



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**ALAGAMENTOS URBANOS: ESTUDO DE CASO DA AVENIDA JUSCELINO
KUBITSCHEK EM FOZ DO IGUAÇU - PR**

BIANCA GABRIEL DOS SANTOS DEZEN

Foz do Iguaçu
2020

**ALAGAMENTOS URBANOS: ESTUDO DE CASO DA AVENIDA JUSCELINO
KUBITSCHEK EM FOZ DO IGUAÇU - PR**

BIANCA GABRIEL DOS SANTOS DEZEN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
Co-Orientadora: Prof. Ma. Mara Rubia Silva

Foz do Iguaçu
2020

BIANCA GABRIEL DOS SANTOS DEZEN

**ALAGAMENTOS URBANOS: ESTUDO DE CASO DA AVENIDA JUSCELINO
KUBITSCHEK EM FOZ DO IGUAÇU - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
UNILA - ILATIT

Eng. Me. Kléber Gomes Ramirez
SANEPAR

Prof. Dra. Kayla Walquiria Garmus
Instituto Federal do Paraná – Campus Foz do Iguaçu

Foz do Iguaçu, 22 de dezembro de 2020.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Bianca Gabriel dos Santos Dezen

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

		Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo	
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso	
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia	
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação	
	<input type="checkbox"/> tese	
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais	
	<input type="checkbox"/> _____	

Título do trabalho acadêmico: Alagamentos urbanos: Estudo de caso da Avenida Juscelino Kubitschek em Foz do Iguaçu - PR

Nome do orientador: Jiam Pires Frigo

Nome da co-orientadora: Mara Rubia Silva

Data da Defesa: 22/12/2020

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 22 de dezembro de 2020.

Assinatura do Responsável

À minha mãe, dona Léa Gabriel, que nunca
me deixou desistir.

AGRADECIMENTOS

Esta é uma etapa marcante na vida de qualquer acadêmico. Representa muitas vezes o fim de todo um ciclo de altos e baixos, de glórias e derrotas. Meus agradecimentos serão um pouco diferentes do formato padrão, eles serão como uma carta à todas as pessoas que passaram por mim em todos esses anos.

Infelizmente, minha memória é um pouco conturbada para que eu lembre de absolutamente todos os nomes, MAS não se sinta excluído caso ele não esteja aqui. No meu coração estou grata, e o Universo já recebeu minhas energias boas em direção a você. Sem mais delongas, vamos começar os trabalhos...

Obviamente, a primeira pessoa a ser agradecida é minha mãe. Sem ela, nada eu seria (literalmente) e, sem os ensinamentos dela, eu seria um ser humano muito pior. Ela me ensinou tudo sobre caráter, respeito, amor, empatia, paciência, força, determinação e garra. Ela me ensinou a acreditar em Deus e por isso Deus não veio em primeiro lugar no meu agradecimento. Porque sem minha mãe me ensinar o valor e o poder de Deus, eu não acreditaria nEle e, portanto, eu não deveria ser grata a Ele (inclusive, obrigada Deus).

Durante minha pesquisa para a epígrafe, me deparei com a seguinte frase da maravilhosa Frida Kahlo: “Ao fim do dia, podemos aguentar muito mais do que pensamos que podemos”. A Unila me ensinou muito isso. Todos esses anos de graduação foram uma sucessão de: “Meu Deus, eu não vou aguentar”, “EU NÃO **AGUENTO MAIS**”, “Vou embora, não dá mais” e frases similares. E eu aguentei. Sempre que achei que não ia aguentar, eu conseguia. Eu me superei cada dia, semana, mês e ano. Claro que isso não aconteceu porque sou extraordinária. Não, não. Isso aconteceu, porque minha rede de apoio é incrível. Ela me fez mais forte e é principalmente a ela que devo agradecer.

Minha rede tem muitos braços e conexões. São pessoas muito diferentes, mas que no fundo sempre me ajudaram e me agregaram, não só como estudante e acadêmica, mas também como ser humano, me fazendo uma pessoa cada vez mais atenta e coerente com meus próprios princípios.

Minha rede tem início na minha família. Ela é minha rocha mãe. Minha sustentação maior. Minhas tias, assim como minha mãe, me ajudaram (e ainda ajudam) a ver e entender muitas coisas ao meu redor, olhando sempre sob a ótica de mulheres incríveis que passaram por muita coisa, tendo somente elas mesmas como apoio. Obrigada Tia Kita, Tia Cleusa, Tia Vera, Tia Ivone, Tia Claudia e Tia Clarice (a qual nos deixou neste

plano carnal no ano corrente. Sentirei muito sua falta tia). Vocês são incríveis e eu amo todas vocês incondicionalmente. Obrigada por me apoiarem e acreditarem em mim sempre. Obrigada também aos meus irmãos, João e Mil, e à minha prima querida Ellen, por me aturarem há 25 anos. Amo vocês.

Na sequência, agradeço meus professores. Primeiro a todos aqueles que passaram por mim lá atrás, ainda em São Paulo, desde o SESI e ITB. Guardo todos vocês com muito respeito, carinho e admiração pela profissão tão castigada que escolheram seguir neste país, mas que eu sei que fizeram o melhor que podiam. Obrigada Jorge Aoki, Mônica Peruzzo, Mônica Sendra, Vanessa Alves, Veruska Simas, Claudia Kuribara, Fabricio Botelho, Elísio Zanotti, Talita Jacobelis, Ana Vitória Benatto e todos os demais que passaram por mim, mas que não pude citar. Vocês são demais. Obrigada por me incentivarem SEMPRE. Vocês viam meu potencial e, mais importante que isso, me faziam acreditar nele. Sem vocês eu não teria chegado na Unila.

Seguindo na *vibe* professores. Gostaria de agradecer aos meus professores da graduação. Eu aprendi MUITO com vocês. Claro que com alguns eu aprendi o que fazer e com outros o que NÃO fazer, mas isso também faz parte. Agradeço imensamente aos meus professores que tinham paixão por ensinar, que viam sentido em fazer isso e nunca pouparam esforços para me ajudar a ser uma engenheira. No entanto, quero enfatizar quatro pessoas em especial: Edna Possan, Jiam Frigo, Mara Rubia e Katia Punhagui.

Edna, obrigada por me ensinar tanto em todos esses anos. Você me aceitou como orientada de Iniciação Científica e me fez amar o mundo da pesquisa. Me fez andar com olhar questionador e me proporcionou com isso não só habilidades de escrita, correção e execução de tarefas no laboratório, mas também me proporcionou conhecer o universo dos congressos e publicações científicas. Eu amei poder amar a ciência da Engenharia de forma tão poderosa e crítica. Muito obrigada prof.

Jiam, meu caro orientador, obrigada por me aceitar, me entender e por quase sempre saber o que falar. Foram três anos de parceria, onde você me ajudou e me ensinou muito sobre tudo que ama. Obrigada pelas conversas empolgantes e pela sua energia contagiante. Você é incrível prof., muito obrigada por tudo.

Mara Rubia. Sensata como sempre. Peça fundamental para a execução desse trabalho. Sem você e suas habilidades sobrenaturais, eu não sei o que seria desse trabalho, sinceramente hahaha. Obrigada por ter segurado as pontas e ter assumido a bronca de me orientar. Você é perfeita prof, e merece todo o sucesso do mundo. Obrigada

por ter aceitado essa loucura de ser minha co-orientadora e por ter sempre se disponibilizado a me ajudar, independente do dia ou horário.

Agora, quero agradecer a essa pessoa MARAVILHOSA que é a professora Katia. Meu Deus. Rainha, sensata e zero defeitos. Sem você eu nem sequer teria chego até aqui. Você me ajudou a sair de um período muito conturbado da minha vida. Eu estava mal, e acho que teria desistido da Unila, mas você me ajudou. Me deu colo, enxugou minhas lágrimas (literalmente) e me adotou com todo carinho e atenção. Você para sempre será minha guia nessa Terra. Minha mãe acadêmica, como costumamos brincar. Te amo prof., obrigada por ser tão incrível e perfeita. Você é foda.

Por fim, ainda sobre os professores, quero agradecer imensamente aos meus professores aqui da Unila. Obrigada Marcela Boroski, Mariana Gaete, Luciano Lapas, Eduardo do Carmo, Cecília Angileli, Luciana Ribeiro, Julio Bizarreta, Aref Kzam, Alessandra Sibim, Dayana Oliveira, Simone Minuzzo e Helenice Sacht. Vocês são demais e sempre que penso em vocês, meu coração aquece em carinho.

Quero agradecer também aos servidores da Unila e Itaipu Binacional, pelo trabalho incrível que sempre desenvolveram e por nunca negarem em me auxiliar. Dalila Sella, Paula Santos, Marcia Medeiros, Maurício Ichikawa e Nilo, obrigada por serem maravilhosos e extremamente solícitos.

E agora, chegamos à fase final dos meus agradecimentos. Sim, foram longos, mas né? Não é todo dia que eu faço um TCC (ainda bem) e tenho a oportunidade de externalizar meus sentimentos. Chegamos à fase de agradecer meus amigos. Minha segunda, terceira e quarta família. Meus amigos são meio diferentes entre si, cada um é de um jeito e se juntassem todos num lugar só, ia sair uma cacofonia de estilos. Mas o que importa é a força que todos vocês me dão.

Obrigada Gisèle Helmer por ser minha companheira no final dessa jornada da graduação, me oferecendo um lar e carinho quando as coisas estavam saindo do trilho. Obrigada aos meus companheiros de estudos: João Carmona, Sara Ochoa, Andrés Cardozo, Ricardo Caballero e Pablo Ramirez. Gracias às minhas amigas de estrada acadêmica: Mylena Tuponi, Ada Leticia, Alejandra Román, Camila Di Rienzo e Eduarda Queiroz. Thanks às minhas irmãs biólogas Giuli Mano e Marina Auricchio, e também aos meus bests, Bruno Muraro e Veronica Sales, que me acompanham desde minha saída de São Paulo até Foz do Iguaçu, em busca do meu tão sonhado diploma.

Agradeço imensamente também, aos meus companheiros de força e luta. Obrigada Emerson Felix, Rosemary Lopes, Fabiane Colling, Carmen Branchi, Priscila Reis,

Yuri Amaral e Kleber Ramirez, por sempre estarem presentes e preocupados, mesmo que à distância.

Creio que um ponto muito importante neste agradecimento, é meu profundo apreço e gratidão às pessoas elencadas abaixo. Elas foram peças fundamentais para minha chegada até aqui com saúde mental e em condições de ser feliz com essa conquista.

Obrigada ao meu psicólogo Mauro Amaral, você foi incrível e me ajudou muito nessa fase final. Obrigada à minha ex-chefe e amiga Marcia Rocha, por ter acreditado no meu potencial e ter feito eu voltar a crer que sim, eu posso, e sou boa no que faço. Gratidão Marilene Car e família Car/Czar/Çar por terem me adotado e me dado tanto carinho, amor (e muita comida) em todos esses anos.

E também agradeço às minhas irmãs não consanguíneas: Deborah Nardi, Samanta Klering, Brenda Rodrigues, Renata Dahmer e Isabela Oliveira, por serem maravilhosas e por serem parte do meu círculo mais bem estruturado, forte e invencível (e de beleza Olímpica também, diga-se de passagem, kkkkkk).

Por fim, chegamos às três principais pessoas dessa fase da minha vida: Erik Souto, Bruna Rodrigues e Thays Car. Vocês são meus primeiros socorros, meus guias e minhas maiores e melhores pessoas nesta fase de vida. São meus irmãos que eu amo de forma incondicional. Erik, seu lindo, obrigada por tudo. Você sempre na dureza e frieza do seu ser é o mais amável e atencioso possível. Esse trabalho também teria sido bem pior sem sua ajuda, dicas e puxões de orelha. Bruna, minha gêmea de Taubaté. Não temos nada parecido fisicamente uma com a outra, mas somos tão parecidas em outros aspectos que muitos nos confundem, pois inconscientemente sabem, que somos irmãs e complementamos uma à outra. E, por fim, Thays Car, obrigada amiga. Você é incrível, é minha melhor companhia, é minha burguesa mais perfeita. Sem você, com certeza, essa minha estrada teria sido muito mais sem cor. Amo vocês três da forma mais pura e clara possível.

E é isto. Obrigada por ler até aqui e obrigada Deus e Universo por me ajudarem a terminar mais essa fase da minha vida. Obrigada à banca por ter aceito o convite e, principalmente, obrigada Bianca do passado por ajudar a Bianca do presente a aguentar firme nessa jornada. Obrigada por fazerem a Bianca do futuro, ser uma pessoa melhor e mais bem preparada...

*“Depois de certos infernos, não é
qualquer demônio que me queima”*
Autor desconhecido

*Que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a
liberdade seja a nossa própria substância, já que viver é
ser livre.*

Simone de Beauvoir

DEZEN, Bianca Gabriel dos Santos. **Alagamentos urbanos**: Estudo de caso da Avenida Juscelino Kubitschek em Foz do Iguaçu – PR. 2020. 74 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

RESUMO

O processo de urbanização desenfreado que cresce demasiadamente nas cidades, causa diversos impactos ao Meio Ambiente. Um deles é a alteração do ciclo hidrológico das bacias por conta das modificações antrópicas das características não só do relevo, mas também da cobertura do solo. Com o aumento da taxa de impermeabilização dos solos das cidades, o escoamento superficial e a taxa de infiltração das águas pluviais são alterados. Diante disto, os fenômenos de alagamentos são cada vez mais recorrentes. Por conseguinte, objetivo desta pesquisa foi elencar as condicionantes dos fenômenos de alagamentos presentes na Avenida Juscelino Kubitschek, na cidade de Foz do Iguaçu – PR. Para isto, foram analisadas as características altimétricas das bacias que envolvem a área de estudo, assim como os locais que a Prefeitura Municipal identificou problemas críticos de drenagem. Os fatores intrínsecos à própria rede de drenagem, possuem condicionantes de cunho altimétrico do relevo que corroboram para a suscetibilidade dos pontos à alagamentos. Além disso, as condições de uso e ocupação do solo da região, indicam uma elevada taxa de impermeabilização da área, o que aumenta o volume e a velocidade das águas pluviais que escoam superficialmente das microbacias. Por isso, situações de estresse e falhas nas redes pluviais de drenagem da avenida são observados.

Palavras-chave: Precipitação; Hipsometria; Declividade; Hidrologia; Geoprocessamento

DEZEN, Bianca Gabriel dos Santos. **Urban flooding**: A study case at Juscelino Kubitschek Avenue in Foz do Iguaçu – PR. 2020. 74 pag. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

ABSTRACT

The process of rampant urbanization whose cities are currently subjected causes several impacts on the environment. One is the alteration of the basins hydrological cycle due to the anthropic changes in the relief characteristics and in the soil cover. This process leads to an increasing of soils waterproofing in the cities, which alters runoff and rainwater infiltration rates. This scenario induces more recurrent flooding phenomena. Therefore, the objective of this research was to identify the conditions that induce the flooding phenomena at Juscelino Kubitschek Avenue in the city of Foz do Iguaçu - PR. For this purpose, the altimetric characteristics of the basins surrounding the study area were analyzed, as well as the locations identified by the city government as critical drainage problems. Intrinsic factors of the drainage network itself have altimetric conditions of relief that corroborate the susceptibility of the flooding points. In addition, the conditions of land use and occupation in the region indicate a high rate of waterproofing in the area, which increases the volume and speed of the rainwater that flows superficially from the micro basins. Due to the exposed, stress situations and failures in the rainwater drainage networks of the avenue are observed.

Key words: Precipitation; Hypsometry; Declivity; Hydrology; Geoprocessing

DEZEN, Bianca Gabriel dos Santos. **Inundaciones urbanas**: Estudio de caso de la Avenida Juscelino Kubitschek en Foz de Iguazú - PR. 2020. 74 pag. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

RESUMEN

El proceso de urbanización desenfrenado a lo cual las ciudades están sujetas actualmente ocasiona varios impactos al medio ambiente. Uno de ellos es la alteración del ciclo hidrológico de las cuencas, debido a las modificaciones antrópicas de las características del relieve y de la cobertura del suelo. Con el aumento de la tasa de impermeabilización de los suelos de las ciudades, la escorrentía y la tasa de infiltración de aguas pluviales se cambian, por lo cual los fenómenos de las inundaciones son cada vez más frecuentes. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue de enumerar las condicionantes de los fenómenos de las inundaciones presentes en la Avenida Juscelino Kubitschek, en la ciudad de Foz de Iguazú – PR. Para ello, se analizaron las características altimétricas de las cuencas aledañas al área de estudio, así como los puntos identificados por la Prefectura Municipal como lugares con problemas críticos de drenaje. Los factores intrínsecos de la red de drenaje poseen condicionantes altimétricas de relieve que corroboran la susceptibilidad de los puntos a las inundaciones. Aparte de eso, las condiciones de uso y ocupación del suelo de la región indican una alta tasa de impermeabilización de la zona, lo que aumenta el volumen y la velocidad de las aguas pluviales que fluyen superficialmente desde las microcuencas. Debido a lo expuesto, situaciones de estrés y fallas de las redes pluviales de drenaje de la avenida son observados.

