

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MATEUS DO NASCIMENTO GALLO

**MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO
CÓRREGO SÃO PEDRO, SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP**

Ilha Solteira

2024

MATEUS DO NASCIMENTO GALLO

**MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO
CÓRREGO SÃO PEDRO, SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Cesar Gustavo da Rocha Lima
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G172m Gallo, Mateus do Nascimento.
Morfometria e uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego São Pedro,
São José do Rio preto - SP / Mateus do Nascimento Gallo. -- Ilha Solteira: [s.n.],
2024
70 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: César Gustavo da Rocha Lima

Inclui bibliografia

1. Sistemas de informações geográficos. 2. Enchente. 3. Drenagem. 4.
Urbanização. 5. Gestão ambiental.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: MATEUS DO NASCIMENTO GALLO

Título: **MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO Córrego São Pedro, São José do Rio Preto-SP**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. Breno Padovezi Rocha

UNESP – Campus de Ilha Solteira



M.a. Isadora Vitali Lobo

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC-FEIS/UNESP)

Ilha Solteira

08/11/2024

DEDICATÓRIA

Dedicado aos meus familiares, amigos, colegas de turma e docentes que auxiliaram e contribuíram de alguma forma com minha graduação; e para todos que acreditam que a Engenharia Civil possa ajudar na vida cotidiana e na construção de um mundo melhor e mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me capacitar com saúde, sabedoria e inteligência das quais me possibilitaram a dar continuidade nos estudos da graduação e aproximar dos meus sonhos. Agradeço a minha mãe e ao meu pai, por todo apoio, suporte financeiro e emocional, nos momentos mais difíceis vocês nunca deixaram de acreditar em mim, por isso minha eterna gratidão por sempre depositarem a sua confiança e estarem presentes na minha vida, nada disso seria possível sem vocês. Ao meu irmão, que me inspira na profissão de Engenheiro Civil, sou muito grato por nossas conversas, risadas e conselhos, nossa conexão vai muito além do que a gente imagina.

Aos amigos que conheci durante a faculdade, minha gratidão por estarem nessa jornada comigo, foram essenciais, tanto nos instantes de estudos, como nos momentos de descontração e diversão. Aos amigos da minha cidade natal, São José do Rio Preto, sou grato pela experiência de vida adquirida e crescimento profissional, e, igualmente, pelo apoio, torcida e compreensão por eu estar distante durante esse tempo na universidade.

Um agradecimento especial aos professores, que nos proporcionaram o aprendizado e as práticas sobre a engenharia. Igualmente, agradeço ao meu orientador, Prof. Cesar Gustavo da Rocha Lima, pelas aulas ministradas, pelos conhecimentos transmitidos e pelo auxílio e atenção, sua dedicação, disponibilidade e valiosas contribuições foram essenciais para a realização deste trabalho. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e me guiar com tanta sabedoria durante essa jornada acadêmica.

“Há um grande desejo em mim de sempre melhorar.
Melhorar. É o que me faz feliz.” Ayrton Senna.

RESUMO

Um dos principais desafios enfrentados pelas cidades hoje, independentemente de seu tamanho, está relacionado ao planejamento urbano. Portanto, o processo de urbanização consciente deve envolver análises detalhadas da área em questão, sendo comum o uso de softwares de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) para o processamento e visualização dos dados dessa região. Com base no levantamento de conhecimentos específicos, esta pesquisa teve como intuito examinar a microbacia do córrego São Pedro, localizado no município de São José do Rio Preto, no interior do estado de São Paulo, por intermédio do acompanhamento do uso e ocupação do solo da área e de parâmetros morfométricos. Para a caracterização da morfometria, utilizou-se parâmetros morfométricos geométricos, de drenagem e relevo, dessa forma, foram encontrados os valores da área e perímetro da bacia e seu comprimento, e, por meio disso, os coeficientes relevantes para a análise. Cada etapa do procedimento foi realizada no ambiente SIG utilizando o software SPRING, onde todos os dados foram adicionados a um banco de dados. Os resultados apresentaram que a bacia é pouco suscetível a enchentes, com a tendência a circularidade, baixa capacidade de geração de novos cursos, drenagem pouco desenvolvida e elevada área para a conservação da bacia. Quanto ao uso e cobertura da terra, foi constatado um domínio da área urbana e da área de solo exposto correspondente a 74,42% da área da microbacia, embora em sua área de preservação essa superioridade não se prevalece devido ao predomínio da vegetação com aproximadamente 90%. Entretanto, por mais que a bacia não está sujeita a inundações, a urbanização nos últimos anos no entorno do córrego representa possíveis problemas futuros, reforçando um planejamento inteligente em conjunto com a gestão ambiental para que aconteça as medidas preventivas necessárias.

Palavras-chave: Sistemas de Informações Geográficas; Enchente; Drenagem; Urbanização; Gestão Ambiental.

ABSTRACT

One of the key challenges faced by cities nowadays, regardless of their size, concerns urban planning. Hence, the necessity on the processes of conscious urbanization of employing detailed analysis of the area, being common the use of GIS (Geographical Information Systems) softwares intending on processing and providing visualization of regional data. Considering specific knowledge, this research aims to examine the watershed of the São Pedro stream, located in the city of São José do Rio Preto, countryside of São Paulo state, employing methods of monitoring the use and occupation of the soil and of morphometric parameters. To characterize the morphometry were considered geometrical morphometric parameters of draining and landform, in this sense, the measurements of area and perimeter of the watershed and its length, and through that, the relevant coefficients for the assessment. All the steps of the procedure were done using the SPRING software, within GIS environment, where all the data was added to a database. The results show that the watershed is unlikely to suffer floods, with a circular tendency, low capability of new course generation, underdeveloped draining and high area for the watershed conservation. Concerning the use and coverage of the soil, it was found that urban area and exposed soil are 74,42% of the watershed area, however, when considering only the preservation site, this superiority does not remain, being more predominant vegetation, with about 90%. It is important to notice that, despite the low susceptibility to flooding, urbanization in the last years around the watershed may represent future problems. Thus, the necessity of a smart planning along with an environmental management seeking the advancement of the necessary prevention measures.

