C: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. João Pessoa (PB), 25 a 29 de abril de 2015. p. 137.
- QGIS. Quantum Geographic Information System (QGIS) Software. Versão 3.16. Open Source Geospatial Foundation Project: Beaverton, 2019.
- RAI, A.K.; MANDAL, N.; SINGH, A.; SINGH, K.K. Landsat 8 OLI satellite image classification using convolutional neural network. **Procedia Computer Science**, v. 167, p. 987-993, 2020.
- REIS, L.G.C.; ALMEIDA, B.S.; SAMPAIO, F.E.O.V. Mapeamento de áreas com potencial de alagamento com uso de geoprocessamento em Luziânia/GO. In: I Encontro Nacional de Desastres, Porto Alegre, Julho, 2018. **Anais...** 2018.
- ROCHA, M.B.B.; ROSA, R. Caracterização do meio físico e monitoramento do uso da terra em 1985 e 2005 do município de Araxá – MG. **Caminhos de Geografia**, v.9, n. 25, p. 95-107, 2008.
- ROSSITER, D.G. Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources. **J Soils Sediments**, v.7, p.96-100, 2007.
- RUBIRA, F.G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espacos livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v.26, n.45, 2016.
- SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International, 1980.
- SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.
- SANTOS, C.A; ADORNO, C.F.C.B.; ARAÚJO, R.A.O. Análise do meio físico como subsídio à definição de diretrizes em planos diretores municipais no Sul de Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 31, n.2 p.313-333 ,2021.
- SANTOS, J.P.C.; HONÓRIO, N.A.; BARCELLOS, C.; NOBRE, A.A. SANTOS, R.R.D.L; SANTOS, C.M.; SOUZA, M.C.; MOTA, R.C.L. Boa governança territorial em pequenos municípios. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e33410918202, 2021.
- SHEN, L.; PENG, Y.; ZHANG, X.; WU, Y. An alternative model for evaluating sustainable urbanization. **Cities**, Tacoma, Washington, USA, v. 29, n. 1, p. 32-39, 2012.
- SILVA, A.B.; BRITES, R.S.; SOUSA, A.R. Caracterização do meio físico da microbacia quatro bocas, em Angelim, PE, e sua quantificação por sistema de informação geográfica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 109-117, 1999.
- SILVA, E.D.; REBOITA, M.S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, n. 1, p. 120-136, 2014.

- SILVA, L.G.; CATELANI, C.S.; TARGA, M.S. Analytic hierarchy process (AHP) applied to flood susceptibility in São José dos Campos, São Paulo, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 15, n. 7, p. 1-7, 2020.
- SILVA, T.F. Análise do processo erosivo no loteamento Paraíso—Itajubá – MG. 87f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá, 2015.
- SILVA, V.C.B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 14, 2014.
- SOUZA, C.M.P.; SILVA, K.F.M.C.; MOREAU, A.M.S.S. Avaliação do potencial de uso urbano da cidade de Ilhéus – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.1, p. 165-179, 2014.
- SOTTO, D.; RIBEIRO, D.G.; ABIKO, A.K.; SAMPAIO, C.A.C.; NAVAS, C.A.; MARINS, K.R.C.; SOBRAL, M.C.M.; PHILIPPI JR, A.; BUCKERIDGE, M.S. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 97, p. 61-80, 2019.
- STANGANINI, F.N.; LOLLO, J. A. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 118-128, 2018.
- STEVIC, D.; HUT, I.; DOJCINOVIC, N.; JOKOVIC, J. Automated identification of land cover type using multispectral satellite images. **Energy and Buildings**, v. 115, p. 131-137, 2016.
- TAVARES, A.O.; PATO, R.L.; MAGALHÃES, M.C. Spatial and temporal land use change and occupation over the last half century in a peri-urban area, **Applied Geography**, v.34, p.32-444, 2012.
- TIBA, C.; AZEVÊDO, V. Potential map for the installation of concentrated solar power in northeast of Brazil using analytic hierarchy process (AHP). **Journal of Geographic Information System**, v. 12, n. 5, p. 470-495, 2020.
- TROW, R.A.J. (Coord.). Geologia da Folha Itajubá* SF.23-Y-III, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil, Levantamentos Geológicos Básicos. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008.
- ULTRAMARI, C.; REZENDE, D. A. Planejamento estratégico e Planos Diretores Municipais: referenciais e bases de aplicação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, p. 717-739, 2008.
- VIEIRA, C.V.; VIANA, P.A. Avaliação da acurácia de algoritmos de classificação de imagens orbitais na Baía da Babitonga, nordeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3577, 2021.
- VIJAYALAKSHMI, S.; KUMAR, MAGESH; ARUN, M. A study of various classification techniques used for very high-resolution remote sensing [VHRRS] images. **Materials Today: Proceedings**, v. 37, p. 2947-2951, 2021.
- WANG, Y.; LI, D.; WANG, Y. Realization of remote sensing image segmentation based on K-means clustering. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**. v. 490, n. 7, p 2008, 2018.
- ZAIDAN, R.T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia - Ppgeo – Ufjf**, v.7, n. 2, p.195-201, 2017.

ZANG, X.; CHEN, J.; TAN, M.; SUN, Y. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases. **Catena**, v. 69, p. 16-30, 2007.

ANEXO I – MAPA DE ZONEAMENTO URBANO E ÁREAS ESPECIAIS 2019.