Palabras clave: Precipitación; Hipsometría; Declividad; Hidrología; Geoprocesamiento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação de microbacias da cidade de Foz do Iguaçu.....	29
Figura 2. Delimitação do Município de Foz do Iguaçu - PR.....	32
Figura 3. Principais avenidas e rodovias de Foz do Iguaçu - PR	33
Figura 4. Microbacias estudadas.....	34
Figura 5. a) Representação em cores reais; e, b) Composição em falsa-cor	39
Figura 6. Pontos Críticos da Avenida JK	41
Figura 7. Cenários possíveis de níveis de risco	43
Figura 8. a) Cursos hidrológicos da ANA; e, b) Traçado dos comprimentos axiais das microbacias	44
Figura 9. Mapa Hipsométrico das microbacias estudadas	46
Figura 10. Perfil longitudinal da avenida em estudo	47
Figura 11. Mapa de declividade das microbacias estudadas	48
Figura 12. Classificação dos solos da microbacia Arroio Jupira	50
Figura 13. Representação microbacia Jupira	51
Figura 14. Classificação dos solos da microbacia do Córrego Festugato	52
Figura 15. Representação microbacia Festugato	53
Figura 16. Classificação dos solos da microbacia do Arroio Monjolo	53
Figura 17. Representação microbacia Monjolo	54
Figura 18. Processo de criação da microbacia fictícia.....	55
Figura 19. Classificação Uso e Ocupação microbacia fictícia	56
Figura 20. Comparação entre classificações das microbacias	57
Figura 21. Posição dos cortes transversais à Av. JK	59
Figura 22. Comparativo entre mapas dos pontos críticos	60
Figura 23. Classificação de uso do solo nos Pontos Críticos	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das microbacias.....	45
Tabela 2. Classes Índice Kappa.....	50
Tabela 3. Classificação microbacia Jupira	51
Tabela 4. Classificação microbacia Festugato	53
Tabela 5. Classificação microbacia Monjolo	54
Tabela 6. Classificação microbacia fictícia.....	57
Tabela 7. Pontos críticos elencados pela Prefeitura Municipal	58
Tabela 8. Situação dos Pontos críticos de drenagem da cidade.....	59
Tabela 9. Relação datas de eventos de alagamento	63
Tabela 10. Comparação de classificações dos Pontos Críticos.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CEDEC	Coordenadoria Estadual da Defesa Civil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSG	<i>European Petroleum Survey Group</i> (entidade organizadora do sistema numérico SRC)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Circularidade
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
JK	Juscelino Kubitschek
KC	Coeficiente de Compacidade
KF	Coeficiente de Forma
MDE	Modelo Digital de Elevação
PMFI	Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SCP	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
SMPCR	Secretaria Municipal de Planejamento e Captação de Recursos
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
WGS	<i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DA PESQUISA.....	21
2.1.1 Bacias Hidrográficas	21
2.1.2 Ciclo Hidrológico	22
2.1.3 Urbanização Das Cidades	23
2.1.4 Drenagem Urbana	24
2.1.5 Geoprocessamento.....	26
2.1.6 Classificação e Validação de Mapas.....	28
2.2 DRENAGEM URBANA EM FOZ DO IGUAÇU.....	28
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 FOZ DO IGUAÇU E ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS DE INTERESSE	34
3.2.1 Delimitações Geográficas Do Território.....	35
3.2.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)	35
3.2.3 Classificação De Uso E Ocupação Do Solo	36
3.2.3.1 <i>Classes adotadas</i>	37
3.2.3.2 <i>Processo de amostragem e de classificação</i>	38
3.2.3.3 <i>Criação de microbacia fictícia</i>	40
3.3 PONTOS CRÍTICOS DE DRENAGEM	40
3.4 NÍVEIS DE RISCO.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS DE INTERESSE	44
4.1.1 Parâmetros Fisiográficos	44
4.1.2 Hipsometria e Declividade	45
4.1.3 Uso e Ocupação do Solo	49
4.1.3.1 <i>Uso e ocupação da microbacia fictícia</i>	54
4.2 ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS DE DRENAGEM	58
4.2.1 Influências Topográficas	58
4.2.2 Condições De Uso E Ocupação Do Solo.....	61

4.3 ANÁLISE DOS RISCOS	63
4.3.1 Discussões Acerca das Classificações	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	68
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICES	75
APÊNDICE A – NOTÍCAS SOBRE ALAGAMENTOS DA AV. JK	76

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Foz do Iguaçu está localizada no extremo oeste do Estado do Paraná e faz fronteira com a Argentina e o Paraguai. Embora o município tenha completado 106 anos no ano corrente (2020), este passou por uma urbanização mais acentuada somente nos últimos 45 anos, inicialmente devido à construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu e, posteriormente, às políticas de incentivo turístico, comercial, de agronegócio e acadêmico entre a região e os países vizinhos (TISSIANO, 2018), sendo este último relacionado principalmente à implantação dos cursos de medicina no Paraguai e às universidades públicas e particulares no lado brasileiro (WEBBER, 2017).

Cabe ressaltar que as condições de crescimento da cidade brasileira não foram planejadas e organizadas em seus anos mais críticos. Ainda segundo Tissiano (2018), esta é uma condição característica de cidades fronteiriças onde ocorrem muitas trocas de serviços, pessoas e produtos em fluxo acelerado, o que favorece o crescimento desordenado e sem planejamento.

Dentre os diversos problemas que surgem com a expansão das cidades, podem ser citadas as condições de urbanização que geram os fenômenos de alagamentos nos centros urbanos, como por exemplo a rápida expansão da urbe e a deficiência de planejamento (MOUTINHO, 2011).

Na cidade em questão são constantemente vinculadas nos periódicos, situações de alagamentos consideráveis em diversas regiões de Foz do Iguaçu, as quais causam perdas materiais para os moradores e perdas financeiras para os comerciantes e lojistas, como é o caso do local a ser estudado: a Avenida Juscelino Kubitschek, a qual sofre constantemente com alagamentos em diferentes trechos da via.

A avenida está localizada na região oeste da cidade, sendo uma das rotas de maior importância para o corredor turístico do município, pois faz parte da ligação entre a região Norte, onde está localizada a Usina Hidrelétrica de Itaipu, com a região Sul, em que está situado o Parque Nacional do Iguaçu, além de também promover o acesso às vias de fronteira entre Brasil e o Paraguai.

Após muitas perdas e reivindicações dos comerciantes locais, a Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu (PMFI) promoveu um estudo sobre a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, documento este que faz parte do Plano Municipal de Saneamento Básico e, que elenca diversos pontos problemáticos da cidade, incluindo a região de estudo deste trabalho. Ainda neste documento, é possível identificar que em quatro pontos citados

da Avenida Juscelino Kubitschek (Av. JK), a possível origem dos alagamentos observados advém ou da insuficiência do sistema atual de drenagem ou então da obstrução das tubulações existentes atualmente (PMFI, 2019).

Considerando as problemáticas identificadas e apontadas acima, no presente estudo buscou-se identificar e analisar as condicionantes responsáveis pelos alagamentos na Avenida JK por meio de ferramentas de geoprocessamento. A escolha por estas ferramentas, se deu pelas vantagens de analisar sob uma ótica macro, a situação das bacias hidrográficas que envolvem a avenida, sendo assim possível cruzar diversas informações que facilitaram a compreensão dos fenômenos e as quais também podem auxiliar futuras medidas de prevenção à alagamentos na cidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Elencar as condicionantes de alagamento na região da Avenida Juscelino Kubitschek em Foz do Iguaçu – PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar as condicionantes altimétricas das microbacias de drenagem da região proposta;
- b) Analisar a relação entre urbanização e as situações de alagamento na área de estudo;
- c) Avaliar os pontos críticos de drenagem da avenida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este referencial teórico foi dividido em duas (2) linhas: 1) Conceitos básicos sobre os temas abordados na pesquisa; e 2) Panorama do sistema de drenagem da cidade de Foz do Iguaçu - PR.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DA PESQUISA

Este item foi subdividido em cinco (5) partes: 1) Estudos sobre as bacias hidrográficas; 2) Ciclo hidrológico e suas influências nas dinâmicas de águas urbanas; 3) Processos de urbanização das cidades; 4) Drenagem urbana e como gerir este sistema; e, 5) Aplicações de ferramentas de geoprocessamento nos estudos de fenômenos hidrológicos.

2.1.1 Bacias Hidrográficas

Uma Bacia Hidrográfica é caracterizada, em linhas gerais, por uma região terrestre delimitada topograficamente por divisores¹, onde toda a água que precipita sobre ela, ou escoar em direção a um único ponto: seu exutório, ou infiltra e alimenta os lençóis freáticos, ou ainda evapora e volta para a atmosfera. A quantidade de água que escoar superficialmente varia de bacia para bacia a depender de diversos fatores, sejam eles topográficos, geológicos, climáticos ou até mesmo do tipo de cobertura do solo (TUCCI, 2001).

É de extrema importância caracterizar bacias hidrográficas no que diz respeito não somente aos seus cursos hídricos, mas também com relação às suas características físicas de território (ANTONELLI; THOMAZ, 2007). Ainda segundo os autores, os parâmetros morfométricos criados auxiliam no controle e monitoramento das alterações ambientais e são muito utilizados no gerenciamento e planejamento de ações governamentais sobre as áreas das bacias hidrográficas.

Tais parâmetros podem ser: relevo, densidade hidrográfica, coeficiente de forma, coeficiente de manutenção, índice de circularidade, índice de sinuosidade, etc. (ANTONELLI; THOMAZ, 2007). No que diz respeito à aplicabilidade destes parâmetros, a

¹ Divisor, segundo Villela e Mattos (1975) é a linha rígida de separação que divide as precipitações que caem, e é formado pela união de pontos de máximas cotas entre bacias.

dependem do estudo, alguns se tornam mais importantes e influentes do que outros. No caso da presente pesquisa, os parâmetros estudados foram os relacionados à topografia e à forma das microbacias, a saber: declividade, altimetria, coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade, sendo todos estes parâmetros indicativos de suscetibilidade de uma bacia à alagamentos (VILLELA, MATTOS, 1975; CARDOSO et al., 2006).

2.1.2 Ciclo Hidrológico

Hidrologia é o estudo sobre as relações de ocorrência, circulação, distribuição e relação da água com o Meio Ambiente terrestre. Esta ciência explora o comportamento das águas, desde a movimentação na atmosfera até seu fluxo subterrâneo, sendo seus conceitos aplicados em diversos ramos da Engenharia, como por exemplo no projeto de barragens, nos estudos de drenagem ou na concepção dos sistemas de irrigação (VILLELA; MATTOS, 1975).

As relações estudadas pela Hidrologia fazem parte do denominado ciclo hidrológico. O ciclo é considerado fechado em escala global, isto é, a água que precipita num lugar pode, em termos gerais, infiltrar no solo, escoar superficialmente pelo relevo ou evaporar para a atmosfera, sem perder massa no processo (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

Esse equilíbrio, entre as possíveis formas de movimentação da água, chama-se balanço hídrico. É calculado normalmente com relação a uma bacia hidrográfica, em que a entrada da água é advinda da precipitação e sua saída por evaporação, escoamento e/ou infiltração (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

O termo precipitação, segundo Villela e Matos (1975), é usado para se referir a todas as formas de água, que se deslocam da atmosfera em direção ao solo, isto é, chuva, neve, granizo, geada, neblina ou orvalho, sendo a chuva a forma de precipitação que mais influencia os estudos na Engenharia (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

Cabe ainda ressaltar que no âmbito deste trabalho, os termos chuva e precipitação são utilizados como sinônimos diretos. Foram estudados nesta pesquisa seus efeitos quando em eventos extremos, sendo estes normalmente caracterizados pelos chamados eventos convectivos (isto é, chuvas de elevada intensidade e curta duração), originados pelo resfriamento da massa de ar quente que sobe (oriunda do contato do ar com a superfície terrestre) até elevadas altitudes, onde as temperaturas são menores

(COLLISCHONN; TASSI, 2010).

Ainda segundo os autores, as consequências destes eventos extremos dentro das bacias hidrográficas podem ser denominadas como enxurradas, inundações, alagamentos ou enchentes. Estes termos normalmente são confundidos entre si, embora todos sejam fenômenos diretamente ligados às chuvas intensas, eles são considerados diferentes a depender da literatura consultada.

Para fins desta pesquisa, o que se entende para cada um dos termos foi embasado no arquivo publicado pelo Ministério das Cidades em conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (BRASIL, 2007):

- Alagamento: “Acúmulo momentâneo de águas em uma dada área decorrente de deficiência do sistema de drenagem”;
- Enchente: “Elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devida ao aumento da vazão ou descarga”;
- Enxurrada: “Escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte”;
- Inundação: “Processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio”.

2.1.3 Urbanização Das Cidades

O desenvolvimento urbano brasileiro possui diversas nuances a depender do local de análise. Diversos fatores como localização, função organizacional e processos históricos influenciam na formação das cidades e são condicionantes importantes para a organização da malha existente. No entanto, no caso das cidades fronteiriças brasileiras, o processo de ocupação urbana é mais complexo (TISSIANO, 2018).

Cidades como Ponta Porã – MS (SOUZA; GODOY; LAMBERTI, 2020) e Boa Vista – RR (SILVA, 2017) se tratam de municípios fronteiriços que apresentaram situações semelhantes de urbanização conturbada no passar dos anos. Este fato corrobora com o elucidado por Tissiano (2018) em seu estudo, o qual também comenta sobre como a cidade fronteiriça de Foz do Iguaçu – PR se desenvolveu ao longo dos anos e como a relação com os países vizinhos afetou a ampliação da urbe.

Além do que tange o presente estudo, é de interesse compreender a malha urbana e como ela se expande, uma vez que estes são fatores determinantes para os estudos dos impactos antrópicos no ciclo hidrológico (TUCCI, 2012). O crescimento acelerado, que muitas vezes prejudica o correto planejamento de questões de infraestrutura, a exemplo a drenagem urbana, aumenta de forma vertiginosa as áreas impermeabilizadas das bacias hidrográficas, o que pode contribuir para o aumento (ou agravamento) das consequências dos fenômenos hidrológicos, como por exemplo os alagamentos (BRASIL, 2007).

O crescimento da urbanização, segundo Tucci (2012), altera significativamente o ciclo hidrológico de duas principais formas: 1) reduz a infiltração de água no solo e por consequência disso, aumenta-se o volume escoado superficialmente e diminui-se o volume de recarga dos lençóis freáticos; e, 2) diminui a quantidade de água evaporada no processo, uma vez que este volume normalmente advém da evapotranspiração da vegetação e em áreas urbanizadas, a cobertura vegetal é menor.

Por estes e outros motivos, é tão importante compreender, analisar e agir considerando as relações entre urbanização e ciclo hidrológico, principalmente em relação a execução e planejamento de projetos de infraestrutura urbana. Tucci (2012) ainda afirma, que a vazão de pico de inundações pode aumentar de seis (6) a sete (7) vezes, de acordo com a impermeabilização de uma bacia, por conta da expansão da malha urbana. Este valor, se não previsto ou bem analisado, pode levar a uma série de desastres naturais como deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e alagamentos, que podem resultar tanto em perda de vidas quanto de bens materiais.

2.1.4 Drenagem Urbana

Os fenômenos de alagamento (estudados nesta pesquisa), como definido no item 2.1.2 Ciclo Hidrológico, acontecem a partir da falha/deficiência do sistema de drenagem. Em áreas urbanas, a drenagem se dá basicamente em dois níveis: a micro e a macrodrenagem. Segundo o Glossário do Atlas de Saneamento do IBGE (2011), estes níveis são diferenciados por:

- *Macrodrenagem: “Sistema de drenagem que compreende, basicamente, os principais canais de veiculação das vazões,*

recebendo, ao longo de seu percurso, as contribuições laterais e a rede primária urbana provenientes da microdrenagem [...] com dimensões iguais ou superiores a 1,20m de diâmetro, e galerias celulares cuja área da seção transversal é igual ou superior a 1m²;

- *Microdrenagem: “Sistema de drenagem de condutos pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana, que constitui o elo entre os dispositivos de drenagem superficial e os dispositivos de macro e mesodrenagem², coletando e conduzindo as contribuições provenientes das bocas de lobo ou caixas coletoras. Considera-se como microdrenagem galerias tubulares com dimensões iguais ou superiores a 0,30m e inferiores a 1,20m de diâmetro, e galerias celulares cuja área da seção transversal é inferior a 1m²”.*

Sabe-se que uma análise completa do sistema, perante os fenômenos de alagamento, envolveria o estudo de ambas as redes (micro e macrodrenagem). No entanto, considerando que este estudo possui um caráter exploratório, apenas o sistema de microdrenagem foi analisado, uma vez que esta parte do sistema é a primeira a apresentar problemas que geram alagamentos urbanos.

Dois fatores importantes devem ser considerados para evitar e/ou mitigar eventos de alagamentos urbanos: 1) fazer um correto planejamento do sistema de drenagem, com constantes atualizações considerando os novos cenários hidrológicos da região, tornando a rede econômica e ambientalmente sustentável; e, 2) fazer a correta gestão de limpeza e manutenção da rede, com cronogramas e ações bem definidas (MACEDO; VIEIRA; FURIGO, 2018).

No que diz respeito ao planejamento e atualização da rede de microdrenagem, esta etapa torna-se importante pois, assim como citado no item anterior, o ciclo hidrológico está constantemente sofrendo alterações a partir das ações humanas (TUCCI, 2012). Quando o ciclo apresenta alterações significativas, por exemplo, quando chuvas intensas se tornam mais frequentes, os parâmetros antes considerados corretos, podem se tornar obsoletos e, trechos inteiros podem se tornar subdimensionados e insuficientes para suportar os fenômenos hidrológicos recorrentes (MOUTINHO, 2011).

² O termo mesodrenagem neste referencial não possui distinção clara entre si e a macrodrenagem. Dá-se a entender que são termos sinônimos.

Por isso, é de extrema importância, além de planejar corretamente as redes, avaliá-las e reabilitá-las periodicamente (MOUTINHO, 2011). Segundo o autor, os fenômenos de alagamentos são normalmente ocasionados pela falha hidráulica do sistema, isto é, quando este não consegue mais desempenhar seu papel de projeto, que é coletar e transportar as águas de forma eficiente até seu destino final.

O processo de avaliação e reestruturação da rede não é simples e direto. Exige-se uma soma de esforços de monitoramento pontual de locais da bacia, modelagem hidrológica do sistema, simulação e estudos dos locais críticos e planejamento de ações que podem ser estruturais ou não estruturais para remediar os problemas encontrados (MOUTINHO, 2011). Por isso, estudos desenvolvidos pelos órgãos competentes (como Prefeituras e agências concessionadas) e/ou estudos independentes realizados pela academia, são essenciais para a manutenibilidade e a correta operação das redes de micro e macrodrenagem urbana, pois somente com um conjunto de esforços em diversas esferas é possível identificar, planejar e agir sobre os problemas nas cidades que tanto causam prejuízo atualmente.

2.1.5 Geoprocessamento

Geoprocessamento é o ramo da Geografia que lida diretamente com o processamento e automação de dados. Estes dados são coletados, armazenados, tratados e processados, de modo a gerar produtos georreferenciados, isto é, geram informações com localização específica no globo (ZAIDAN, 2017). Os sistemas referenciais utilizados, são denominados SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) e é a partir deles que são embasados os *softwares* de geoprocessamento, como o ArcGis®, o QGis®, o SAGA®, o SPRING® e entre outros.

Dentro do ambiente destes *softwares*, é possível processar e produzir diversos tipos de dados. As grandes vantagens deles são, além de realizar tarefas que antes eram manuais, que possibilitam o trato com mais dados por vez e retornam produtos com maior agilidade (QGIS, 2009).

A partir da utilização das ferramentas disponíveis em *softwares* como o QGis®, é possível transformar os arquivos tipo *raster* em arquivos do tipo vetorial (linhas, pontos, polígonos). Estes tipos de arquivos ajudam nos estudos de geoprocessamento, pois dentro de um ambiente SIG, a maior característica de um vetor é possuir atributos para cada elemento, como por exemplo posição geográfica, elevação, área, extensão, perímetro

etc. (QGIS, 2009).

No que tange à confecção de mapas, estes podem ser produzidos a partir do tratamento de dados *raster* e de dados vetoriais. Segundo Júnior, Neto e Andrade (2014), as formas mais tradicionais de se representar o relevo de um terreno são por meio de curvas de níveis, modelos digitais de elevação e mapas hipsométricos. Ademais, mapas que possuam localização ou delimitações territoriais georreferenciadas também são muito utilizados, principalmente, por órgãos como o IBGE para demarcar as unidades da federação, como regiões, estados e municípios de modo a facilitar diversos tipos de estudo, como por exemplo o de delimitar setores censitários (IBGE, 2019).

Outro tipo de produto que pode ser gerado a partir de geoprocessamento de imagens é o mapa temático de uso e ocupação do solo. Estes tipos de representação são muito importantes, por exemplo, para o controle da extensão dos biomas no território brasileiro, monitoramento da lógica de uso do solo no que se refere às áreas agrícolas e de pastagem, ou até mesmo o acompanhamento do crescimento da malha urbana das cidades (SANTOS; PETRONZIO, 2011) e, para isto, normalmente, se utilizam imagens obtidas por sensores remotos.