Keywords: Geographical Information Systems, Flooding, Draining, Urbanization, Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferença entre inundação, enchente e alagamento.....	23
Figura 2 - Exemplos de Bacias para representação do Fator Forma	26
Figura 3 - Hierarquização de canais segundo Strahler.	32
Figura 4 - Carta da localização da microbacia do córrego São Pedro	38
Figura 5 - Carta topográfica da região de estudo	42
Figura 6 - Ordem dos canais da bacia do estudo.....	43
Figura 7 - Perfil longitudinal do canal principal.....	44
Figura 8 - Perfil longitudinal em 3D do canal principal	45
Figura 9 - Carta da declividade na microbacia do córrego São Pedro	49
Figura 10 - Carta da altimetria da microbacia do córrego São Pedro.....	51
Figura 11 - Classificação do uso e ocupação do solo da bacia em 2023.....	52
Figura 12 - Uso e ocupação do solo percentual da microbacia em 2023.....	53
Figura 13 - Classificação do uso e ocupação do solo da APP em 2023.	54
Figura 14 - Uso e ocupação do solo percentual da APP da microbacia em 2023.....	55
Figura 15 - Crescimento da população da cidade de São José do Rio Preto	56
Figura 16 - Microbacia do córrego São Pedro em 2004 e 2024	57
Figura 17 - Composição econômica em São José do Rio Preto	58
Figura 18 - Evolução urbana de São José do Rio Preto – 1980-2000	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa de classificação do Kc da bacia	25
Tabela 2 – Faixa de classificação do Kf da bacia	26
Tabela 3 – Faixa de classificação do Ic da bacia	27
Tabela 4 – Faixa de classificação do Is da bacia	28
Tabela 5 – Faixa de classificação da Dd da bacia.....	29
Tabela 6 – Faixa de classificação da Rr da bacia.....	30
Tabela 7 – Faixa de classificação da Dh da bacia.....	30
Tabela 8 – Chave de interpretação	40
Tabela 9 – Dados físicos da bacia.....	44
Tabela 10 – Parâmetros morfométricos da bacia do córrego São Pedro.	45
Tabela 11 – Classificação de declividades	49
Tabela 12 – Distribuição das áreas por classe de declividade	50
Tabela 13 – Distribuição das áreas por classe de altimetria.....	51
Tabela 14 – Análise quantitativa do uso e ocupação da bacia.....	53
Tabela 15 – Uso e ocupação do solo percentual da APP do córrego São Pedro..	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 HIDROLOGIA E ESTUDOS DOS RECURSO HÍDRICOS.....	17
3.1.1 Relação entre urbanização e recursos hídricos.....	17
3.1.2 Bacia Hidrográfica	18
3.1.3 Urbanização e impermeabilização do solo	20
3.1.4 Influência da ocupação do solo nos recursos hídricos	20
3.1.5 Alagamentos.....	21
3.1.6 Enchentes.....	22
3.1.7 Inundações	22
3.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	23
3.2.1 Coeficiente de compacidade.....	24
3.2.2 Fator de forma.....	25
3.2.3 Índice de circularidade	26
3.2.4 Índice de sinuosidade.....	27
3.2.5 Densidade de drenagem.....	28
3.2.6 Coeficiente de manutenção.....	29
3.2.7 Razão do relevo.....	29
3.2.8 Densidade hidrográfica	30
3.2.9 Gradiente de canais	32
3.2.10 Índice de rugosidade	33

3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGS)	33
3.3.1 Sensoriamento Remoto	35
3.3.2 Estudos Correlatos	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.2 PROCESSAMENTO DE DADOS.....	38
4.3 CLASSIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO	39
4.4 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 DETERMINAÇÃO DA BACIA.....	42
5.2 ORDENAÇÃO DE CANAIS.....	42
5.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO CÓRREGO SÃO PEDRO	43
5.4 DECLIVIDADE	48
5.5 ALTIMETRIA	50
5.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios das civilizações, o desenvolvimento urbano se delimitou através da proximidade com as bacias hidrográficas pela quantidade de recursos que são oferecidos pela própria. Essa dinâmica ocorre através da permanente conversão do uso do solo e do consumo de recursos naturais, em um processo onde se alteram a cidade e a paisagem natural de modo sincrônico (Jenks e Burgess, 2000). Dessa maneira, há aumento do movimento de águas superficiais, além de diminuição da recarga dos aquíferos.

A degradação das bacias hidrográficas ocorre devido a diversos fatores como: desmatamento, urbanização, obras de terraplenagem, mineração, dentre outros (Dias e Griffith, 1998). Entretanto, quando o ritmo de crescimento não for acompanhado de um planejamento urbano eficiente, como é o caso em diversas cidades do Brasil, as adversidades podem ser ainda mais prejudiciais ao meio ambiente, em particular sobre as drenagens desses cursos d'água e igualmente para o uso e ocupação do solo, elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e à vida humana.

Para o estudo desses impactos, os sistemas de geoprocessamento representam uma categoria especializada de tecnologias que integram dados espaciais e informações geográficas, permitindo a análise, interpretação e visualização de dados relacionados a locais específicos na superfície terrestre. Sua aplicação nos estudos de bacias hidrográficas facilita muito na caracterização física ambiental, possibilitando desenvolver a análise morfométrica de modo prático e muito ágil.

Compreender as inter-relações entre morfometria e uso do solo é fundamental para orientar políticas públicas, planejamento urbano e conservação ambiental. Assim, com a consideração desses fatores, juntamente com os estudos geomorfológicos, a análise quantitativa será concluída, possibilitando avaliar a gravidade dos impactos nas áreas analisadas para qualquer bacia hidrográfica em estudo.

A relevância desta investigação está na contribuição para o desenvolvimento de estratégias eficazes de planejamento territorial, gestão de recursos naturais e mitigação de impactos ambientais. Além disso, a compreensão aprofundada dessas relações é crucial para enfrentar desafios contemporâneos, como as pressões sobre

os ecossistemas, as mudanças climáticas e a busca por soluções que promovam o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a preservação ambiental.