Este ramo do geoprocessamento é caracterizado pelo conjunto de técnicas que coletam informações sobre o relevo sem que haja contato direto entre o equipamento e a superfície terrestre (IBGE, 2020a). As imagens são obtidas a partir de fotografias aéreas ou então de imagens captadas por sensores acoplados a satélites que orbitam a Terra, como por exemplo os satélites Sentinel ou Landsat. Os sensores em questão, são os responsáveis por detectar e processar as bandas frequenciais de ondas que a energia solar emite sobre o relevo, de modo a gerar imagens com resolução específica a partir de diversos tipos de bandas, como por exemplo as visíveis (Vermelha, Verde e Azul) e as não visíveis, como a banda de infravermelho (EPIPHANIO, 2002).

As ferramentas de geoprocessamento no estudo de chuvas intensas são muito utilizadas ao tratar informações (por exemplo, de terreno, elevação, declividade e solo), cruzando-as com as condições climáticas de chuva (tal como dispersão, intensidade, direção de movimentação) e, produzindo assim, mapas georreferenciados do comportamento das chuvas num determinado local.

Cabe salientar, que também é possível, ao analisar esse cruzamento de informações, identificar alguns dos motivos por detrás das respostas dos sistemas de drenagem, por exemplo, perante a eventos extremos (SILVA; MENDES, 2018).

2.1.6 Classificação e Validação de Mapas

A classificação de uma bacia com relação as suas características de uso e ocupação do solo são essenciais para a compreensão das respostas do sistema perante os fenômenos hidrológicos, principalmente os mais intensos. A partir dela é possível não só assimilar a resposta, mas também prever os efeitos na sociedade e propor soluções aos problemas, que sejam condizentes com a situação de urbanização da cidade (TUCCI, 2001).

Face ao exposto, torna-se essencial analisar e classificar imagens (obtidas, por exemplo, por satélites) com relação ao uso dos solos, sendo que esta etapa pode ser realizada de duas (2) diferentes formas: supervisionada e não supervisionada. A classificação não supervisionada é aquela onde o analista quase não influencia no processo e, geralmente, é utilizada quando não se tem muita informação sobre os alvos da imagem, realizando assim uma análise exploratória dos itens ali constantes. Já a classificação supervisionada, por sua vez, requer um conhecimento pré-definido pelo analista dos alvos a serem classificados, e o treinamento (coleta de amostras) do algoritmo é realizado inteiramente pelo operador (MENESES; SANO, 2012).

A confecção de um mapa de classificação envolve não somente o processo em si como também sua validação, isto é, sua acurácia em relação à realidade. O refinamento de um mapa pode ser avaliado em duas esferas: espacial e temática. O espacial se refere ao correto posicionamento no mapa dos elementos, limítrofes e afins com relação à realidade, e, a temática está relacionada à correta classificação dos atributos da feição no mapa, com relação à superfície terrestre verdadeira (MASTELLA, 2017).

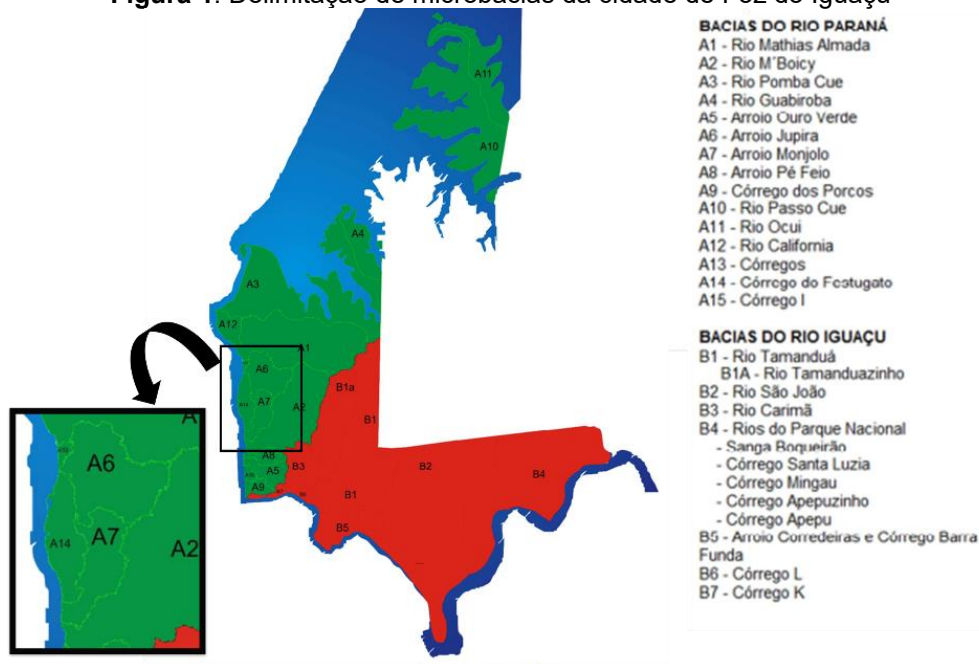
Para avaliar a acurácia temática utilizam-se métodos estatísticos, que comparam de forma matemática os elementos classificados com os de referência. São normalmente criadas as chamadas Matrizes de Erro e então são calculados parâmetros de concordância, como o índice Kappa, índice Tau, ou então determinada a Acurácia Global do mapa (MASTELLA, 2017).

2.2 DRENAGEM URBANA EM FOZ DO IGUAÇU

Consta no Plano Diretor da cidade de Foz do Iguaçu (SMPCR, 2016), que no perímetro urbano existem 23 microbacias hidrográficas, sendo 15 delas pertencentes à

Bacia do Rio Paraná e as demais à Bacia do Rio Iguaçu (Figura 1). A Avenida JK está localizada entre as microbacias do Arroio Jupira, Arroio Monjolo e Córrego do Festugato (A6, A7 e A14, respectivamente), todas pertencentes aos afluentes do Rio Paraná. O documento ainda menciona que estes corpos hídricos possuem, respectivamente, 4.937 m, 3607 m e 740 m de extensão, sendo o Arroio Monjolo o que mais recebe contribuição das galerias pluviais da cidade.

Figura 1. Delimitação de microbacias da cidade de Foz do Iguaçu



Fonte: Adaptada (SMPCR, 2016)

Com relação à rede de drenagem pluvial, Foz do Iguaçu possui 108 km de extensão de rede coletora, sendo sua totalidade do tipo separadora (somente águas pluviais acessam as tubulações). Desses 108 km, 80 km são considerados macrodrenagem e 28 km microdrenagem. O Plano ainda explicita o déficit informacional sobre o sistema de drenagem, uma vez que apresentam no relatório, que a própria Prefeitura do município não possui informações suficientes de caracterização das tubulações, como por exemplo diâmetro dos tubos, declividades, rugosidades, comprimentos, galerias etc. (SMPCR, 2016).

Este déficit de informações implica em dificuldades diretas de propor medidas para os problemas recorrentes de drenagem da cidade, assim como da criação de políticas públicas sobre a temática. No entanto, a Prefeitura vem mostrando ciência sobre tais problemas, pois, além da exposição das carências no Plano Diretor, ainda houve a aprovação em 2012 da Lei Complementar nº 198, que dispõe sobre a Política Municipal de

Saneamento Básico e Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos com atualização no ano de 2019 (PMFI, 2019).

Neste relatório é possível observar, além de um pré-diagnóstico da situação atual de drenagem na cidade, algumas implicações e sugestões de ações nos casos elencados por eles. Na Avenida JK, local de estudo, o relatório aponta para áreas da avenida que possuem, além de trechos subdimensionados, locais com obstrução da tubulação por cruzamento com as redes de esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) (PMFI, 2019).

Cabe ressaltar, que a cidade de Foz do Iguaçu, gasta em média de 5 a 10% de seu orçamento anual com obras de drenagem urbana (SMPCR, 2016). Embora este valor seja considerado adequado, segundo o relatório final (PMFI, 2019), a máxima eficiência dos gastos públicos deve ser levada em consideração. Nota-se que é necessário o desenvolvimento de mecanismos para auxiliar o poder público nesta missão, sendo um desses, a criação de instrumentos como o relatório supracitado, ou então o desenvolvimento de pesquisas sobre a temática, onde busca-se não só a melhoria de qualidade de vida dos moradores e visitantes da cidade, como também o auxílio no planejamento e gestão de recursos financeiros do município.

Em consideração as especificidades da cidade, no âmbito desta pesquisa, o termo microdrenagem foi utilizado para todos os elementos visíveis na avenida, como sarjetas e bocas de lobo, e macrodrenagem todo o sistema desde a coleta até o desague, o qual não será abordado neste trabalho.

3 METODOLOGIA

O presente estudo possui características essencialmente de pesquisas exploratórias, com alguns elementos de pesquisas explicativas. A metodologia foi dividida em três (3) etapas principais, sendo elas: 1) Caracterização altimétrica das microbacias onde a área de estudo está localizada; 2) Identificação dos Pontos Críticos de drenagem das Avenida Juscelino Kubitschek; e 3) Estudo dos níveis de risco de alagamentos dos Pontos Críticos.

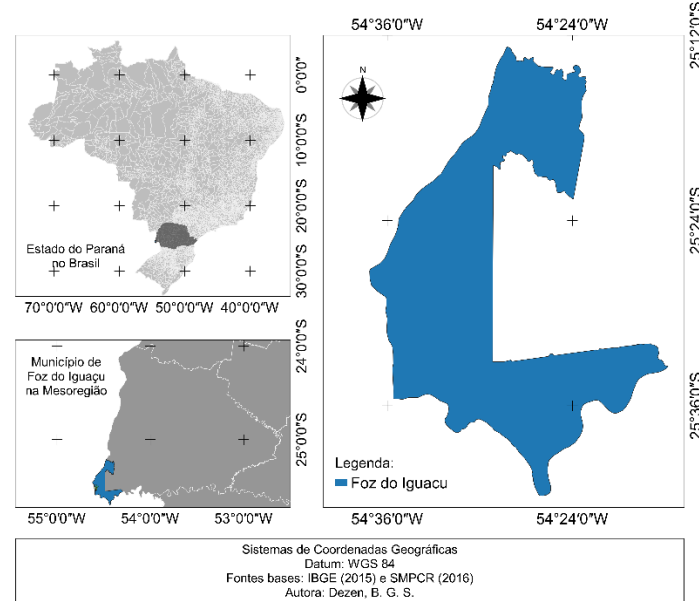
Na presente pesquisa, foram produzidos resultados a partir de dados georreferenciados disponíveis tanto na Agência Nacional de Águas (ANA), quanto no banco de dados públicos do TOPODATA, o qual é gerenciado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

As imagens obtidas a partir das duas plataformas, eram do tipo matricial, ou arquivos denominados *raster*. Este tipo de registro, contém diversas informações de uma determinada área com uma resolução espacial definida, onde a partir deste único arquivo outros tantos podem ser gerados, pois cada *pixel* ou célula da imagem, contém um grupo de informações, a depender do objetivo de confecção daquela imagem (QGIS, 2009).

3.1 FOZ DO IGUAÇU E ÁREA DE ESTUDO

Foz do Iguaçu é um município localizado no extremo oeste do estado do Paraná, e está geograficamente situado a 25° 32' 55" de latitude Sul e 54° 35' 17" de longitude oeste (Figura 2). Possui como limítrofes, o lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu e a cidade de Itaipulândia, ao Norte; o Rio Paraná, que faz fronteira com as cidades de Presidente Franco, Hernandarias e Ciudad del Este no Paraguai, à Oeste; o Rio Iguaçu, que faz fronteira com a cidade de Puerto Iguazú na Argentina, ao Sul; e as cidades de Santa Terezinha de Itaipu e São Miguel do Iguaçu, à Leste. Ademais, ao Sul, a cidade também abriga o Parque Nacional do Iguaçu, onde estão situadas as Cataratas do Iguaçu, importante marco turístico nacional e uma das 7 maravilhas da Natureza (SMPCR, 2016).

Figura 2. Delimitação do Município de Foz do Iguaçu - PR



Fonte: A autora, 2020

No ano de 2016, a cidade possuía 617,70 km² de extensão, sendo destes 191,46 km² de área urbana (31% do território) (SMPCR, 2016). A população residente na cidade é estimada em 258.248 pessoas, conforme projeção do IBGE (2020c) e foi em 1918 que a até então Vila Iguaçu passou a ser denominada Comarca de Foz do Iguaçu. Somente após 1939, com criação do Parque Nacional do Iguaçu, é que a economia local passou a funcionar com base no Turismo (SMPCR, 2016).

No documento do Plano Diretor da cidade, Foz teve um *boom* de crescimento populacional entre 1970 e 1980. Este fenômeno aconteceu devido ao início das obras da Usina Hidrelétrica de Itaipu, cuja população da cidade sofreu um aumento de quase 400% fazendo com que a partir daí, tanto o crescimento da malha urbana quanto as relações econômicas da cidade passassem a acontecer de forma desordenada, fato este que é sentido até os dias atuais, em que a cidade ainda sofre para se reestruturar e se reorganizar (SMPCR, 2016).

Em relação à organização urbana atual, há diversos atrativos sejam eles turísticos, comerciais ou com intuito de sediar eventos (SMPCR, 2016). A cidade possui como principais polos Itaipu ao Norte, o acesso ao Paraguai à Oeste, o comércio local na região central e o Parque Nacional ao Sul, juntamente com o acesso à Argentina, o Aeroporto Internacional e os principais hotéis e *resorts* cinco estrelas da cidade.

Para conseguir se deslocar entre estes locais, são utilizadas as principais avenidas e rodovias que cortam a cidade, a saber: BR-277, BR-600, BR-469, Avenida

Juscelino Kubitschek, Avenida das Cataratas, Avenida Brasil e Avenida Paraná (Figura 3). Na presente pesquisa, analisou-se a Avenida Juscelino Kubitschek (Av. JK), a qual possui aproximadamente 4,5 km de extensão e seis (6) pistas de rolamento. A avenida possui três (3) pistas em cada sentido desde seu início (interseção entre as BRs 600 e 277) até quando cruza com a Avenida República Argentina; neste ponto passa a ter duas pistas de rolamento e uma faixa para estacionamento em cada sentido até o fim de sua extensão, quando cruza com a Avenida Jorge Schimmelpfeng.

Figura 3. Principais avenidas e rodovias de Foz do Iguaçu - PR



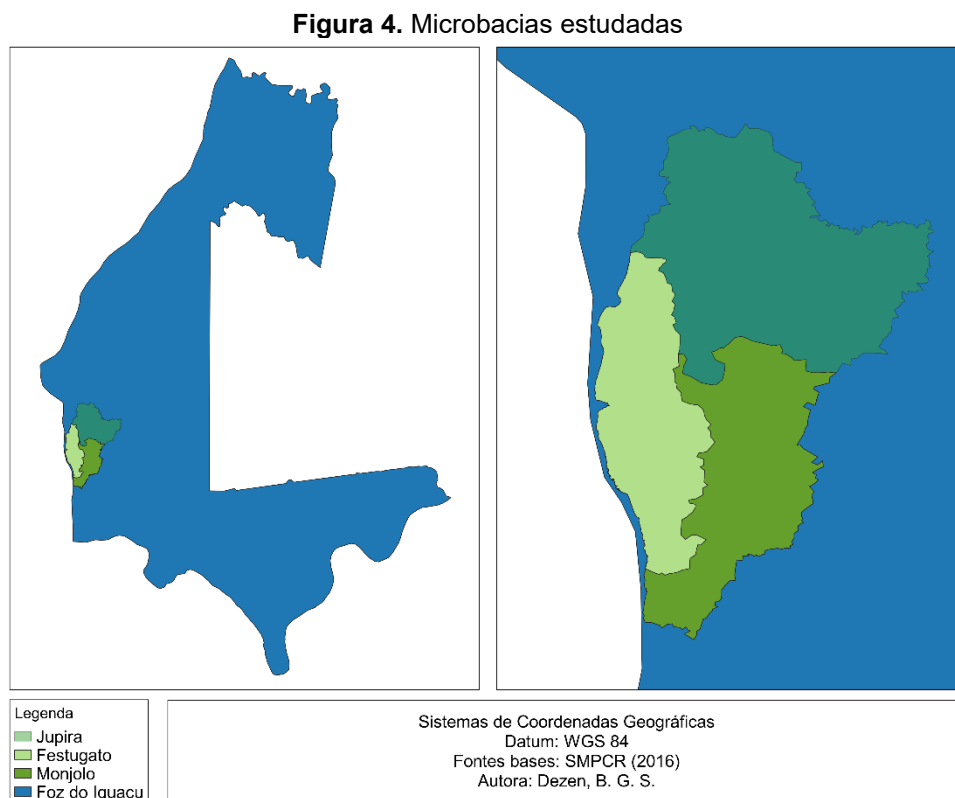
Fonte: Adaptada Google Earth, 2020

Por fim, com relação às características físicas e geomorfológicas da cidade, Foz possui um clima subtropical temperado e úmido, com temperaturas que variam de 0 a 40 °C a depender da estação; está localizada num planalto com vertentes levemente onduladas e possui altitudes que variam de 100 a 285 metros. Ademais, na área da cidade predominam os solos do tipo Latossolo Roxo Distrófico e Eutrófico e na região onde a avenida de estudo está localizada, o solo é do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo

eutrófico (SMPCR, 2016).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS DE INTERESSE

Nesta etapa do trabalho, foi utilizado o *software* QGis® versão 3.14.15 e suas respectivas ferramentas, a serem explanadas à cada item abaixo elencado, quando necessário. A escolha deste programa se deu pelo seu caráter livre, isto é, acessível e não comercial e, também às diversas facilidades de obtenção de informações de utilização disponíveis *online*. Na Figura 4 é possível identificar com clareza as três (3) microbacias e sua distribuição espacial na cidade de Foz do Iguaçu – PR.



Fonte: A autora, 2020

A caracterização das microbacias elencadas (Jupira, Festugato e Monjolo) foi um passo primário para a identificação das condicionantes dos alagamentos. A partir dela que foi possível reconhecer como se comporta tanto o relevo das bacias quanto suas declividades e como esses e outros fatores, somados aos dados pluviométricos da cidade, favorecem os alagamentos urbanos.

3.2.1 Delimitações Geográficas Do Território

Para delimitar o território de estudo, foram utilizadas as bases cartográficas contínuas disponíveis na plataforma do IBGE³ (os dados mais atualizados são de 2015), sendo suas escalas de 1:250.000. Nesta etapa buscou-se criar a sequência visual de país (Brasil), estado (Paraná), município (Foz do Iguaçu) e microbacias de estudo (Jupira, Monjolo e Festugato), de modo a hierarquizar as informações de territórios da federação.

O Sistema Cartográfico de Referência (SCR) adotado em todo o trabalho foi o WGS 84 (EPSG: 4326), sendo esta opção de projeção escolhida, porque a maioria dos arquivos disponíveis para *download* (sob domínio público) estavam georreferenciados neste sistema. Quando o arquivo utilizado não era compatível com este sistema de projeção, ele era reprojetoado para o sistema escolhido.

3.2.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da cidade foi obtido a partir do acesso à plataforma do TOPODATA⁴. Os arquivos disponíveis para *download* estão na escala 1:250.000 com precisão de imagem de 30 metros (GAROFALO; LIESENBERG, 2015); foram descarregados os arquivos de Altitudes e Declividade da quadrícula de nomenclatura 25s555 e, com base neles e em suas manipulações, foram gerados todos os produtos de classificação das microbacias.

A partir da imagem de Altimetria na extensão *Tagged Image File Format* (.tiff), foi possível utilizar as ferramentas de *raster* do *software*, para processá-la e então produzir, além das curvas de nível do terreno (espaçadas a cada 1 m), o mapa hipsométrico das microbacias estudadas. O mapa hipsométrico é um mapa temático que apresenta as diferentes altitudes de um relevo a partir de uma escala de cores fantasia, sendo no caso desta pesquisa as cores mais quentes as de altitudes mais elevadas e as de cores frias, as de menor altitude.

Com base na imagem de Declividade (também na extensão .tiff), foi possível obter um mapa com a classificação do terreno, conforme as classes da Embrapa, a saber: Plano (terrenos de desnível pequeno e declividades que variam de 0 a 3%), Suave Ondulado (relevos pouco acidentados, com declives entre 3 e 8%), Ondulado (terrenos de

³ ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/

⁴ <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>

declives moderados, que variam de 8 a 20%), Forte Ondulado (relevos mais acidentados, que possuem declividades fortes de 20 a 45%), Montanhoso (terrenos extremamente acidentados, com declividades fortes e muito fortes que variam de 45 a 75%) e Escarpado (relevos com formas abruptas de descontinuidade, com declividades acima dos 75%) (EMBRAPA, 2018).

Ademais, foram calculados os seguintes parâmetros fisiográficos das microbacias: Fator de forma (K_f), Coeficiente de compacidade (K_c) e Índice de circularidade (I_c). Segundo Villela e Matos (1975) e Cardoso et al. (2006), tais características físicas e de forma são calculadas por:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação 1}$$

$$K_c = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação 2}$$

$$I_c = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde A é a **área** da microbacia em km², L é o **comprimento** axial da microbacia (eixo paralelo ao curso d'água principal) em km, e P é o **perímetro** em km. Para obter as características supracitadas, foram utilizadas as próprias ferramentas do QGis®, que retornam as características dos arquivos vetoriais das microbacias estudadas e também a imagem .tiff de cursos hídricos da bacia do Rio Paraná, disponíveis no site da ANA. Com relação às características deste arquivo, este foi confeccionado numa escala de 1:50.000 com pixels de 30 m, sendo identificado como uma base hidrográfica Ottocodificada (ANA, 2017).

3.2.3 Classificação De Uso E Ocupação Do Solo

Para determinar as classes de uso e ocupação do solo das microbacias, utilizou-se como base o manual de Uso dos Solos do IBGE (2020b) (explicitado no item 3.2.3.1 Classes). Foi utilizada imagem fusionada com resolução espacial de 2 m do satélite CBERS 04A (sensor WPM⁵) da missão Sino-Brasileira CBERS. Usou-se as bandas

⁵ WPM = Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura

B1, B3 e B4 (banda 1 Azul, 3 Vermelho e 4 Infravermelho Próximo) referentes ao dia 14/06/2020 e fez-se a composição falsa-cor R1G4B3. A escolha pela banda de infravermelho próximo se deu por esta, além de conseguir destacar a vegetação da imagem, ainda contrastar porções de cultivo/solo ou terra/água (JENSEN, 2015).

Adotou-se o processo de classificação supervisionada *pixel a pixel* de mínima distância euclidiana, disponível no *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) para obter as porcentagens de cada classe de uso de solo das microbacias. Esta ferramenta trabalha de forma semiautomática e supervisionada, isto é, ela só realiza a classificação a partir de parâmetros inseridos previamente pelo usuário em sua aba de trabalho. Por fim, o processo de inserção de parâmetros no *plugin* e os cálculos envolvidos para a categorização das bacias serão descritos no item 3.2.3.2 Processo de amostragem e de classificação.

3.2.3.1 Classes adotadas

O documento de monitoramento de uso e cobertura do solo brasileiro do IBGE (2020b) elenca 14 classes distintas, sendo as identificadas para esta pesquisa as seguintes:

- 4 - Área Artificial: “ [...] São aquelas estruturadas por edificações e sistema viário, nas quais estão incluídas as metrópoles, cidades, vilas, as aldeias indígenas e comunidades quilombolas, áreas ocupadas por complexos industriais e comerciais e edificações [...]”;
- 6 – Vegetação Florestal: “Área ocupada por florestas. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Floresta Ombrófila Densa, de Floresta Ombrófila Aberta, de Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista. [...]”;
- 10 – Vegetação Campestre: “Área caracterizada por formações campestres. Entende-se como campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversas da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gramíneo-lenhoso. [...]”;

- 14 – *Área Descoberta*: “Esta categoria engloba locais sem vegetação, como os afloramentos rochosos, penhascos, recifes e terrenos com processos de erosão ativos. Também inclui as praias e dunas, litorâneas e interiores, e acúmulo de cascalho ao longo dos rios”.

Tais classes serviram de base para a determinação dos parâmetros de classificação do *plugin*, os quais serão mais bem explicitados no item 4.1.3 Uso e Ocupação do Solo.

3.2.3.2 *Processo de amostragem e de classificação*

A coleta de amostras para a classificação utilizando o *plugin* SCP se deu de forma manual e com interpretação visual do usuário. Após as imagens das três (3) bandas serem fusionadas e organizadas de modo a apresentar falsa-cor (a Figura 5 abaixo, ilustra a diferença entre uma imagem em cores reais, 5^a, e outra em falsa-cor, 5b) e as três (3) microbacias serem delimitadas, foram coletadas diversas amostras por classe, sendo o processamento de imagem realizado separadamente para cada uma das microbacias a fim de diminuir a confusão espectral do classificador.

Figura 5. a) Representação em cores reais; e, b) Composição em falsa-cor

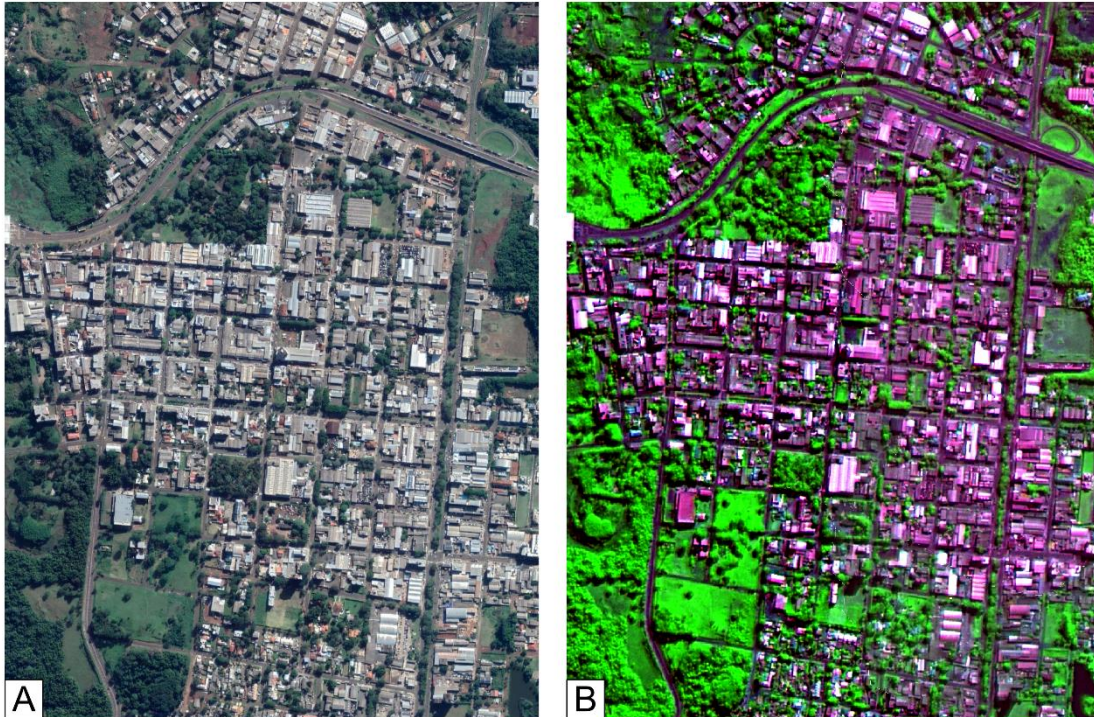


Imagem em cores reais
Fonte: Google Earth, 2020

Fonte: A autora, 2020

Imagem em Falsa-Cor
Fonte: Satélite Cbers 04A, 2020

Após a classificação, foram coletadas as chamadas amostras de exatidão, de modo a verificar a acurácia do mapa gerado. Esse processo também foi realizado a partir de ferramentas do próprio *plugin* SCP. Assim como no processo de classificação, as amostras devem ser coletadas com atenção tentando manter a maior pureza possível dos *pixels*, isto é, menos cores diferentes possíveis dentro da amostra para evitar a confusão do algoritmo. Ao fim dessa coleta de verificação, o *plugin* compara as informações e gera um relatório de acurácia, onde duas informações contidas nesse arquivo são de interesse para a presente pesquisa: o valor do índice Kappa e a acurácia global do mapa.

O índice Kappa é obtido a partir de técnicas estatísticas de análise de acurácia, foi desenvolvido por Jacob Cohen em 1960 e representa basicamente o quanto que as amostras de classificação são parecidas com as amostras de referência. A acurácia global, por sua vez, obtida a partir da metodologia desenvolvida por Michael Story e Russell G. Congalton em 1986, representa a porcentagem de concordância entre os valores de classificação e referência (SOUZA, 2020).

3.2.3.3 Criação de microbacia fictícia

Para uma melhor análise da situação no entorno da Avenida Juscelino Kubitschek, isto é, da área de influência direta na avenida, foi criada uma microbacia fictícia a partir do mapa hipsométrico. A partir da imagem na extensão .tiff, foi utilizado o *plugin* de processamento GRASS versão 7.8.3, o qual possui uma rotina de cálculo de parâmetros hidrológicos (*r.watershed*). Cabe ressaltar que, para gerar os arquivos, foi necessário informar o número mínimo de células para formar uma bacia automática.

O primeiro é constituído de polígonos estabelecidos automaticamente (com tamanhos mínimos de 100 pixels), formado por bacias genéricas que a posteriori o usuário pode utilizar para formar a bacia que deseja. O segundo arquivo (segmentos de fluxo), possui um indicativo das linhas de preferência de fluxo daquela imagem. A partir da junção destas duas informações, foi confeccionada a bacia fictícia deste estudo.

3.3 PONTOS CRÍTICOS DE DRENAGEM

Os pontos críticos da Avenida Juscelino Kubitschek foram elencados de acordo com os pontos determinados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMFI, 2019), sendo citados quatro (4) locais no decorrer da avenida. Para melhor visualização da distribuição espacial destes pontos, a Figura 6 foi criada. Nela é possível ter uma noção da localização dos pontos ao longo da avenida e suas condições de urbanização.

Figura 6. Pontos Críticos da Avenida JK

Fonte: A autora, 2020

A partir de tais pontos é que serão discutidas as principais condicionantes de alagamentos que ocorrem na avenida.

3.4 NÍVEIS DE RISCO

Para considerar o nível de risco dos quatro (4) pontos destacados ao longo da avenida, foram utilizadas informações e metodologias contidas na publicação do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), sendo o procedimento descrito, o utilizado nesta pesquisa.

Segundo o Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), é essencial identificar, analisar, gerenciar e agir sobre áreas que possuem riscos de inundações, alagamentos e/ou enchentes nas cidades. Estar atento a estas condições, permite evitar não somente perdas materiais, como também de vidas que estejam nestas regiões suscetíveis aos fenômenos.

O processo de análise explicado pelo Ministério indica que, após a identificação e delimitação preliminar das áreas críticas, seja feito uma classificação dos locais a partir de três (3) critérios pré-estabelecidos por eles, sendo eles e seus respectivos

parâmetros elencados abaixo:

1. Análise dos cenários e do potencial destrutivo dos processos hidrológicos

- a. C1 – enchente e inundação lenta em planícies fluviais;
- b. C2 – enchente e inundação com alta energia cinética;
- c. C3 – enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido.

2. Vulnerabilidade da ocupação urbana

- a. V1 – baixo padrão construtivo onde predominam matérias com baixas resistências ao impacto dos processos hidrológicos;
- b. V2 – médio a bom padrão construtivo, onde predominam construções de alvenaria com boa capacidade de resistência aos processos hidrológicos;

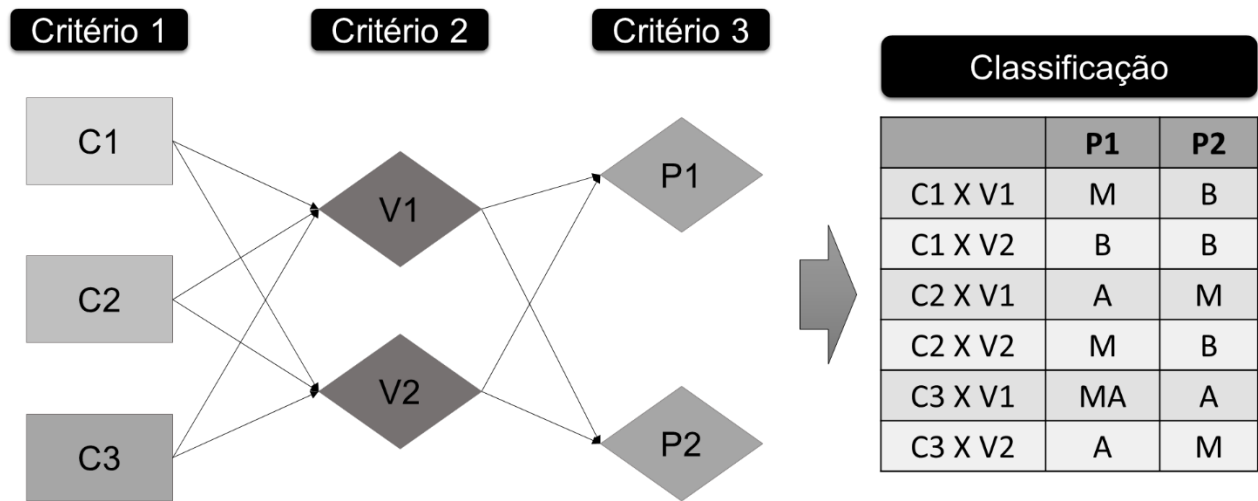
3. Distância das moradias ao eixo da drenagem

- a. P1 – Alta possibilidade de impacto direto considerando o raio de alcance do processo;
- b. P2 – Baixa possibilidade de impacto direto considerando o raio de alcance do processo.

Para classificar uma área de forma rigorosa com relação aos parâmetros apresentados pelo Ministério, devem ser levados em consideração produtos cartográficos de níveis de detalhamento elevados, onde estejam claras as divisões de lotes, ruas e moradias de forma unitária (BRASIL, 2007). Tal classificação se dá em quatro (4) níveis: Risco⁶ Muito Alto (MA), Risco Alto (A), Risco Médio (M) e Risco Baixo (B). Eles são obtidos pelo cruzamento simples entre os critérios 1, 2 e 3, como explanado na Figura 7.

⁶ Esta etapa elucidada pelo Ministério das Cidades não está diretamente ligada aos preceitos de análise clássica de riscos, perigos e probabilidade de ocorrência. Claramente que estão relacionados, mas não estão conectados nesta fase de análise. O próprio documento indica a necessidade de um estudo mais rigoroso e criterioso que possa vir a relacionar estas condições num mapeamento mais robusto.

Figura 7. Cenários possíveis de níveis de risco



Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2007)

No entanto, a obtenção de tais informações exige investimentos não só financeiros como também de tempo para levantar e processar os dados neste grau de minúcia. Por este motivo, na presente pesquisa, só foram levados em consideração os dados levantados e aqui explanados para a classificação dos pontos críticos. Para auxiliar neste processo, também se utilizou notícias circuladas nos veículos de comunicação online dos últimos nove anos (2010-2019) que apresentavam conteúdo relevante sobre eventos de alagamentos na avenida estudada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões, assim como a metodologia, foram divididos conforme etapas de realização, sendo sua ordem de execução a mesma de apresentação, por se tratar de um fluxo contínuo de tarefas.

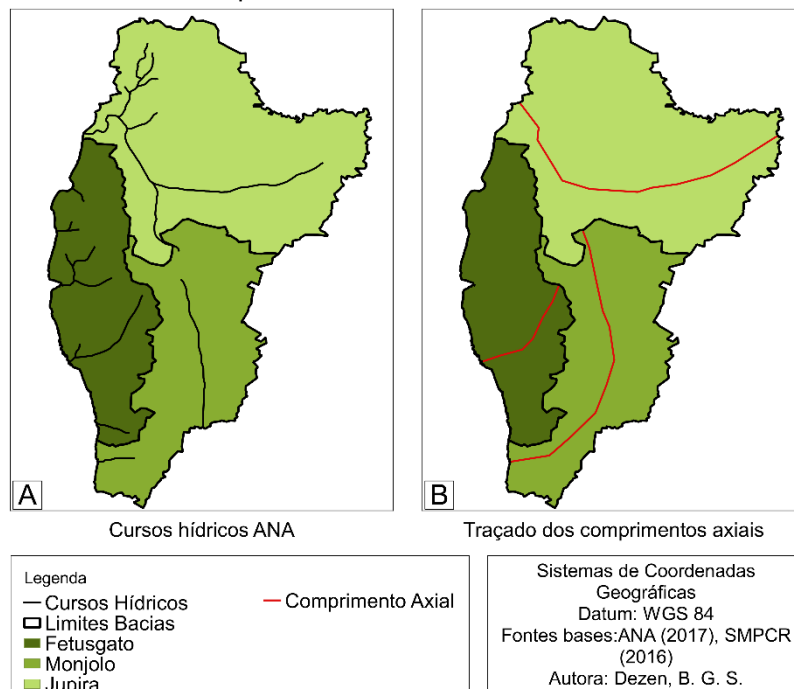
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS DE INTERESSE

As três (3) microbacias estudadas, Jupira, Festugato e Monjolo, possuem, respectivamente, áreas de 8,71 km², 4,38 km² e 5,23 km², representando juntas aproximadamente 9,57% da área urbana da cidade de Foz do Iguaçu.

4.1.1 Parâmetros Fisiográficos

Para a obtenção dos comprimentos axiais das microbacias (L), foi necessário analisar o arquivo de cursos hídricos .tiff disponibilizado pela ANA (Figura 8a e 8b) e também utilizar rotinas de cálculo do *software*.

Figura 8. a) Cursos hidrológicos da ANA; e, b) Traçado dos comprimentos axiais das microbacias



Fonte: A autora, 2020

Na Tabela 1 é possível verificar as características e os parâmetros

calculados para cada uma das microbacias analisadas.