Diante do exposto, a finalidade deste trabalho é analisar a microbacia do córrego São Pedro, localizado em São José do Rio Preto, onde suas margens estão localizadas no bairro Bela Vista, por meio de métodos de geoprocessamento, bem como a definição das características morfométricas da microbacia. Devido à localização da área, próxima a área urbana, está ocorrendo o processo de expansão e crescimento da população. Seu estudo torna-se significativo ao observar as questões de gestão urbana, visto que a região segue em desenvolvimento, evidenciado pela existência de novos empreendimentos no local. Em breve a análise pode alertar para o futuro os possíveis indicadores de impacto e as consequentes alterações.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a dinâmica ambiental da bacia do córrego São Pedro por meio de parâmetros morfométricos e da verificação do uso e ocupação do solo da área.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar mapa de uso e cobertura da terra da microbacia;
- Aferir parâmetros morfométricos na microbacia para estudar a propensão de ocorrência de cheias e inundação nesta área;
- Empregar os dados obtidos para debater o crescimento da cidade e seu planejamento;
- Elaborar mapa de drenagem e caracterização física da bacia;
- Propor ações de gestão e planejamento da área em estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HIDROLOGIA E ESTUDO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A ligação entre os recursos provindos da água e as civilizações está fortemente atrelada na história da humanidade desde a antiguidade, a exemplo do Egito (bacia do Nilo) e da Mesopotâmia (região entre os rios Tigre e Eufrates). Atualmente, ainda se analisa os resquícios gerados por esses povos, visto que o crescimento das cidades está atrelado aos rios e seus afluentes com a construção de canais, diques e barragens responsáveis por evitar a destruição pelas cheias dos rios, igualmente demonstrando o domínio das águas a serem utilizadas no ramo agrícola.

Collisconn e Dornelles (2013) definem a hidrologia como a ciência que trata dos recursos hídricos no planeta Terra, baseada na sua ocorrência, circulação, distribuição espacial, propriedades físicas e químicas e sua relação com o ambiente, inclusive com os seres vivos.

Analogamente, as preocupações com o uso da água aumentam a cada dia, em virtude de a demanda de água crescer de maneira proporcional ao crescimento da população.

Nesse sentido, a Engenharia Hidrológica analisa as situações em que a água não é exatamente utilizada pelo ser humano, entretanto deve ser manejada adequadamente para reduzir os prejuízos em casos de inundações em centros urbanos ou pelas cheias dos grandes rios, e, também visa conscientizar a população para a tomada de decisões racionais, do mesmo modo que evidencia a importância da preservação dos recursos hídricos.

3.1.1 Relação entre urbanização e recursos hídricos

Segundo Bollmann (2003), a interação entre o homem e o ambiente ocorre pelo uso dos recursos naturais como fonte de matéria e energia necessárias para o desenvolvimento das funções vitais do ser humano e como receptor de seus resíduos.

À medida que as populações urbanas crescem e as áreas urbanas se expandem, as demandas por água potável, infraestrutura hídrica e desenvolvimento urbano sustentável aumentam. No entanto, essa expansão muitas vezes traz consigo desafios significativos para a gestão e conservação dos recursos hídricos. A preocupação da população em relação à gestão adequada dos recursos hídricos tem

aumentado com o passar dos anos devido à ocorrência de problemas relacionados à qualidade e quantidade de água disponível para o consumo humano. Nesse sentido, com o intuito de solucionar questões relacionadas à escassez e à qualidade dos recursos hídricos, têm sido desenvolvidas políticas para auxiliar no processo de gestão da água e a garantia deste recurso para as gerações futuras. (Miotto et al., 2014).

A urbanização está intimamente relacionada à poluição dos corpos d'água, influenciando diretamente na qualidade da água da bacia hidrográfica, visto que esta é dependente de como o solo é utilizado e também das condições naturais (Sperling, 2008). Segundo Tucci (2003), o comportamento hidrológico de uma bacia está relacionado com o uso e ocupação do solo da mesma, e devido à concentração urbana, vários conflitos e problemas são gerados no ambiente, tais como degradação ambiental dos mananciais, aumento do risco das áreas de abastecimento com a poluição orgânica e química, contaminação dos rios por esgotos doméstico, industrial e pluvial, geração de enchentes urbanas pela extensiva ocupação do espaço e pelo gerenciamento inadequado da drenagem urbana, insuficiência de coleta e disposição do lixo urbano.

Neste contexto, é necessário apresentar a importância do uso da bacia como unidade de planejamento ambiental. Albuquerque (2012) coloca que tendo a bacia como base principal do sistema de gestão é possível realizar a delimitação e reconhecimento do ambiente físico, a aplicação de legislação específica compatível a realidade local e a análise integrada que leva a possível coesão entre os grupos sociais e o aspecto físico local. Principalmente pelo fato de que as bacias acabam sofrendo com escassez, cheias e poluição, adversidades que afetam a sociedade de modo econômico, social e ambiental. Além disso, o estudo das bacias permite analisar os diversos impactos causados pelo homem, responsáveis pela deterioração do ambiente em questão (Teodoro et al, 2007; Callisto et al., 2001; Menezes et al., 2016).

3.1.2 Bacia Hidrográfica

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação. Ela é definida por um curso de água, um ponto ou seção transversal desse curso de água, nomeado por exutório, e por informações de relevo normalmente obtidas de um mapa topográfico, sendo possível identificar os

divisores de água. A bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento) (Collisconn e Dornelles, 2013).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (Lima, 1976). Assim, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficiais e subsuperficiais. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (Tonello, 2005).

Tucci (1993) destaca que uma bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde é composta por um sistema de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único, dessa forma, as vertentes são as fontes produtoras (como por exemplo: a água gerada pela precipitação, sedimentos pela erosão) e a rede de drenagem atua de forma transportadora (transporta o que é gerado da vertente pelos leitos dos rios), cumprindo o papel hidrológico de transformar a entrada de volume em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo.