Tabela 1. Características das microbacias

	Monjolo	Festugato	Jupira
L (km)	4,49	1,80	4,90
A (km²)	5,23	4,39	8,71
P (Km)	17,81	13,85	19,57
Kf	0,26	1,36	0,36
Kc	2,18	1,85	1,86
Ic	0,21	0,29	0,29

Fonte: A autora, 2020

Segundo Villela e Mattos (1975), o parâmetro Kf (Fator de forma), demonstra quão suscetível uma bacia está a enchentes. Quanto menor este fator, menos propensa a bacia é a ocorrência de enchentes, uma vez que este é um parâmetro que relaciona a probabilidade de uma chuva intensa ocorrer simultaneamente em toda a extensão da bacia. Considerando isto, as microbacias do Monjolo e Jupira possuem valores baixos de fator de forma, o que as torna menos suscetíveis a enchentes, ao contrário do que acontece com a microbacia do Festugato, pois seu valor de Kf é mais elevado, tornando-a sutilmente mais propensa do que as outras.

Ainda de acordo com Villela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (parâmetro Kc) também indica quão sujeita uma bacia é a enchentes. No entanto, quanto mais próximo da unidade, mais suscetível uma bacia é. Observando as microbacias, nenhuma das três (3) possui propensão a enchentes sob este aspecto (o que não impede os eventos de acontecerem).

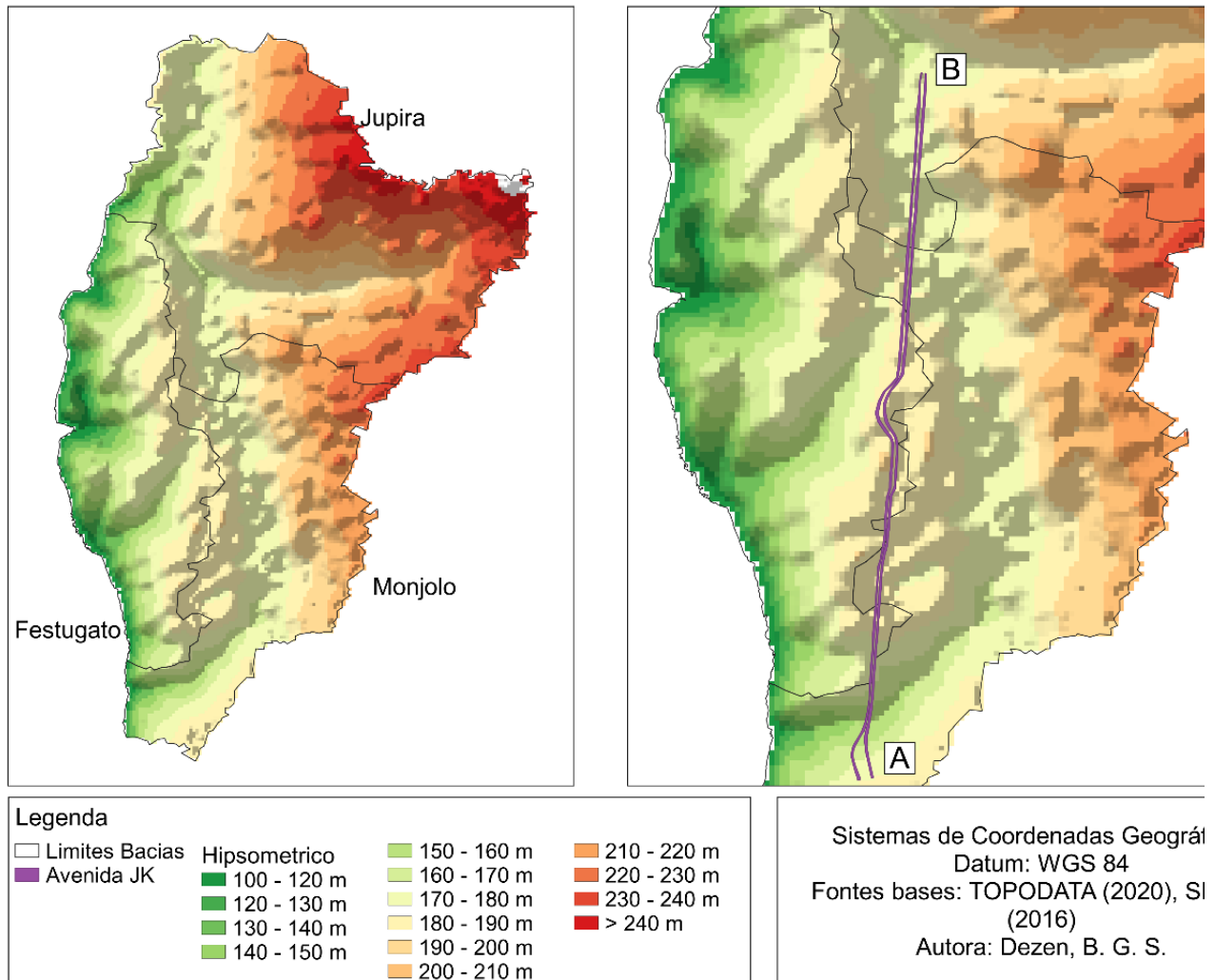
Por fim, Cardoso et al. (2006) comentam que os dois parâmetros anteriores indicam na realidade uma tendência de alongamento do formato das bacias, por isso sua baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação, o que corrobora com o baixo índice de circularidade apresentado para as três (3) situações, pois quanto mais próxima da unidade, mais circular a bacia é e, portanto, mais propensa a enchentes também.

4.1.2 Hipsometria e Declividade

A partir dos arquivos obtidos no site do TOPODATA, foi possível gerar um mapa contendo a hipsometria do terreno. Na Figura 9 é possível observar as três bacias

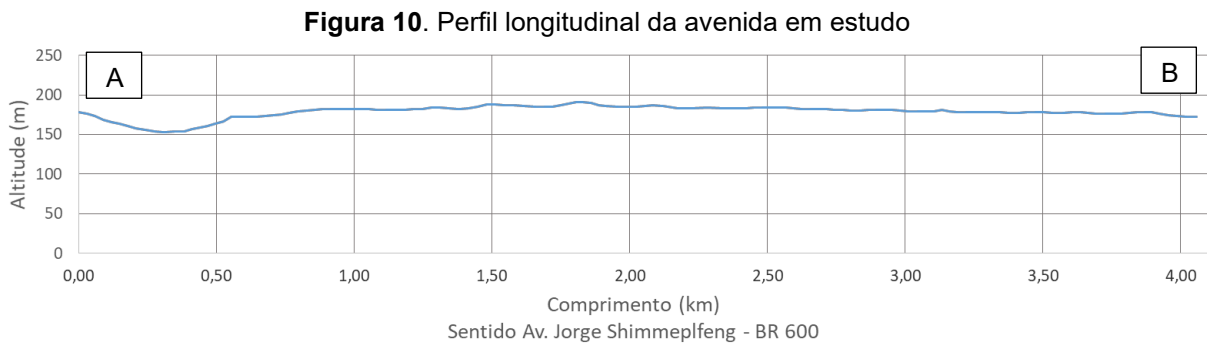
juntas, assim como o local de instalação da Avenida JK entre elas. As altitudes variam de 100 a 252 m nesta parte da cidade, sendo a maior parte da avenida alocada sobre altitudes que variam entre 170 e 190 m. Os valores encontrados estão de acordo com os apresentados pela Prefeitura do Município no Plano Diretor da cidade (SMPCR, 2016).

Figura 9. Mapa Hipsométrico das microbacias estudadas



Fonte: A autora, 2020

Na Figura 10 também é possível observar como se dá a variação de altitudes no decorrer da Avenida JK, isto é, a figura representa o perfil longitudinal da via como um todo.



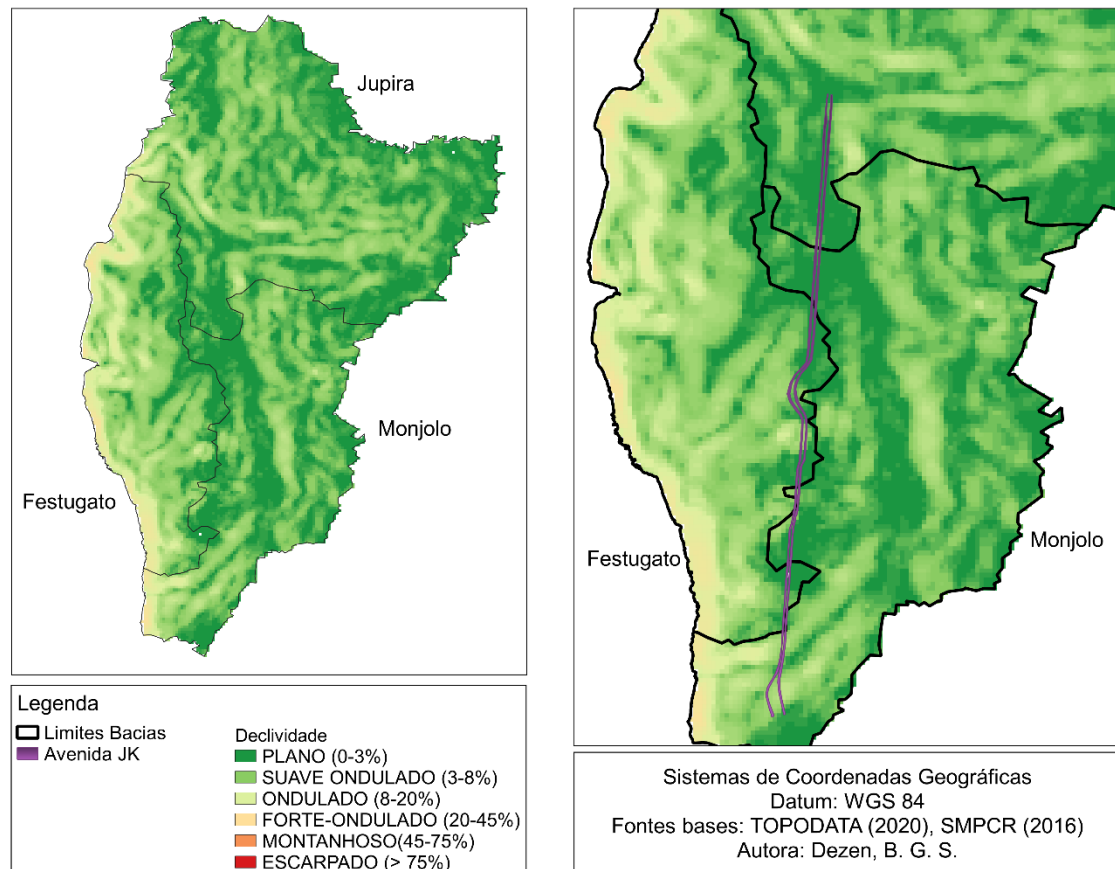
Fonte: A autora, 2020

Ao observar a Figura 10, é possível identificar que a avenida não possui grandes variações de altitude em sua extensão, o que indica que o terreno possui baixas declividades.

Os estudos das declividades são importantes para compreender como a velocidade do escoamento superficial pode ser afetada, dadas as inclinações dos terrenos (locais mais íngremes tendem a possuir maiores velocidades de escoamento quando comparados à locais mais planos).

Na Figura 11 é possível identificar, além das três bacias juntas, o local de instalação da Avenida JK. As declividades variam de 1 a 42% nesta área, sendo que na maior parte da avenida estas porcentagens variam de 1 a 13%, isto é, está entre o relevo plano e o ondulado.

Figura 11. Mapa de declividade das microbacias estudadas



Fonte: A autora, 2020

O fato de a avenida estar sob as condições de relevo de baixa declividade é um fator indicativo sobre a velocidade de escoamento superficial das águas na bacia. Quanto maior a declividade, maior a velocidade e, portanto, mais fácil a drenagem de águas à montante do relevo. No entanto, tal agilidade na drenagem também pode ter um viés: a quantidade de água que chega à jusante é muito maior em menos tempo, podendo gerar alagamentos nos exutórios das bacias (GALVÍNIO; SOUSA; SHIRINIVASAN, 2006).

No caso da avenida estudada, a condição do terreno com declividades bem suaves, indica baixas velocidades de escoamento. Este fator pode proporcionar áreas de alague em todo o decorrer da avenida, uma vez que a água não consegue se deslocar com velocidades consideráveis em situações de chuvas intensas, onde o volume de água é muito elevado e a drenagem precisa ser rápida e eficiente, de modo a evitar acúmulos excessivos nas pistas.

No entanto, não somente as declividades e altitudes são importantes para o estudo do escoamento superficial de uma bacia. Outro fator muito importante é a

cobertura do solo e a tipologia do solo estudado.

4.1.3 Uso e Ocupação do Solo

A imagem utilizada para a classificação das microbacias possuía alta resolução espacial, mas baixa resolução espectral quando comparada a imagens de outros satélites como o Landsat-8, por exemplo (BARBOSA, 2010). Por este motivo, algumas alterações para a classificação precisaram ser feitas. Inicialmente, foi observado que algumas regiões apresentavam sombras (*pixels* pretos ou marrons escuros) devido à incidência solar no momento de passagem do satélite, sendo esta nova classe considerada. Ademais, não foi possível distinguir pela coloração dos *pixels* de falsa-cor (R3G4B1) a tipologia de vegetação, sendo todo tipo (florestal e campestre) colocados sob a mesma classe, justamente pela baixa resolução espectral do sensor do satélite.

Por outro lado, como foi possível identificar os telhados na imagem devido à sua resposta espectral ser bem diferente dos demais alvos, distinguindo-os da malha urbana, optou-se por criar uma classe para este item para diminuir a confusão espectral pelo algoritmo de classificação. Por fim, foram consideradas as seguintes classes: Vegetação, Sombra, Área Urbana, Telhado e Solo Exposto.

Nesta etapa do trabalho, serão apresentadas as microbacias de forma individual, pois elas foram assim classificadas. Ressalta-se que o processamento foi realizado deste modo visando diminuir a confusão espectral do algoritmo de classificação. Prezou-se por coletar amostras mais puras possíveis, buscando assim, maiores valores de índice Kappa e de Acurácia Global.

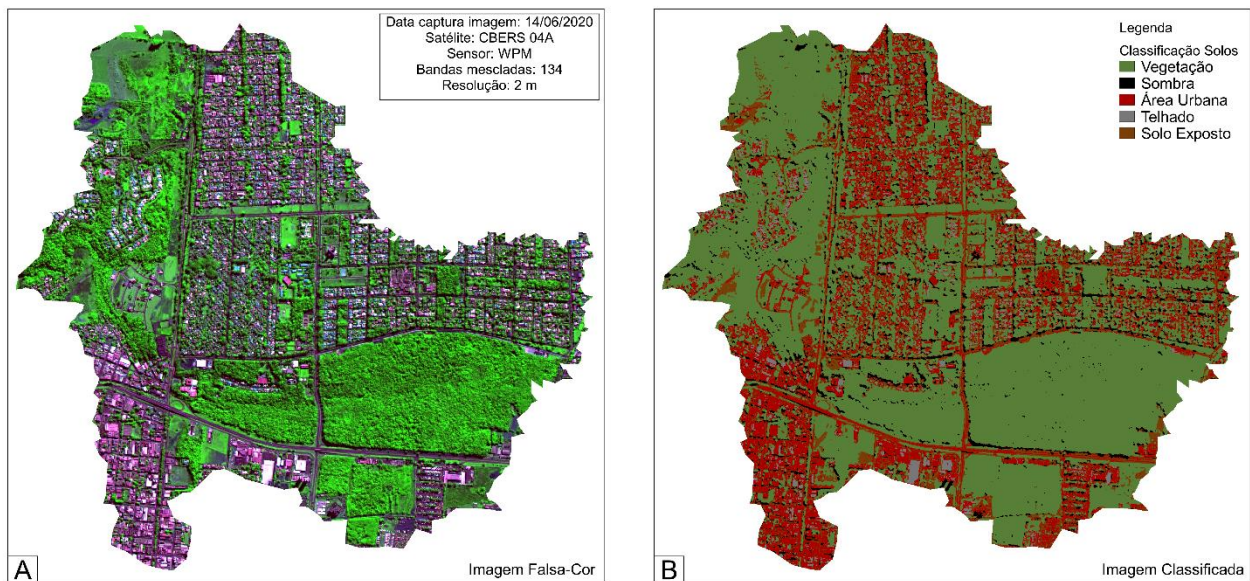
Embora o índice Kappa não possua intervalos bem definidos de qualidade de concordância, a comunidade científica comumente adota os valores presentes na Tabela 2 para verificar se a classificação possui níveis mínimos de aceitabilidade (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). Cabe ainda ressaltar que tal índice de classificação é utilizado em diversas áreas além do geoprocessamento, por se tratar de análises estatísticas consideradas clássicas desenvolvidas em 1960 e classificadas por J. Landis e Gary Koch em 1977 (LANDIS; KOCH, 1977).

Tabela 2. Classes Índice Kappa

Índice Kappa	Nível de concordância
< 0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Substancial
0,81 – 1,00	Quase perfeito

Fonte: Livre tradução de (LANDIS; KOCH, 1977)

O uso e ocupação da microbacia do Arroio Jupira é mostrado na Figura 12, sendo possível observar tanto a imagem do satélite mesclada em falsa-cor (12a), quanto sua a classificação (12b).

Figura 12. Classificação dos solos da microbacia Arroio Jupira

Fonte: A autora, 2020

Devido à baixa resolução espectral da imagem, o *plugin* não distinguiu áreas de solo exposto e áreas asfaltadas. Nesta parte da cidade, onde as três (3)

microbacias estão localizadas, é possível verificar algumas regiões de solos sem cobertura vegetal, mas não em grandes proporções, conforme apresentado na tabela abaixo. Por este motivo, para as condições deste trabalho, as áreas asfaltadas e de solo exposto serão consideradas equivalentes.

Salienta-se que tais situações são comumente reportadas por outros autores que trabalham com imagens de sensoriamento remoto. Demori e Mendonça (2019), por exemplo, comentam em seu trabalho que houve tanto a presença de sombras quanto a confusão espectral dos *pixels*, sendo realizadas as correções necessárias para prosseguir com seus estudos, método este não aplicado nesta pesquisa.

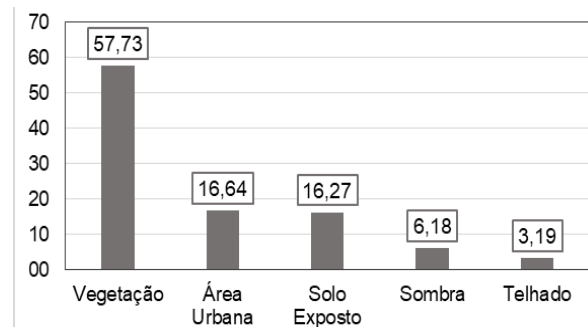
É possível observar na Tabela 3 e Figura 13 que a microbacia do Arroio Jupira possui predominância de áreas vegetativas (cerca de 58%) e áreas urbanizadas (soma de Área Urbana, Telhado e Solo Exposto próximo a 36%).

Tabela 3. Classificação microbacia Jupira

Classe	Área (km ²)	%
Vegetação	5,03	57,73
Sombra	0,54	6,18
Área Urbana	1,45	16,64
Telhado	0,28	3,19
Solo Exposto	1,42	16,27
Total	8,71	
Acurácia Global [%] = 51,30		
Índice Kappa = 0,44		

Fonte: A autora, 2020

Figura 13. Representação microbacia Jupira



Fonte: A autora, 2020

Ademais, observando o índice Kappa, verifica-se que ele apresenta uma classificação moderada segundo a Tabela 2 e a Acurácia Global deste mapa gira em torno dos 51% (valor também intermediário). O ideal seria apresentar valores de tais índices bem maiores, no entanto, algumas das condições de classificação e imageamento podem ser utilizados para explicar tais valores.

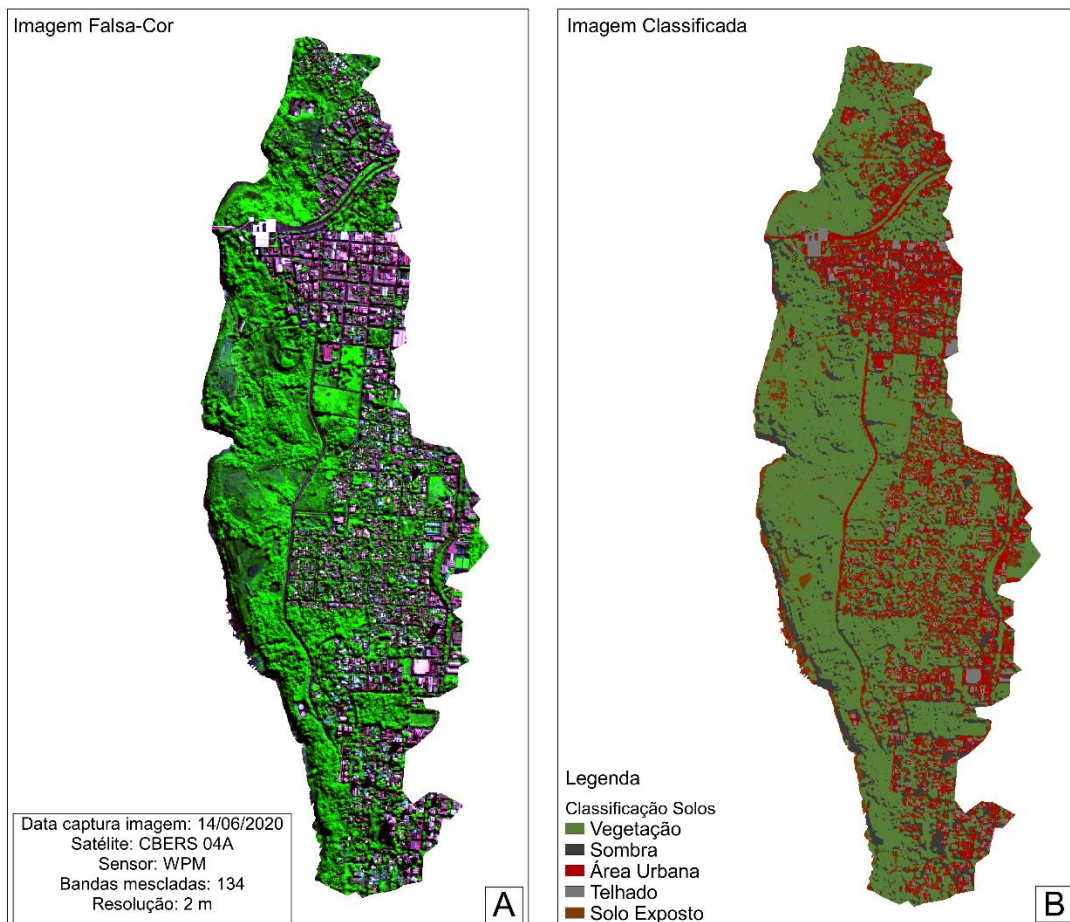
Primeiramente, a resolução espectral mais baixa, favorece a confusão espectral do algoritmo de classificação, uma vez que as cores podem ser ora classificadas como uma classe e ora como outra, a depender se a coloração for semelhante. Outro fator importante, que pode vir a favorecer a confusão do algoritmo, é a predominância de uma ou duas classes no mapa temático.

Segundo Souza (2020), ambos os índices podem ser mais sensíveis à

dispersão grande de áreas com quantidades consideráveis de classe, isto é, os índices têm seus valores facilmente alterados em mapas temáticos onde uma ou duas classes possuam áreas muito maiores quando comparadas as demais, o que corresponde ao caso das microbacias deste estudo. No entanto, a classificação foi repetida outras duas (2) vezes, mas não foi possível obter melhores resultados destes índices.

Para a bacia do Córrego Festugato, o comportamento do uso e ocupação do solo é semelhante ao apresentado para o Jupira. Na Figura 14, é possível identificar tanto a imagem do satélite mesclada em falsa-cor (14a), quanto a classificação da microbacia (14b).

Figura 14. Classificação dos solos da microbacia do Córrego Festugato



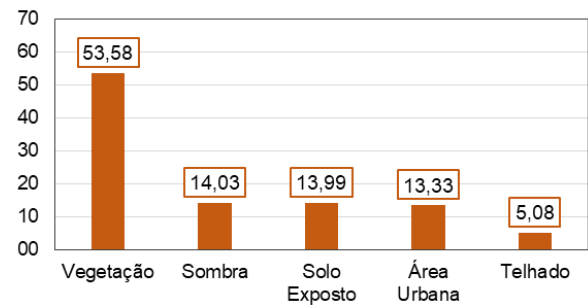
Fonte: A autora, 2020

Na Tabela 4 e Figura 15 é possível identificar as semelhanças com a microbacia do Jupira, uma vez que também houve dominância das classes de Vegetação (54% aproximadamente) e de Áreas Artificiais (próximo de 32%).

Tabela 4. Classificação microbacia Festugato

Classe	Área (km ²)	%
Vegetação	2,35	53,58
Sombra	0,62	14,03
Área Urbana	0,58	13,33
Telhado	0,22	5,08
Solo Exposto	0,61	13,99
Total	4,39	
Acurácia Global [%] = 54,42		
Índice Kappa = 0,48		

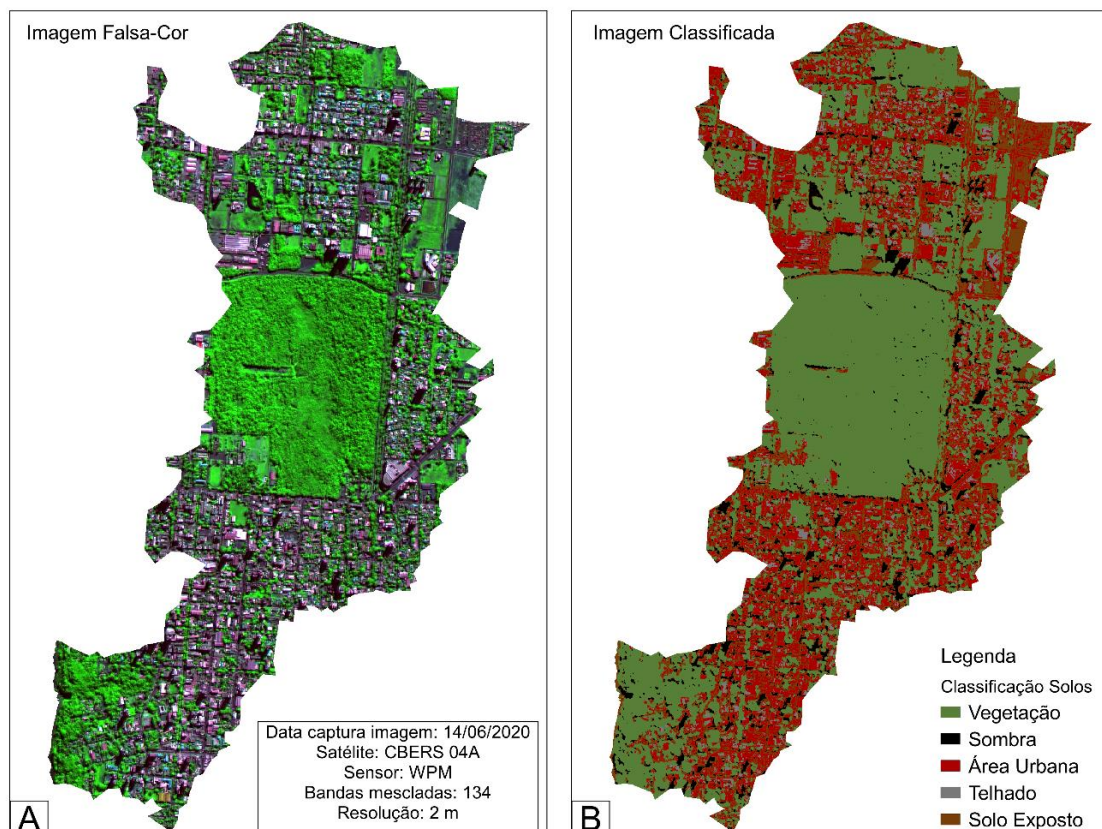
Fonte: A autora, 2020

Figura 15. Representação microbacia Festugato

Fonte: A autora, 2020

Assim como no caso anterior, o índice Kappa obtido é enquadrado como moderado e a Acurácia Global também possui valor intermediário. No caso desta bacia, também se repetiu a classificação duas (2) vezes, sem melhorias notáveis entre as classificações.

A bacia do Arroio Monjolo, por sua vez, apresenta comportamento semelhante às outras duas. A Figura 16 mostra tanto a imagem do satélite mesclada (16a) em falsa-cor, quanto a classificação da microbacia (16b).

Figura 16. Classificação dos solos da microbacia do Arroio Monjolo

Fonte: A autora, 2020

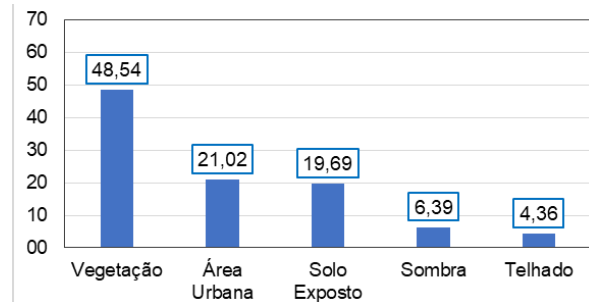
Na Tabela 5 e Figura 17 é possível observar que a microbacia do Arroio Monjolo, assim como as demais, possui predominância de áreas vegetativas (49% aproximadamente) e áreas urbanizadas (próximo de 45%).

Tabela 5. Classificação microbacia Monjolo

Classe	Área (km ²)	%
Vegetação	2,54	48,54
Sombra	0,33	6,39
Área Urbana	1,10	21,02
Telhado	0,23	4,36
Solo Exposto	1,03	19,69
Total	5,23	
Acurácia Global [%] = 44,81		
Índice Kappa = 0,41		

Fonte: A autora, 2020

Figura 17. Representação microbacia Monjolo



Fonte: A autora, 2020

Ao observar o índice Kappa, verifica-se que ele apresenta uma concordância moderada, embora esteja no seu limiar, e a Acurácia Global também apresentou um valor mais baixo que os demais (45% perante os valores acima dos 50% dos outros mapas). No caso desta bacia, foram realizadas três (3) tentativas de classificação, sendo apresentado o mapa de melhor desempenho alcançado.

4.1.3.1 Uso e ocupação da microbacia fictícia

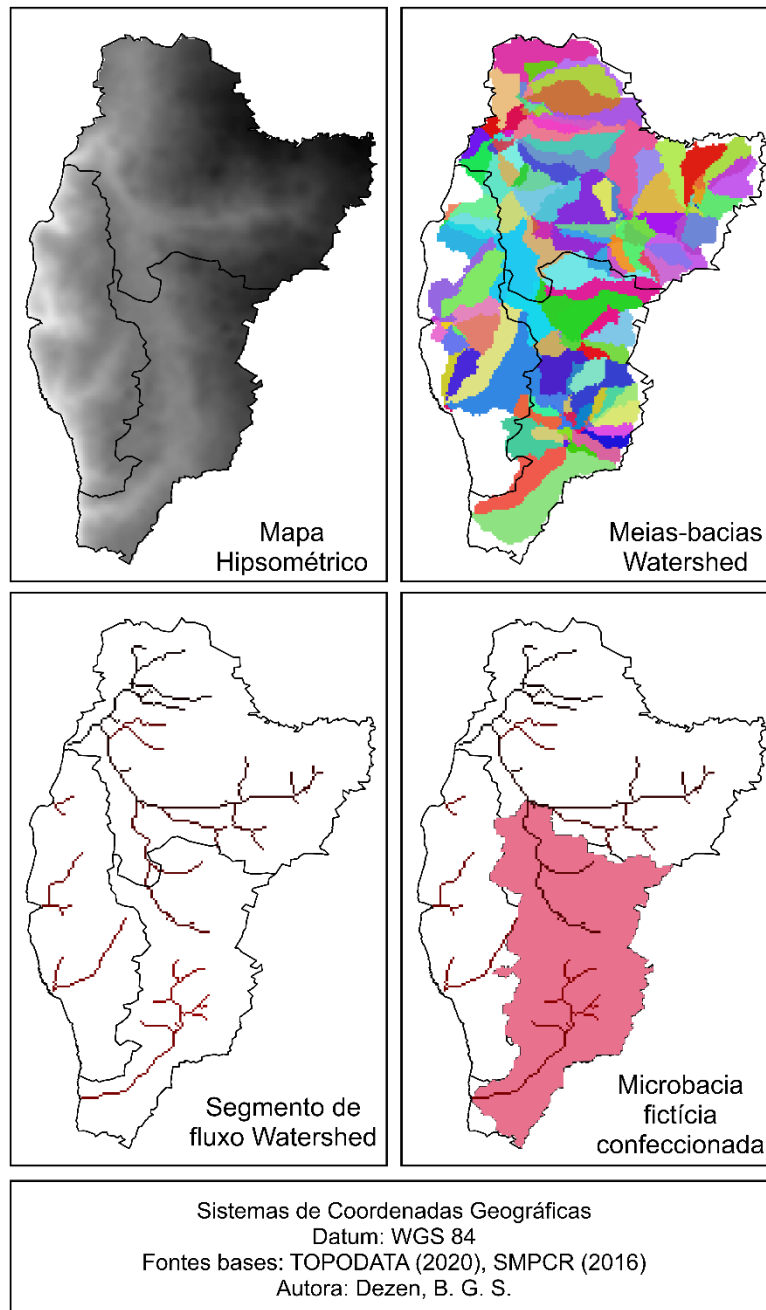
A criação da microbacia fictícia se fez necessária para poder compreender as distribuições de classes de uso do solo no local, sendo possível a determinação das porcentagens de área impermeável e permeável, as quais, segundo Tucci (2001), podem alterar diretamente as condições de escoamento superficial da água que chega à avenida.

No que tange a criação da microbacia fictícia, foi necessário, primeiramente, determinar o número mínimo de *pixels* por meias-bacias. A inserção deste valor é necessária para um correto controle de nível de detalhamento dos segmentos de fluxo dos mapas gerados. Números muito baixos, aumentam muito o tempo de processamento e ainda podem dificultar a análise dos parâmetros gerados, por outro lado, valores muito altos fazem com que se perca a acurácia dos dados (QGIS, 2009). metodologia

Sabendo disso, foram adotados valores de 200 e 100 *pixels*, sendo comparados entre si o nível de detalhamento. A grandeza que mais se adequou ao

processo desta fase foi 100 *pixels*. Cabe ressaltar que o objetivo principal desta etapa era compreender as áreas de influência direta na avenida, sendo que para isto foram gerados os arquivos de meias-bacias e de segmentos de fluxo. O processo de confecção desta microbacia fictícia pode ser observado na Figura 18.

Figura 18. Processo de criação da microbacia fictícia

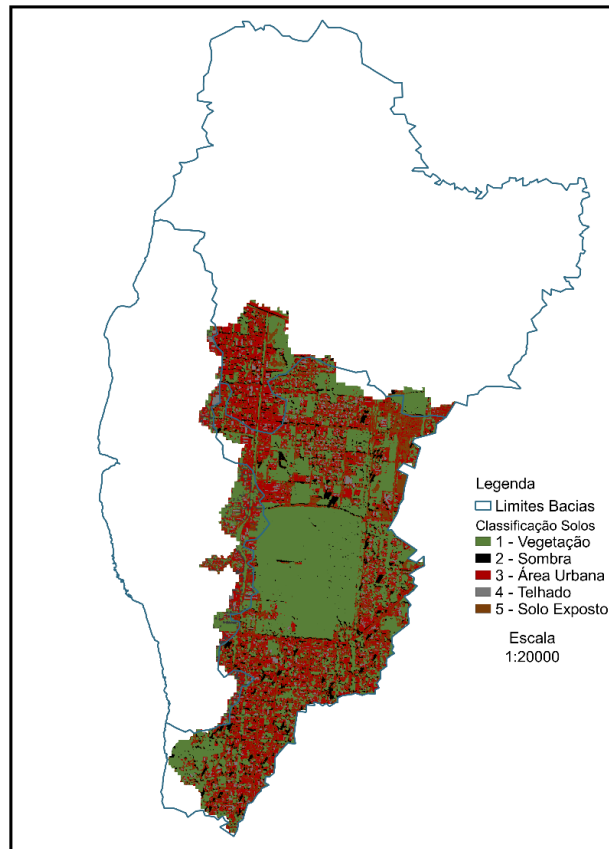


Fonte: A autora, 2020

Após a determinação da microbacia, esta foi sobreposta e recortada com os mapas de uso e ocupação do solo mostrados no item 4.1.3 *Uso e Ocupação do Solo*,

sendo o resultado representado na Figura 19 abaixo.