O estudo da bacia hidrográfica permite examinar em detalhes a variação dos diferentes processos envolvidos nela, sendo possível compreender melhores as especificações e buscar sua representação matemática com base no registro das variáveis hidrológicas envolvidas. A utilização da bacia como unidade de estudo, para a gestão das distintas formas de atividade e uso das potencialidades ambientais, tem como finalidade projetar, interceder, executar e manusear as melhores formas de apropriação e exploração de seus recursos naturais (Bordallo, 1995). Como resultado, é possível alcançar o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, minimizar as perdas ambientais e de qualidade de vida.

3.1.3 Urbanização e impermeabilização do solo

O crescimento das cidades, na maioria das vezes, está relacionado à alteração de ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos, com o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água adjacentes aos canais de drenagem. Dessa maneira o balanço hídrico é afetado e as superfícies, que antes eram superfícies naturais, tornam-se impermeáveis e impedem a infiltração de água no solo, gerando o aumento do fluxo de águas superficiais e a redução da recarga dos aquíferos (Haughton e Hunter, 1994; Benini e Mediondo, 2015).

A urbanização de forma desordenada, sem planejamento de ocupação, impacta gravemente no ciclo hidrológico, por ocasionar alterações na drenagem, aumentando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos, conferindo riscos à saúde e à vida humana (Benini e Mediondo, 2015).

A relação entre urbanização e impermeabilização do solo está relacionada ao crescimento da área urbana, que frequentemente resulta na cobertura do solo por superfícies impermeáveis, incluindo estradas, calçadas, edifícios e estacionamentos. O meio ambiente e o ciclo hidrológico sofrem várias consequências devido a impermeabilização do solo. Algumas das principais consequências da interação desses dois fatores podem ser dadas pela infiltração reduzida, aumento do escoamento superficial e efeitos na biodiversidade.

3.1.4 Influência da ocupação do solo nos recursos hídricos

O processo de produção capitalista e a maneira de ocupar um determinado lugar da cidade estão vinculados ao uso e a ocupação do solo urbano. Além de instituições públicas, esses lugares concentram atividades comerciais, industriais e residenciais. Portanto, a função do solo pode variar de acordo com as atividades e equipamentos distribuídos no espaço urbano, sendo que o uso e ocupação deve ser estabelecido de acordo com essas características.

Além disso, a utilização do solo tem um impacto significativo na qualidade da água dentro de uma bacia, o que pode afetar quando atividades agrícolas, industriais e urbanas são realizadas de forma envolvente. O desmatamento, por exemplo, pode levar ao assoreamento dos rios e reservatórios, a impermeabilização do solo pode ser causada pela urbanização descontrolada (Guerra et al., 1995), e as atividades

agrícolas intensivas podem impactar a contaminação dos corpos hídricos por fertilizantes e agrotóxicos.

Assim, os manejos próximos às áreas urbanas merecem atenção específica devido à poluição difusa e ao lançamento de águas residuais de forma clandestina, que resultam na eliminação e na deficiência dos múltiplos usos da água (Lima et al., 2004). Desta forma, a disponibilidade de recursos hídricos é apenas um fator a ser levado em consideração a vista de que o aspecto qualitativo começou a ganhar nova dimensão na produção agrícola de consumo em natura (Moura et al., 2011).

De acordo com Porto (2008), os municípios devem ser incentivados a ter melhores planos diretores de uso e ocupação do solo, de modo a preservar várzeas e outras áreas sensíveis. Devem também ser incentivados a incorporar em seus códigos de edificação práticas que induzam ao uso racional da água e ao controle de impermeabilização nas construções e empreendimentos. Essa análise científica é aferida pela conformidade dos parâmetros morfométricos com o uso e ocupação do solo, indicando as eventuais intervenções humanas no local de estudo que podem gerar consequências e facilitar o agravamento de fenômenos naturais, como os alagamentos, enchentes e inundações, dessa maneira, ocasionando perdas econômicas e ambientais para a área.

3.1.5 Alagamentos

São os casos em que a água se acumula em infraestruturas urbanas por meio de problemas de desvio ou comprometimento do escoamento superficial estimulado pela topografia (Amaral e Ribeiro, 2009).

As análises de Grilo (1992) mostram que os alagamentos ocorrem, principalmente, em áreas planas ou com depressões e fundos de vales onde não existe um sistema pluvial no ambiente urbano.

Ainda, quanto menor a extensão de áreas verdes, menor a infiltração de água no solo, que alimenta os aquíferos suspensos, causando menor auxílio para o escoamento superficial, as quais poderiam atenuar as causas dos mesmos. (Teodoro e Nunes, 2007).

3.1.6 Enchentes

É definida quando o nível da água ultrapassa o leito maior, tomando conta do leito excepcional, com espaço ocupado pelas águas com frequência irregular, e com períodos não inferiores há um ano. (Christofolletti, 1980).

As enchentes são consideradas como fenômenos naturais, levando em conta chuvas de elevada magnitude periódicas nos leitos d'água. Nos grandes centros urbanos, elas podem ocorrer devido a chuvas intensas durante longos períodos de coleta ou a transbordamentos de cursos d'água causados por alterações do equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas; ou ainda, devidas à própria urbanização. (Pompêo, 2000)

As enchentes são divididas em dois tipos por Tucci (2001), enchentes devido à urbanização e enchentes em áreas ribeirinhas. A primeira é relatada por um aumento na frequência e na magnitude devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e redes de escoamento. As enchentes em áreas ribeirinhas são naturais, atingindo a população que ocupa o leito maior dos rios devido, principalmente, ao processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos extremos, em média com tempo de retorno da ordem de 2 anos.

3.1.7 Inundações

As inundações são causadas quando o nível elevado das águas ultrapassa a capacidade de escoamento das drenagens, extravasando-as e ocupando áreas normalmente não alagadas. (Giambastiani, 1996; Risso et al., 1994 apud Alheiros, 1998).

Pisani (2001) classifica as inundações como uma característica natural que acontece quando a capacidade de descarga do sistema hídrico é maior do que a vazão a ser escoada. Uma inundação em áreas utilizadas por atividades humanas, incompatíveis com a permanência da água, resulta em um desastre que causa graves danos socioeconômicos.

Em resumo, é possível observar a diferença entre esses 3 eventos (alagamento, enchente e inundação) conforme esboço apresentado na figura 1.

Figura 1 – Diferença entre inundação, enchente e alagamento



Fonte: SEMASA (2015)

Uma melhor visualização da variação no espaço dos elementos do regime hidrológico é possível por meio da análise morfométrica, realizada através das características físicas, de relevo e de drenagem da bacia.

3.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Em termos de planejamento, a morfometria fornece subsídios para reestruturações regionais, com o objetivo de apoiar a tomada de decisões em projetos que envolvam a utilização dos recursos monetários da região. Simultaneamente, a resposta hidrológica de uma microbacia hidrográfica também está relacionada às diversas aplicações do uso do solo, que serve como meio de avaliar o impacto ambiental e possibilitar ações de manejo mais eficazes (Menezes et al., 2014).

Dentre uma série de metodologias empregadas no estudo de bacias hidrográficas, a caracterização morfométrica é a mais usual, especialmente em avaliações envolvendo a vulnerabilidade ambiental. As variáveis morfométricas podem revelar indicadores físicos específicos para determinado local, de forma a caracterizar as alterações ambientais (Alves e Castro, 2003).

Qualificar uma área baseada nos aspectos morfométricos permite o conhecimento dos potenciais naturais existentes nela, de modo a facilitar a identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais,

interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem (Barbosa e Furrier, 2012). Desta forma, a análise permite conhecimentos acerca de possíveis enchentes, inundações e erodibilidade.

A análise morfométrica é realizada utilizando as características físicas, de relevo e de drenagem da bacia, dado que assim se torna possível uma melhor visualização da variação no espaço dos elementos do regime hidrológico. Foi utilizado os índices propostos por Christofolletti (1980).

De acordo com Christofolletti (1980), a análise morfométrica possibilita a caracterização dos aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, atuando como indicadores referentes à forma, arranjo estrutural e à relação com sua geomorfologia fluvial. Os índices propostos por Christofolletti (1980) fornecem características relativas à forma da bacia e aos componentes da rede hidrográfica.

Conforme Santos et al. (2014) os estudos morfométricos permitem avaliar e caracterizar as formas e as dinâmicas atuantes no relevo, que destas auxiliam o desenvolvimento de outros parâmetros ou indicadores que geralmente são utilizados em atividades de planejamento ambiental. Os parâmetros morfométricos descritos a seguir são responsáveis pela caracterização hidrológica e do relevo, colaborando na explicação da dinâmica pedológica, na gestão dos recursos hídricos, nos processos de uso e ocupação da terra, sobre as estruturas geológicas e nos distintos substratos vegetativos.

3.2.1 Coeficiente de compacidade

O Coeficiente de Compacidade (K_c) é um índice de forma relacionando o perímetro da bacia e a circunferência (perímetro) de um círculo de mesma área. Este coeficiente é um número adimensional, variando com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho, sendo que quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade (Villela e Mattos, 1975). Quanto mais próximo da unidade ($K=1$) for este coeficiente, mais a bacia se assemelha a um círculo, podendo ser resumido da seguinte forma:

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

Onde:

K_c = coeficiente de compacidade (adimensional);

P = perímetro da bacia (km);

A = área da bacia (km²).

Para os valores de K_c define-se que de 1,00 a 1,25 a bacia possui alta propensão a grandes enchentes; de 1,25 a 1,50 a bacia tende a ter de media a grandes enchentes; e o índice maior que 1,50 a bacia não está sujeita a grandes enchentes, de acordo com que está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Faixa de classificação do K_c da bacia

K_c	CLASSIFICAÇÃO
1,00 - 1,25	Alta propensão a enchentes na bacia
1,25 - 1,5	Média propensão a enchentes na bacia
>1,5	Bacia não propensa a enchentes

Fonte: Villela & Mattos, 1975.

3.2.2 Fator de forma

O fator de forma (K_f), relaciona a área da bacia com seu comprimento axial, sendo a distância medida ao longo do curso d'água desde a desembocadura até a cabeceira mais distante do divisor de água. O coeficiente é calculado através da seguinte fórmula:

$$K_f = \frac{A}{Lb^2} \quad [2]$$

Onde:

K_f = fator de forma (adimensional);

A = área da bacia (km²);

Lb = comprimento axial da bacia (km).

Pode-se classificar as bacias quanto ao coeficiente de forma em: alongada (0,02 a 0,50); intermediária (0,51 a 0,75) e forma circular (0,76 a 1,00), conforme a Tabela 2 proposta por Silva (2012).

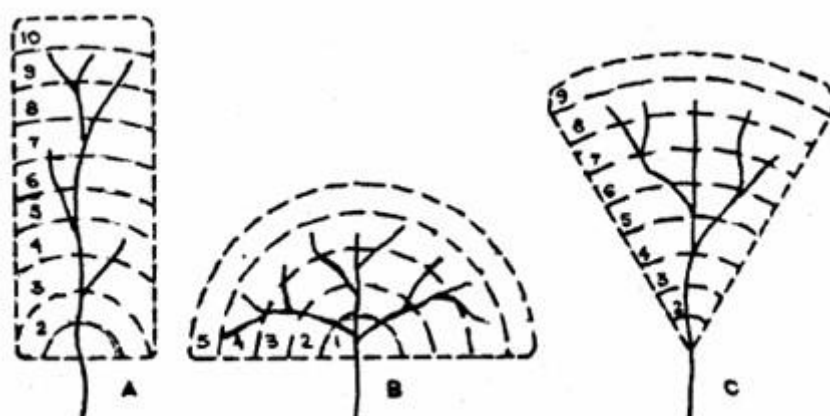
Tabela 2 – Faixa de classificação do Kf da bacia

Kf	CLASSIFICAÇÃO
0,02 - 0,50	Alongada
0,51 - 0,75	Intermediária
0,76 - 1,00	Circular

Fonte: Silva, 2012.