Figura 19. Classificação Uso e Ocupação microbacia fictícia



Fonte: A autora, 2020

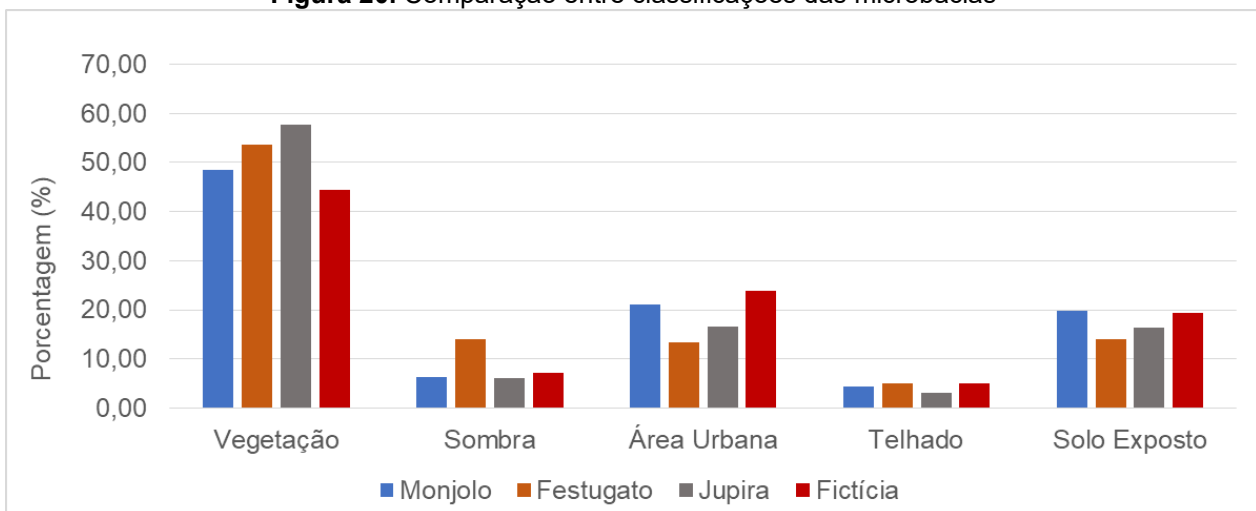
Na Tabela 6, estão explícitas as porcentagens de cada classe nesta microbacia, além das porcentagens de participação de cada microbacia real. Observando a tabela, é possível identificar que a área da microbacia fictícia é composta por aproximadamente 8% da área do Jupira, 11% da Festugato e 95% do monjolo, ou seja, embora a avenida esteja inserida entre as três microbacias, a do Monjolo é a que mais influência e afeta a região de estudo.

Tabela 6. Classificação microbacia fictícia

Classe	Área (km ²)	%
Vegetação	2,74	44,46
Sombra	0,44	7,22
Área Urbana	1,48	23,94
Telhado	0,30	4,94
Solo Exposto	1,20	19,44
Total	6,16	
Participação da microbacia nas demais	Festugato	11,39
	Jupira	8,04
	Monjolo	94,83

Fonte: A autora, 2020

Ademais, seguindo o padrão das microbacias reais, esta possui aproximadamente 45% de áreas vegetativas e permeáveis e 48% de áreas urbanizadas e não permeáveis. Na Figura 20 é possível identificar um comparativo entre as quatro (4) microbacias, mostrando que todas seguem a mesma tendência de classificação.

Figura 20. Comparação entre classificações das microbacias

Fonte: A autora, 2020

Por fim, cabe salientar que dados como o grau de impermeabilização são de extrema importância para os estudos de escoamento superficial das águas pluviais, pois além de serem determinantes para os cálculos de eficiência da execução/planejamento dos sistemas de drenagem urbana atual e futuro (DEMORI; MENDONÇA, 2019), ainda auxiliam na compreensão da resposta do mesmo sistema perante eventos extremos de chuvas.

4.2 ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS DE DRENAGEM

Os quatro (4) pontos críticos elencados para análise neste trabalho estão destacados na Tabela 7. Nela é possível verificar, além do trecho que corresponde ao ponto, seu problema inerente que o torna crítico perante a Prefeitura Municipal (PMFI, 2019).

Tabela 7. Pontos críticos elencados pela Prefeitura Municipal

ID	Trecho	Problema
1	Rua José de Alencar, trecho entre a Av. JK e a Rua Cândido Portinari	Cruzamento de tubulações de drenagem urbana e esgotamento da Sanepar
2	Cruzamento entre Av. JK e a Av. Carlos Gomes	Trecho de galerias subdimensionadas
3	Cruzamento entre Av. JK e a Rua David Muffato	Trecho de galerias subdimensionadas
4	Cruzamento entre Av. JK e a Rua Eng. Rebouças	Trecho de galerias subdimensionadas

Fonte: Adaptado de (PMFI, 2019)

No âmbito desta pesquisa, a análise destes pontos foi dividida em três (3) fases: 1) Discussão sobre as condicionantes topográficas dos pontos; 2) Discussões sobre as condições de uso e ocupação do solo de cada região; e, 3) Explicações sobre as relações entre os itens apontados e demais considerações sobre os fenômenos de alagamentos nos pontos críticos de drenagem.

Para isto, foram avaliados os mapas temáticos de Declividade, Altimetria (ou Hipsométrico) e de Classificação do Uso e Ocupação do Solo deste recorte das bacias sendo, portanto, cruzadas as informações supracitadas, de modo a explicar melhor alguns dos possíveis motivos dos alagamentos na região.

4.2.1 Influências Topográficas

O Plano Municipal de Saneamento (PMFI, 2019), além de elencar os pontos críticos de drenagem, os classifica de acordo com sua situação de gravidade, conforme apresentado na Tabela 8. Essa classificação foi inicialmente feita pela Sanepar em 2011, num diagnóstico preliminar da drenagem urbana da cidade (SANEPAR, 2011 apud PMFI, 2019) e, posteriormente, complementada pelo novo estudo realizado em 2019, onde o critério para classificação dos pontos foi a frequência da incidência de alagamentos provocados por baixas intensidades de precipitação.

Tabela 8. Situação dos Pontos críticos de drenagem da cidade

ID	Trecho	Situação
1	Rua José de Alencar, trecho entre a Av. JK e a Rua Cândido Portinari	Crítico
2	Cruzamento entre Av. JK e a Av. Carlos Gomes	Crítico
3	Cruzamento entre Av. JK e a Rua David Muffato	Sem classificação
4	Cruzamento entre Av. JK e a Rua Eng. Rebouças	Médio

Fonte: Adaptado de (PMFI, 2019)

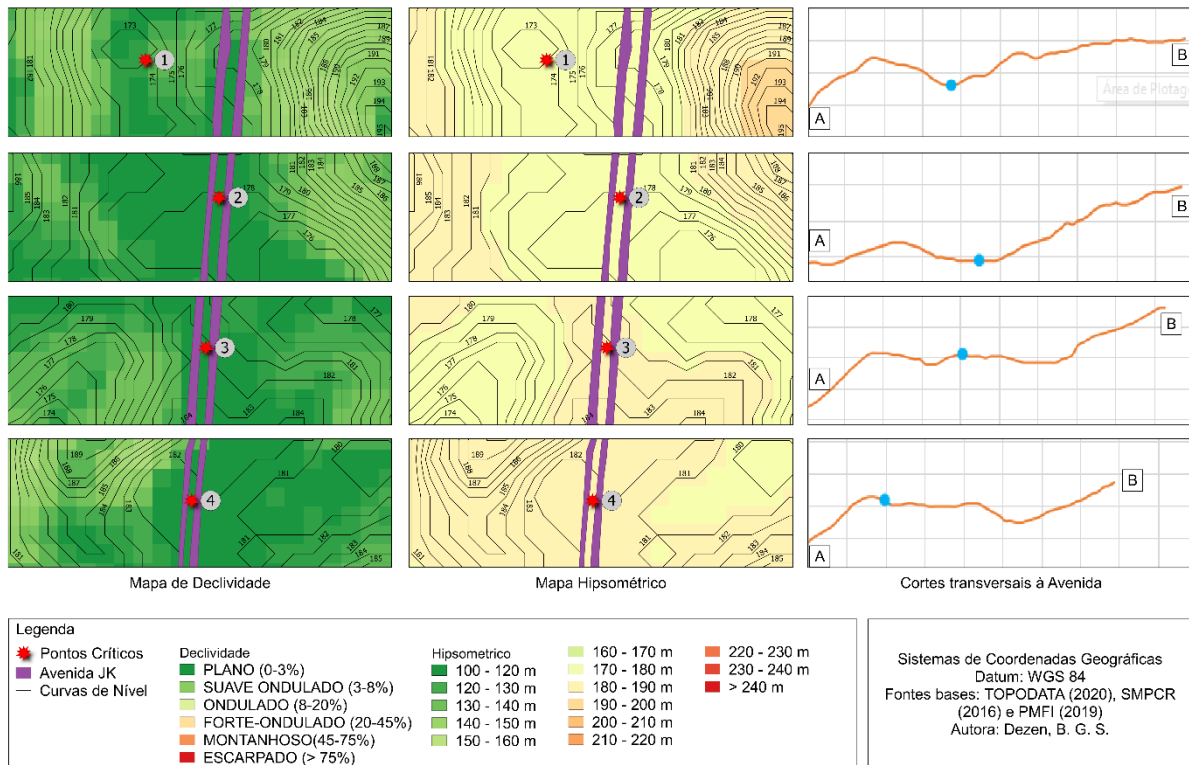
Para análise destes pontos, inicialmente, foram confeccionados perfis transversais de 1,5 a 2,0 km de extensão em relação ao perfil transversal da Avenida Juscelino Kubitschek. Foram traçados tais perfis a partir das avenidas mais extremas às microbacias, isto é, as avenidas que estavam mais próximas às linhas limítrofes ao mesmo tempo nas três (3), sendo a Avenida Beira Rio a saída de todos os pontos A e a Avenida Paraná a chegada dos pontos B, como mostra a Figura 21. Cabe ressaltar que este processo foi realizado visando compreender o comportamento dos perfis dos Pontos Críticos na avenida.

Figura 21. Posição dos cortes transversais à Av. JK

Fonte: A autora, 2020

Na Figura 22 é possível ainda observar na sequência, os quatro (4) pontos com suas respectivas áreas diretas de influência, onde foram colocados lado a lado, os recortes dos mapas de declividade e hipsometria, além dos cortes transversais mostrados na figura.

Figura 22. Comparativo entre mapas dos pontos críticos



Fonte: A autora, 2020

A partir da análise da Figura 22 é possível verificar algumas condicionantes que favorecem os alagamentos nos pontos elencados. São eles:

Ponto 1: Ao analisar a sequência de imagens, no mapa de declividades, o ponto 1 se encontra numa região plana com relevo suavemente ondulado de ambos os lados da avenida. Observando a altimetria do trecho, é possível identificar que o ponto está numa espécie de vale (ponto mais baixo entre trechos mais elevados), o que somado às declividades maiores e, ao problema de cruzamento de tubulações (que diminui a seção útil da tubulação de drenagem), favorece claramente alagamentos e ainda corrobora com a classificação da Prefeitura Municipal (PMFI, 2019), a qual diz que a situação deste ponto é crítica.

Ponto 2: A partir do mapa de declividades, é possível verificar que este ponto está numa grande região plana. Analisando a altimetria do trecho, verifica-se que o

ponto está numa cota muito mais baixa quando comparada ao ponto B, sendo o relevo mais acidentado, o que favorece maiores velocidades de escoamento superficial. A localização da avenida em uma planície neste ponto e o recebimento de contribuição de águas de pontos mais elevados, em situação de eventos de chuva, faz com que tanto o volume que chega ao local, quanto a velocidade sejam mais elevados, dadas as condições de declividade do trecho. Além desta condição somada às situações supracitadas, tem-se ainda que este ponto possui tubulações subdimensionadas, segundo a Prefeitura Municipal (PMFI, 2019), o que definitivamente corrobora com a classificação de situação crítica deste ponto.

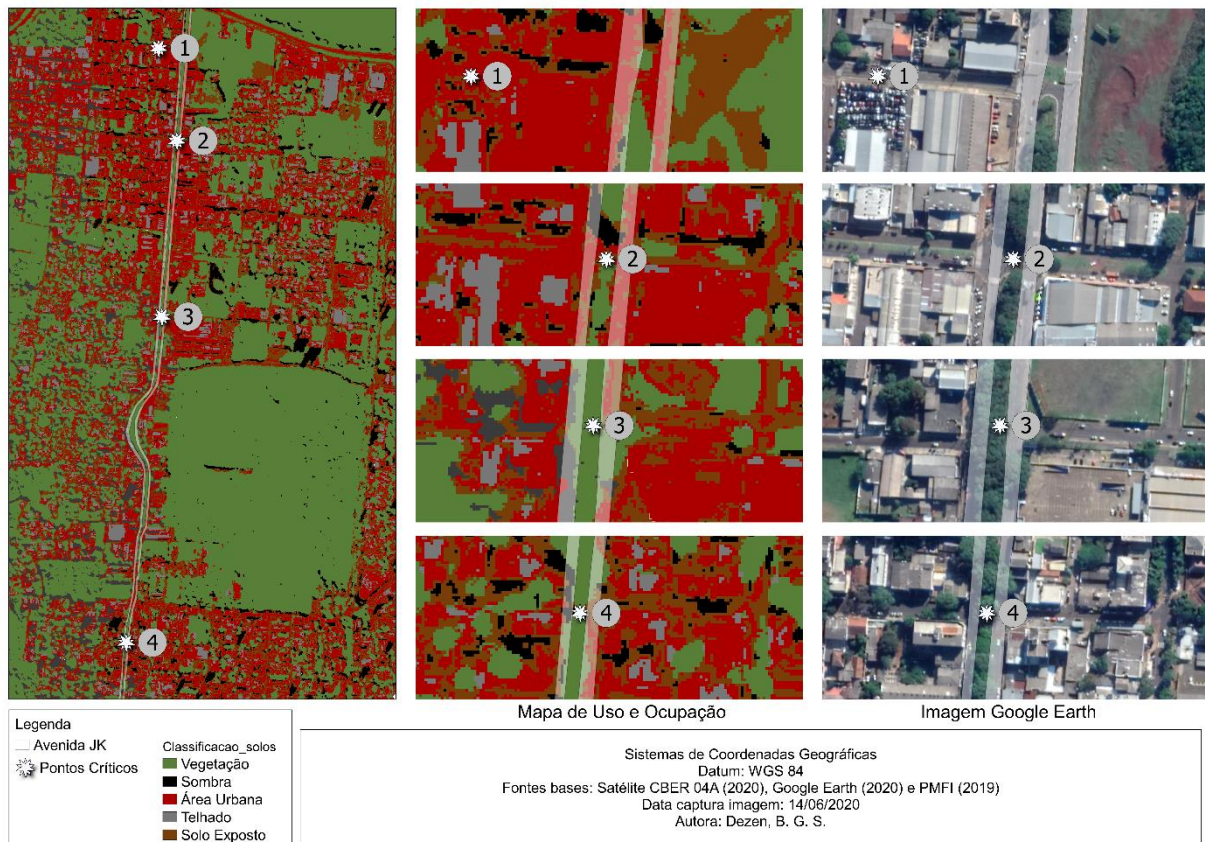
Ponto 3: Analisando a imagem do mapa de declividades, este ponto também se encontra sob um relevo mais plano, com ondulações suaves de ambos os lados da avenida. Observando a altimetria, é possível verificar que a região de ondulações à direita, corresponde ao trecho mais elevado do recorte e, à esquerda, a um ponto de início de declive. Esta configuração facilita um espalhamento da lâmina d'água das chuvas mais intensas, o que somado às condições de subdimensionamento da rede, torna este local propenso a alagamentos, embora este não tenha sido classificado quanto à sua situação pela Prefeitura, dando indícios de baixas frequências de alagamentos na região (PMFI, 2019).

Ponto 4: Ponderando sobre o mapa de declividade, a avenida está inserida numa grande região plana, com maiores declividades à esquerda do ponto. No que diz respeito à altimetria, identifica-se uma espécie de platô onde a avenida se encontra, sendo observado mais à direita uma depressão que favorece a retenção de água que advém da parte mais alta no extremo B do corte. Mesmo que possivelmente não haja essa contribuição da área mais elevada (diferentemente dos demais pontos), o fato de ser uma grande área plana favorece baixas velocidades de escoamento e, portanto, situações de alagamentos urbanos. Tais condições, somadas às condições de subdimensionamento da rede no local, corrobora com a classificação da Prefeitura Municipal, de que este ponto possui situação crítica (PMFI, 2019).

4.2.2 Condições De Uso E Ocupação Do Solo

Para analisar as condições de uso e ocupação do solo da região dos Pontos Críticos, a Figura 23 foi confeccionada. De modo a comparar a classificação, ao lado das imagens classificadas, foram inseridos os respectivos recortes das imagens do Google

Earth®.

Figura 23. Classificação de uso do solo nos Pontos Críticos

Fonte: A autora, 2020

A partir da análise do mapa de uso, é possível observar que a avenida é uma região consideravelmente urbanizada, o que condiz com a lógica desta avenida ser um dos principais eixos de acesso da cidade. Cabe ressaltar que a urbanização favorece o aumento tanto do volume de águas quanto da velocidade de escoamento das precipitações que percorrem o sistema de drenagem da avenida, uma vez que a taxa de impermeabilização é muito mais elevada em condições de urbanização média e densa (TUCCI, 2012) e estes são fatores diretamente proporcionais.

Ainda analisando o entorno dos Pontos Críticos, estes são compostos por diversos comércios de pequeno, médio e grande porte e por algumas residências, seja na própria Avenida JK ou nas proximidades diretas. Existem hotéis (Pontos 1, 3 e 4), lojas de autopeças (pontos 2 e 3), grandes distribuidoras de artigos de construção civil e papelaria (Ponto 2), grandes supermercados (Ponto 3), além de comércios de menor porte e restaurantes locais (Pontos 2, 3 e 4), ou seja, são locais bem movimentados e que de certa forma são importantes para o mercado local da cidade.

A caracterização do entorno dos Pontos Críticos vai ao encontro com a afirmação de Tucci (2012), o qual relata que ao se aumentar as velocidades de escoamento, além de sobrecarregar mais rapidamente o sistema de drenagem como um todo, ainda se acelera a erosão dos solos (principalmente dos expostos). Tal fenômeno torna as tubulações suscetíveis ao assoreamento, o que por sua vez também corrobora com a falha do sistema de drenagem. Isto é, em regiões de considerável urbanização, onde as taxas de impermeabilização são elevadas, o sistema já é naturalmente propenso a alagamentos, dadas as características da organização estrutural da cidade.

4.3 ANÁLISE DOS RISCOS

Levando em consideração o explicitado no item 3.4 NÍVEIS DE RISCO, a primeira etapa consiste em analisar o cenário hidrológico e seu potencial destrutivo. Para auxiliar neste processo de identificação, foram consultadas notícias vinculadas nos periódicos locais entre 2010 e 2019 sobre eventos de alagamentos na Avenida Juscelino Kubitschek. Estes eventos estão elencados na Tabela 9, sendo suas referências listadas no Apêndice A.

Tabela 9. Relação datas de eventos de alagamento

Data	Jornal	Ocorrência CEDEC
23/03/2010	Click Foz	Alagamento
23/03/2010	Click Foz	Alagamento
11/02/2013	Portal da cidade	
13/01/2014	Portal da cidade	Enxurrada
17/11/2015	Click Foz	Alagamento
17/11/2015	Portal da cidade	Alagamento
13/05/2017	Portal da cidade	
26/10/2018	Click Foz	Alagamento
26/10/2018	Foz Cultura	Alagamento
27/10/2018	Gdia	
17/01/2019	Portal da cidade	
29/01/2019	Portal da cidade	
02/02/2019	Gdia	Alagamento
02/02/2019	Click Foz	Alagamento
19/02/2019	Portal da cidade	
20/02/2019	Gdia	
18/03/2019	Gdia	

Fonte: A autora, 2020

Além da pesquisa e leitura das notícias, consultou-se o banco de dados de chamados de emergências da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil (CEDEC) e emitiu-

se um relatório da cidade de Foz do Iguaçu dos últimos nove (9) anos (2010-2019). As datas que foram destacadas em amarelo na tabela acima são as que coincidem com atendimentos feitos pelo órgão. No entanto, neste relatório não são informados os locais exatos dos chamados, portanto não necessariamente foram ocorrências para a região da Avenida Juscelino Kubitschek, mesmo que em algumas das reportagens lidas houvesse a menção de atendimentos pontuais do órgão na região.