Esse coeficiente igualmente é utilizado para indicar tendência à enchentes, sendo que uma bacia com baixo fator de forma (valores inferiores a 0,50) tem menores chances de sofrer com enchentes, isso porque haverá menores possibilidades de ocorrer uma chuva intensa em toda a sua extensão, já que a bacia é longa e estreita (conforme a bacia A da Figura 2), e também devido à contribuição dos tributários (Villela E Mattos, 1975).

Figura 2 – Exemplos de Bacias para representação do Fator Forma



Fonte: Villela e Mattos (1975)

Nota-se que a Bacia A é alongada, com isso o risco de enchente é menor. Já as bacias B e C possuem uma área de influência maior em caso de uma precipitação considerável.

3.2.3 Índice de circularidade

O índice de circularidade (I_c), juntamente com os coeficientes acima, é um fator determinante da suscetibilidade a enchentes de uma bacia. Esse índice relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Dessa maneira, quanto mais próximo de 1, mais a bacia se aproximará de um formato circular

e mais provável essa bacia será de enfrentar enchentes. Para determinar o índice de circularidade foi utilizada a Equação:

$$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad [3]$$

Onde:

Ic = índice de circularidade (adimensional);

A = área da bacia (km²);

P = perímetro da bacia (km).

Com base nesse parâmetro, na Tabela 3 foram adotadas as categorias propostas por Silva (2012) para a classificação: alongada (0,36 a 0,50), intermediária (0,51 a 0,75) e circular (0,76 a 1,00).

Tabela 3 – Faixa de classificação do Ic da bacia

Ic	CLASSIFICAÇÃO
0,36 - 0,50	Alongada
0,51 - 0,75	Intermediária
0,76 - 1,00	Circular

Fonte: Silva, 2012.

3.2.4 Índice de sinuosidade

Para determinar o índice de sinuosidade (Is), deve-se relacionar o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal (comprimento em linha reta). Esse índice torna possível a análise da velocidade do escoamento, sendo que quanto maior o Is, maior será quantidade de curvas e, assim, menor será a velocidade (Villela e Mattos, 1975). O índice de sinuosidade é estabelecido através da seguinte equação:

$$Is = \frac{Lc}{Lv} \quad [4]$$

Onde:

Is = índice de sinuosidade (adimensional);

Lc = comprimento do canal principal (km);

Lv = distância vetorial do canal principal (km).

Podemos classificar os canais, de acordo com Dury (1969, apud Christofolletti, 1980) exposto na Tabela 4, em relação ao índice de sinuosidade, como: meandantes, que são aqueles que possuem índice igual ou superior a 1,5, ou retos, que são aqueles que tem o índice menor que 1,5.

Tabela 4 – Faixa de classificação do Is da bacia

Is	CLASSIFICAÇÃO
$\geq 1,5$	Meandrante
$< 1,5$	Reto

Fonte: Dury, 1969

3.2.5 Densidade de drenagem

O índice de densidade de drenagem (Dd) associa-se com o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia com sua área. Esse índice é um bom indicador do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. Além disso, ele varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, possibilitando uma análise da eficiência da drenagem da bacia, de modo que quanto maior a densidade de drenagem, mais rápido o escoamento superficial chega ao exutório, podendo gerar altos picos de vazão e assim possibilitar enchentes. Dessa forma, a densidade de drenagem pode ser obtida da seguinte forma:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad [5]$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem (km/km²);

L = comprimento total dos canais (km);

A = área da bacia (km²).

De acordo com Silva (2012) indicado na Tabela 5, a densidade de drenagem de uma bacia pode ser classificada como: de 0,59 a 0,98 – muito baixa; de 0,99 a 1,36 – baixa; de 1,37 a 1,75 – média; de 1,76 a 2,14 – alta; e de 2,15 a 2,53 – muito alta.

Tabela 5 – Faixa de classificação da Dd da bacia

Dd	CLASSIFICAÇÃO
0,59 - 0,98	Muito baixa
0,99 - 1,36	Baixa
1,37 - 1,75	Média
1,76 - 2,14	Alta
2,15 - 2,53	Muito alta

Fonte: Silva, 2012

3.2.6 Coeficiente de manutenção

Por meio da densidade de drenagem, pode-se calcular o coeficiente de manutenção (Cm), que fornece a área mínima necessária para manutenção de um metro de canal de curso fluvial perene (Schumm, 1956). O coeficiente de manutenção é calculado através da fórmula:

$$Cm = \frac{1}{Dd} * 1000 \quad [6]$$

Onde:

Cm = coeficiente de manutenção (m²/m);

Dd = densidade de drenagem (km/km²)

3.2.7 Razão do relevo

A razão do relevo (Rr), relaciona o comprimento do canal principal com a amplitude altimétrica da bacia, tornando possível a análise da declividade da mesma, já que quanto maior o valor de Rr, maior o desnível entre exutório e cabeceira (Schumm, 1956). Para obter a relação do relevo, é utilizada a seguinte equação:

$$Rr = \frac{Hm}{Lb * 1000} \quad [7]$$

Onde:

Rr = razão do relevo (m/m);

Hm = amplitude altimétrica da bacia (m);

Lb = comprimento axial da bacia (km).

De acordo com Piedade (1980), a razão de relevo pode ser classificada em: baixa (0,00-0,10); média (0,11- 0,30) e alta (0,31 – 0,60), conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Faixa de classificação da Rr da bacia

Rr	CLASSIFICAÇÃO
0,00 - 0,10	Baixa
0,11 - 0,30	Média
0,31 - 0,60	Alta

Fonte: Piedade, 1980

3.2.8 Densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia. Este índice expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'águas (Christofolletti, 1969). Através da equação [8] se determina a densidade hidrográfica:

$$Dh = \frac{N_t}{A} \quad [8]$$

Em que:

Dh = Densidade hidrográfica (nº canais/km²);

Nt = Número de rios ou canais (nº canais);

A = Área da bacia (km²).

Conforme classificação de Strahler (1952) demonstrada na Tabela 7, a densidade hidrográfica (número de canais/km²) pode ser denominada em: baixa (0-3), média (3-7), alta (7-15) e muito alta (>15).

Tabela 7 – Faixa de classificação da Dh da bacia

Dh	CLASSIFICAÇÃO
< 3	Baixa
3 - 7	Média
7 - 15	Alta
> 15	Muito alta

Fonte: Strahler, 1952

Ao mencionarmos o número total de rios ou cursos d'água, é fundamental organizar os canais de forma hierárquica. Segundo Strahler (1952), a quantidade de canais reflete o número de rios de primeira ordem, uma vez que todo rio surge de uma nascente.

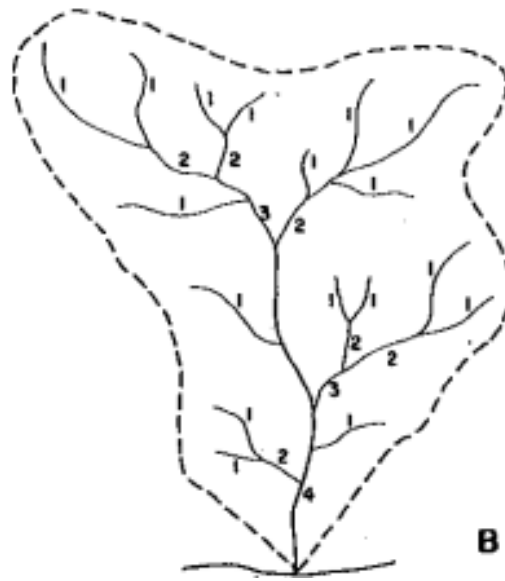
A hierarquização fluvial é o processo de classificar um curso d'água (ou sua respectiva área de drenagem) dentro do contexto da bacia hidrográfica em que se encontra. Isso é feito para facilitar e tornar mais objetiva a análise morfométrica das bacias hidrográficas (que inclui estudos lineares, de área e hipsométricos).

Horton (1945) foi o primeiro a propor critérios mais precisos para a classificação dos cursos d'água. No entanto, devido à subjetividade inerente ao seu sistema, outros pesquisadores adotaram uma abordagem diferente, desenvolvida por Arthur Strahler em 1952.

Para Strahler (1952), os canais menores, sem afluentes, são classificados como de primeira ordem, começando na nascente e indo até a confluência com outro canal. Os canais de segunda ordem se formam pela união de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Já os canais de terceira ordem surgem da junção de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de primeira e segunda ordem. Da mesma forma, os canais de quarta ordem são formados pela confluência de dois canais de terceira ordem e podem receber tributários de ordens inferiores. Esse padrão continua nas ordens subsequentes (Christofolletti, 1980).

Com isso, Strahler (1952) conseguiu eliminar a ideia de que o rio principal manteria a mesma ordem em todo o seu percurso, além de evitar a necessidade de criar uma nova numeração a cada confluência, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Hierarquização de canais segundo Strahler.



Fonte: Christofolletti, 1980.

De forma geral, a hierarquização dos canais possibilita a divisão da rede de drenagem em segmentos distintos, cada um composto por um ou mais canais, conforme as regras de ordenação de cada sistema. A área de superfície que contribui para cada subconjunto corresponde à bacia de drenagem associada. Assim, o conceito de ordem ou hierarquia torna-se aplicável às redes de canais, como as bacias hidrográficas.

3.2.9 Gradiente de canais

O gradiente de canais (G_c) é dado pela relação entre a altitude máxima da bacia e o comprimento do canal principal. Este índice tem por finalidade indicar a declividade dos cursos d'água da bacia (Horton, 1945; Freitas, 1952). Para se determinar o gradiente de canais, utiliza-se a equação abaixo:

$$G_c = \frac{H}{L_c * 1000} \quad [9]$$

Onde:

G_c = Gradiente de canais (%);

H = amplitude altimétrica máxima do canal principal da bacia (m);

L_c = comprimento do canal principal (km).

3.2.10 Índice de rugosidade

O índice de rugosidade (I_r) é a relação entre a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica e a densidade de drenagem [5]. Esse índice expressa o potencial erosivo de uma bacia em função do escoamento superficial, ou seja, quanto menor o valor de I_r , menor será a degradação a que a bacia está exposta, com isso, ajuda a evidenciar a movimentação do relevo, ou seja, a variação de declividades e o comprimento das vertentes, além da dimensão das drenagens (Lobão et al., 2011). O índice é aferido por meio da fórmula proposta por Christofolletti (1980):

$$I_r = \frac{Hm * Dd}{1000} \quad [10]$$

Em que:

I_r = índice de rugosidade (adimensional);

Hm = amplitude altimétrica da bacia (m);

Dd = Densidade de drenagem (km/km²)

Strahler (1958) destacou as conexões entre a forma das vertentes e a densidade de drenagem (Christofolletti, 1980). Ao notar que, quando um dos parâmetros permanece constante e o outro aumenta, isso leva a um aumento das diferenças de elevação entre o interflúvio e os canais, assim como da inclinação das vertentes. Portanto, valores elevados de I_r indicam que ambos os parâmetros são altos, sugerindo que as vertentes são íngremes e extensas.

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas, atualmente, é realizado com a integração de informações de relevo em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGS)

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), como definido por Burrough (1986), é um conjunto de ferramentas capaz de armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real. Existem diversas definições sobre o que pode ser considerado um SIG. Silva (1998) sintetizou-as na definição dos requisitos primordiais a um sistema para que este seja considerado um SIG: onde necessita usar o meio digital, portanto o uso intensivo de informática é imprescindível;

deve existir uma base de dados integrada e estes dados precisam estar georreferenciados juntamente com controle de erro; o SIG deve conter funções de análise destes dados, variando de álgebra cumulativa (ex.: operações do tipo soma, subtração, multiplicação e divisão) até álgebra não cumulativa (operações lógicas).