Considerando o explicitado acima, para o primeiro critério, foi adotado para os quatro (4) pontos **o parâmetro C2**, pois o local não se trata de uma planície fluvial (C1) e os eventos não possuíram características de alta capacidade de transporte de materiais sólidos (C3). Segundo o manual do Ministério das Cidades, estes fenômenos são muito recorrentes em terrenos montanhosos e fortemente acidentados (BRASIL, 2007), característica esta não condizente com a realidade da cidade.

Para a análise do segundo critério, foi realizada a análise da vulnerabilidade das ocupações urbanas com relação aos fenômenos hidrológicos. Como foi explicitado no item 4.2.2 *Condições De Uso E Ocupação Do Solo*, as áreas ao redor dos pontos críticos (e na região de influência da microbacia fictícia como um todo), as construções são em alvenaria e possuem estruturas robustas sendo, portanto, **o parâmetro V2** o escolhido. Isto é, as construções nas regiões dos pontos críticos possuem boa capacidade de resistir ao impacto dos processos hidrológicos que venham a ocorrer.

Para o terceiro critério, foi levada em consideração a distância das moradias com relação ao eixo de drenagem. Como explicitado tanto no item 4.1.3.1 *Uso e ocupação da microbacia fictícia* quanto no item 4.2.2 *Condições De Uso E Ocupação Do Solo*, a região é predominantemente formada por pequenos, médios e grandes comércios, sendo as áreas residenciais afastadas de forma considerável do eixo principal de análise: a Avenida JK. Portanto, para os quatro (4) pontos, foi considerado **o parâmetro P2**: baixa periculosidade de impacto direto.

O resultado para o nível de risco dos pontos críticos, segundo a classificação do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) e apresentado na Figura 7, é de **Cenários de Baixo Risco**.

Cabe destacar, que todo este processo de classificação pela metodologia do Ministério das Cidades, só foi realizado porque a própria Prefeitura Municipal, em seu Plano de Saneamento Básico (PMFI, 2019), assim o fez e, ao classificar os pontos, indicou que além de possuir um risco baixo, ainda possuem **baixa recorrência de incidentes**, não sendo registrada **nenhuma ocorrência** nos últimos cinco (5) anos analisados (2014-2019),

fator este completamente contestável a partir da análise simples dos noticiários e chamados de atendimento da Defesa Civil do Estado, os quais apresentaram ao menos onze (11) eventos de alagamentos na região .

4.3.1 Discussões Acerca das Classificações

Após observar inconsistências sobre as classificações dos pontos críticos de drenagem no relatório apresentado pela Prefeitura Municipal, decidiu-se comparar as classificações obtidas tanto no âmbito do Ministério das Cidades quanto no da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, elencadas na Tabela 8; desta forma obteve-se o seguinte cenário representado na Tabela 10.

Tabela 10. Comparação de classificações dos Pontos Críticos

ID	Trecho	Situação (PMFI, 2019)	Nível de risco (BRASIL, 2007)
1	Rua José de Alencar, trecho entre a Av. JK e a Rua Cândido Portinari	Crítico	Baixo
2	Cruzamento entre Av. JK e a Av. Carlos Gomes	Crítico	Baixo
3	Cruzamento entre Av. JK e a Rua David Muffato	Sem classificação	Baixo
4	Cruzamento entre Av. JK e a Rua Eng. Rebouças	Médio	Baixo

Fonte: A autora, 2020

De acordo com a tabela acima e, levando em consideração todo o processo de análise descrito até este ponto do trabalho, ressalta-se a necessidade de levar em consideração mais de (ou diversos, se possível) métodos de análise e classificação. Num âmbito de tomada de decisões de políticas públicas, ou de destinação de verbas para obras de infraestrutura urbana, devem ser levadas em consideração diversas condições e análises distintas como, por exemplo, recorrência e intensidades dos eventos de alagamentos, perdas de vidas e danos materiais para a sociedade, as condições de limpeza e manutenção da rede como um todo, compatibilidade de redes de esgotamento com a pluvial, suficiência/eficiência da rede, etc.

Para Tucci (2012), a gestão das ditas águas urbanas é um processo integrado entre diversas esferas, que resvalam não somente na Prefeitura, mas também nas concessionárias de esgotamento e/ou água tratada, nas legislações aprovadas nas câmaras de vereadores e até mesmo na própria sociedade que utiliza os meios urbanos.

Observando a Tabela 10, é possível identificar que o processo de tomada de decisão de ações públicas é complexo e deve ser feito a partir de análises criteriosas e

tecnicamente coerentes. O Poder Público deve, sempre que possível, levar em consideração diferentes análises de risco, sendo a ordem de prioridades de ações constantemente analisada, pois diversos fatores podem levar um local a ser crítico, desde sua importância para a mobilidade da cidade, até as condições de moradia no entorno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se compreender e analisar as condicionantes dos fenômenos de alagamento da Avenida Juscelino Kubitschek em Foz do Iguaçu – PR. Para isto, foram estabelecidos objetivos específicos que foram devidamente cumpridos, sendo ao fim desta pesquisa ressaltadas as seguintes considerações:

- A partir da caracterização das condicionantes altimétricas notou-se que a região de estudo possui suscetibilidade em alguns locais dadas as declividades e caminhos preferenciais de escoamento das águas no relevo;
- Analisando a relação de urbanização das microbacias estudadas, verificou-se uma propensão a alagamentos considerável, dada a taxa de impermeabilização local (cerca de 50%);
- Ao avaliar os pontos críticos de drenagem observou-se uma relação direta entre as condicionantes altimétricas, a taxa de impermeabilização e a situação da rede atual com os fenômenos cada vez mais recorrentes de alagamentos na região de estudo (6 eventos no ano de 2019);
- Classificar áreas de risco e de criticidade é uma tarefa complexa e que envolve diversas variáveis e condicionantes, por essa razão estudos como este desenvolvido são tão importantes;
- O desenvolvimento de políticas públicas eficazes, que envolvam não somente a legislação, mas também a fiscalização, atuação e constante trabalho sobre as problemáticas (além de uma eficiente distribuição de verbas) só é possível a partir da análise e planejamento de ações que garantam a manutenibilidade e operação eficiente da cidade, o que, por sua vez, só é viável se estudos coordenados e bem fundamentados tecnicamente forem desenvolvidos com responsabilidade;
- O *software* QGis® se mostrou um bom programa para a realização dos estudos desenvolvidos neste trabalho. Por ser um programa de código livre, se mostra uma potencial ferramenta para utilização pelas Prefeituras, as quais normalmente trabalham sob orçamentos enxutos.

De modo geral, considerando que este trabalho foi desenvolvido sob a lógica de uma pesquisa exploratória, este cumpriu com seus objetivos e características, se mostrando assim um importante passo na construção de conhecimentos especializados da área de interesse para a região de Foz do Iguaçu.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Algumas limitações foram identificadas no decorrer da presente pesquisa, as quais poderão ser melhor exploradas futuramente, a saber:

- A baixa resolução espectral das imagens do satélite CBERS corroborou para a confusão espectral do algoritmo de classificação, sendo necessários tratamentos e possíveis correções nas imagens e classificações geradas;
- Foi utilizada uma imagem de altimetria com resolução de 30 m, sendo que a área de análise requeria uma melhor resolução, dadas as condições de análise tão específicas e pontuais. Para sanar tal problemática, uma das opções seria gerar informações interpoladas, por exemplo, ou buscar outros bancos de dados com possíveis imagens de melhor resolução;
- Durante o estudo não foram avaliadas todas as características morfométricas das microbacias elencadas. A ausência destes dados não afetou de forma direta nos resultados obtidos, embora tenha deixado o estudo com uma lacuna clara, que precisará ser preenchida em pesquisas futuras;
- Deparou-se com uma grande dificuldade em obter informações sobre características intrínsecas à rede de drenagem. Não estão disponíveis facilmente dados como diâmetro das tubulações, localização, inclinação, material, etc. Tais informações poderiam ter sido solicitadas para a Prefeitura (ou investigadas *in loco*). No entanto, dadas as condições de pandemia, todo o processo se mostrou extremamente complexo e burocrático, embora fossem interessantes para o estudo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como é de se esperar deste tipo de pesquisa (exploratória), diversos são os apontamentos de futuros trabalhos possíveis. Abaixo estão elencados alguns deles:

- Realizar uma classificação mais detalhada das bacias com relação ao uso e ocupação do solo, melhorando a acurácia dos mapas, fazendo correções nas imagens, indo a campo para coletar informações bacia por bacia, testando classificações automáticas (ou invés de semiautomáticas), utilizando outras imagens do próprio CBERS ou de outros satélites para a classificação etc.;
- Calcular índices de escoamento e infiltração do solo e fazer o balanço hídrico das microbacias, de modo a compreender como se comporta o ciclo hidrológico nas atuais condições de urbanização da bacia (sugere-se fazer um estudo histórico e outro de previsão, isto é, um verificando como o processo de urbanização interferiu nos anos no ciclo e outro prevendo o que acontecerá no ciclo se o processo se intensificar);
- Estudar soluções estruturais e não estruturais para os Pontos Críticos, de modo a os retirarem deste *status*, visando propor soluções alternativas que não as clássicas de apenas aumentar os diâmetros e extensão das redes, uma vez que esta solução apenas transfere o problema para a jusante da área alagada;
- Realizar simulações computacionais do comportamento das bacias perante os eventos de chuva extrema, gerando assim mapas de inundações/alagamentos mais completos e robustos.

Por fim, no decorrer do trabalho, me deparei com a seguinte pergunta, a qual após um bom tempo de pesquisa não obtive respostas: Existe algum parâmetro de **suficiência** de uma rede de drenagem urbana? Isto é, um parâmetro ou critério que ao ser aplicado retorne informações como “sim, esta rede de drenagem possui um tamanho considerável e adequado às condições da cidade” ou então “não, esta rede não é suficiente para esta cidade. É necessário estendê-la, ampliá-la”. Estes pensamentos vieram à minha mente quando me questionei, gerando a seguinte hipótese: “A rede de drenagem de Foz

aparenta ser **ineficiente**, ultrapassada, com diversos pontos críticos com problemas. Mas será que ela é SUFICIENTE? Como posso descobrir isso?”. Não cheguei a uma conclusão sobre, então acredito que seria uma opção de pesquisa futura sobre a temática.

REFERÊNCIAS

- ANA. Base Hidrográfica Ottocodificada da bacia do Rio Paraná 1:50.000/1:100.000. **Metadados ANA**, Brasília, 2017. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 16 Setembro 2020.
- ANTONELLI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista - Guamiranga - PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia - MG, v. 08, n. 21, p. 46-58, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15570>>. Acesso em: 25 Novembro 2020.
- BARBOSA, I. M. B. R. **Tecnologia em Gestão Ambiental: Sensoriamento Remoto Aplicado ao Meio Ambiente**. Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, 2010. 113 p.
- BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. [S.l.]. 2007.
- CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a11v30n2.pdf>>. Acesso em: 25 Novembro 2020.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Apostila Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH - UFRGS, 2010.
- DEMORI, B. S. S.; MENDONÇA, R. M. G. Relação da impermeabilização com o uso e ocupação da sub-bacia do córrego Machado em Palmas-TO. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFG/REJ**, Jataí - GO, n. 33, p. 143-161, 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/55256/35491>>. Acesso em: 24 Novembro 2020.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2018. 355 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 17 Novembro 2020.
- EPIPHANIO, J. C. N. **Capítulo 2: Satélites de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.34/doc/CAP2_JCNEpiphanio.pdf>. Acesso em: 17 Outubro 2020.
- FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE. 2007. p. 5755-5762.
- GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SHIRINIVASAN, V. S. Análise do relevo da bacia

hidrográfica do açude Epitáfio Pessoa. **Revista de Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE**, v. 23, n. 1, p. 54-69, 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228652>>. Acesso em: 18 Novembro 2020.

GAROFALO, D. F. T.; LIESENBERG, V. Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. João Pessoa - PB: [s.n.]. 2015. p. 2867-2875.

IBGE. Glossário. **Atlas de Saneamento**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_glossario equipetec.pdf>. Acesso em: 15 Outubro 2020.

IBGE. **Malha de Setores Censitários**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 17 Outubro 2020.

IBGE. Conceitos Gerais - O que é a Cartografia - Sensoriamento Remoto. **Atlas Escolar**, 2020a. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sensoriamento-remoto.html>>. Acesso em: 17 Outubro 2020.

IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2016 - 2018**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020b. 26 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101703>>. Acesso em: 07 Outubro 2020.

IBGE. Panorama. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2020c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama>>. Acesso em: 19 Outubro 2020.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective**. 4. ed. Carolina do Sul – EUA. Person Education, 2015. 659 p.

JÚNIOR, J. M. C.; NETO, F. C. R.; ANDRADE, J. S. C. O. **Topografia - Geral**. Recife: EDUFRPE, 2014.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MACEDO, F. F.; VIEIRA, F. H.; FURIGO, R. F. R. Indicadores de manutenção do sistema de drenagem urbana em Mogi Mirim. **FOCO: Caderno de estudos e pesquisas**, 2018. 59-78. Disponível em: <<http://revistafoco.inf.br/index.php/FocoFimi/article/view/113>>. Acesso em: 26 Novembro 2020.

MASTELLA, A. F. M. **Avaliação da acurácia temática para classificação de imagens de satélite: Estudo de caso no município de Nova Veneza/SC**. Monografia apresentada ao curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa

Catarina. Florianópolis, p. 92. 2017.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Capítulo 12 - Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq - UnB, 2012. p. 276. Disponível em: <<http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 29 Novembro 2020.

MOUTINHO, V. M. **Avaliação e reabilitação de redes de micro-drenagem**. Trabalho Final de Graduação - POLI/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 161. 2011.

PMFI. **Plano Municipal de Saneamento Básico - Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Foz do Iguaçu, p. 622. 2019.

QGIS. **Documentação do QGIS 2.14**, Abril 2009. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.14/pt_BR/docs/index.html#>. Acesso em: 16 Outubro 2020.

SANTOS, A. B.; PETRONZIO, J. A. C. **Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Curitiba: [s.n.]. 2011.

SILVA, N. R.; MENDES, P. C. O Geoprocessamento na identificação dos pontos de alagamentos e inundações na área urbana de Uberlândia - MG no período de 2011 a 2016. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences ans Humanities research medium**, Indaiatuba, v. 9, n. 1, p. 119-136, 2018.

SILVA, P. R. F. Desenvolvimento regional e integração fronteiriça na Amazônia Setentrional: uma busca de refletir o estado de Roraima. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió - AL, 2, Dezembro 2017. 13-22. Disponível em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/6319>>. Acesso em: 26 Novembro 2020.

SMPCR. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado Sustentável**. Secretaria Municipal de Planejamento e Captação de Recursos. Foz do Iguaçu. 2016.

SOUZA, J. A. C. **Acurácia das métricas de validação da classificação de imagens**. Belo Horizonte: (Dissertação de Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFMG, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/33328/2/Dissertacao_AcuraciasDasMetricasDeValdiacao.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SOUZA, T. M. F.; GODOY, V. L.; LAMBERTI, E. As fronteiras territoriais e sociais das cidades-gêmeas de Ponta Porã (BR) e Pedro Juan Caballero (PY): A comercialização do espaço urbano fronteiriço. **Revista Desenvolvimento, Fronteiras e Cidadania**, 4, n. 5, Fevereiro 2020. 145-168. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/fronteriacidadania/article/view/2943>>. Acesso em: 26 Novembro 2020.

TISSIANO, G. M. Início e Dinâmica da Aglomeração Urbana de Fronteira: Foz do Iguaçu, Ciudad del Leste e Puerto Iguazú. **Anais do I Simpósio Nacional de Geografia e**

Gestão Territorial e XXXIV Semana de Geografia da Universidade Estadual de Londrina. Londrina: [s.n.]. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 4, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana:** Textos para discussão da CEPAL - IPEA. Brasília: CEPAL - IPEA, 2012. 50 p.

VILLELA, M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA., 1975.

WEBBER, M. A. Fluxos do saber: migração brasileira para estudo na tríplice fronteira. **Anais do IX Semana de Antropologia e Arqueologia, III Seminário de Etnologia e Museus e V Semana de oficinas em arqueologia.** Curitiba - PR: UTFPR. 2017.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento: Conceitos e Definições. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF,** Juiz de Fora, 7, n. 2, 2017. 195-201.

APÊNDICES

APÊNDICE A – NOTÍCAS SOBRE ALAGAMENTOS DA AV. JK

Data	Jornal	Link
23/03/2010	Click Foz	https://www.clickfozdoiguacu.com.br/chuva-intensa-em-foz-do-iguacu-provoca-alagamento-em-varios-pontos-4820/
23/03/2010	Click Foz	https://www.clickfozdoiguacu.com.br/chuva-e-vento-forte-provocaram-acidentes-em-foz-do-iguacu-4824/
11/02/2013	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/chuva-forte-provoca-alagamento-nas-ruas-de-foz-do-iguacu
13/01/2014	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/chuva-forte-deixa-carros-ilhados-em-ruas-de-foz-do-iguacu
17/11/2015	Click Foz	https://www.clickfozdoiguacu.com.br/defesa-civil-atende-familias-atingidas-pela-chuva-em-foz/
17/11/2015	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cultura/chuva-causa-alagamentos-e-deixa-doze-desabrigados-em-foz-do-iguacu
13/05/2017	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cultura/temporal-causa-alagamentos-e-estragos-show-e-cancelado
26/10/2018	Click Foz	https://www.clickfozdoiguacu.com.br/chuva-forte-causa-alagamentos-em-varios-pontos-de-foz-do-iguacu/
26/10/2018	Foz Cultura	https://www.radioculturafoz.com.br/2018/10/26/chuva-causa-alagamentos-em-foz-do-iguacu/
27/10/2018	Gdia	https://gdia.com.br/noticia/excesso-de-chuva-causa-alagamentos-em-varias-partes-foz
17/01/2019	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/temporal-derruba-arvores-e-causa-alagamentos-no-centro-de-foz-do-iguacu
29/01/2019	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/chuva-deixa-avenida-jk-alagada-e-transito-caotico
02/02/2019	Gdia	https://gdia.com.br/noticia/temporal-causou-alagamentos-e-deixou-moradores-desabrigados
02/02/2019	Click Foz	https://www.clickfozdoiguacu.com.br/defesa-civil-atua-para-minimizar-danos-causados-pela-chuva-em-foz/
19/02/2019	Portal da cidade	https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/temporal-destelha-casas-derruba-arvores-e-causa-alagamentos-em-foz-do-iguacu
20/02/2019	Gdia	https://gdia.com.br/noticia/venda-aval-volta-provocar-prejuizo-e-transtornos-em-foz-do-iguacu
18/03/2019	Gdia	https://gdia.com.br/noticia/choveu-forte-e-as-ruas-de-foz-ficaram-alagadas