Este procedimento pode ser efetuado de modo manual ou automático (Cardoso et al., 2006). As informações de relevo são representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada modelo digital de elevação (MDE). Esses modelos são obtidos, por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos.

O uso de MDE em SIG expõe uma relação harmônica com excelentes vantagens, como os recursos digitais, a redução de intervenções manuais e, portanto, subjetividade e a possibilidade de representação paramétrica (Valeriano, 2004). Dessa maneira, os MDE vêm sendo utilizados em estudos de recursos hídricos, como no delineamento de redes de drenagem, limites de bacias hidrográficas, cálculo de declividade, altitude, verificação da direção de fluxo do escoamento superficial e como parte integrante de modelos hidrológicos.

A capacidade dos SIGs de integrar diversas fontes de dados e analisar relações espaciais permite que profissionais de diferentes áreas otimizem suas operações. Esses sistemas são amplamente utilizados em governos, empresas privadas e instituições de pesquisa, contribuindo para a gestão eficiente do território, planejamento urbano sustentável, monitoramento ambiental e prevenção de desastres naturais. Consequentemente, a análise de bacias hidrográficas através dos SIGs adquiriu grande visibilidade, visto que estão sujeitas a essas adversidades ambientais, como erosão, deslizamentos de terra, enchentes; tendo alta possibilidade de serem evitadas com antecedência. Um exemplo a ser considerado é o trabalho de Silva (2014), da qual obteve resultados satisfatórios, com a cobertura vegetal preservada na região em análise, o que auxilia a evitar a erosão e o transporte de sedimentos para os canais de drenagem.

Igualmente, a aplicação nos estudos de bacias hidrográficas auxilia na caracterização física-ambiental, proporcionando desenvolver a análise morfométrica de modo prático e ágil. Por outro lado, os dados morfométricos de uma bacia

hidrográfica quando associados ao uso e cobertura da terra, podem ajudar a compreender melhor a dinâmica ambiental da área, principalmente quando é possível analisar a evolução histórica da ação antrópica na área de interesse. O estudo de Mendes et al. (2021) demonstrou isso em sua análise, relacionando os parâmetros morfométricos e classificação do uso do solo com a intervenção humana no local.

A essência do geoprocessamento reside na capacidade de manipular, analisar e interpretar dados espaciais, muitas vezes provenientes de fontes como satélites, sensores remotos, sistemas de posicionamento global (GPS) e levantamentos topográficos. Nesse caso, os sistemas envolvem um software especializado, o SPRING 5.4.3 (Camara et al., 1996), um SIG desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e que conta com funções como: processamento de imagens, tratamento de dados temáticos e cadastrais, análise de banco de dados, o que permite a manipulação eficiente de dados geoespaciais, proporcionando ferramentas para análise espacial. Combinado com a técnica de sensoriamento remoto, o SPRING possibilita o estudo de grandes áreas de maneira rápida e prática.

3.3.1 Sensoriamento remoto

A aquisição de informação sobre um objeto através de medidas realizadas por um sensor que não está em contato físico direto com ele pode ser caracterizada como sensoriamento remoto. No presente caso, as informações sobre o objeto provêm da detecção e mensuração das alterações que ele impõe em relação aos campos de força que o encontram. É possível que estes campos de força sejam potenciais, acústicos ou eletromagnéticos.

Hoje em dia, esta técnica está associada à ferramenta de geoprocessamento, que é bastante versátil e contribui sobremaneira para o desenvolvimento de projetos que utilizam sensoriamento remoto, principalmente no que diz respeito ao monitoramento do meio ambiente e do mundo físico.

A visão sinóptica fornecida por dados de sensoriamento remoto é frequentemente utilizada por geólogos, geógrafos, físicos e outros cientistas para identificar e interpretar feições geomorfológicas na superfície terrestre. De fato, um dos principais valores da ciência do sensoriamento remoto é a identificação, compreensão e avaliação quanto à natureza das formas de relevo visíveis em imagens de sensores remotos (Jensen, 2009).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto se mostra uma ferramenta muito importante na definição de padrões de relevo, pois permite a visualização de áreas ampliadas, oferece a noção de profundidade e possibilidade de visão além do visível, otimizando as informações (Novo, 2008). O avanço taxonômico na cartografia do relevo pode ser planejado por meio dos dados de sensoriamento remoto implantados em um SIG, oferecendo assim as bases para o planejamento e ordenamento do território.

3.3.2 Estudos Correlatos

A análise e a caracterização das bacias hidrográficas são fundamentais para o manejo e a conservação dessas áreas, tornando o assunto de grande relevância para a comunidade acadêmica e tema frequente de diversas dissertações com muitos estudos aplicando geotecnologias no âmbito de verificar a morfometria das bacias e o uso e ocupação da terra com vistas a gestão ambiental.

Um exemplo é o estudo realizado por Costa, Galvanin e Neves (2020), que analisou a morfometria da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, situada no Mato Grosso, com o objetivo de compreender o regime hidrológico e as vulnerabilidades relacionadas a enchentes, inundações, erosão e à manutenção da rede de drenagem local. Entre os resultados obtidos, para uma área de drenagem de 16.482 km², foram encontrados os seguintes valores: $I_c = 0,33$; $D_h = 0,72$ canais/km²; $D_d = 0,90$ km/km. Esses valores indicam uma "baixa propensão à ocorrência de enchentes e inundações devido à forma geométrica da bacia, além de um solo mais resistente à erosão, mais permeável, e um relevo com tendência a ser mais suave"

Pissarra (2010) avaliou as características morfométricas das microbacias (2^a, 3^a, 4^a e 5^a ordens de magnitude) da bacia hidrográfica do córrego Rico, sub-bacia do Rio Mogi-Guaçu, localizada na região administrativa de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, Brasil. Para tanto, foram determinados os parâmetros físicos e a configuração topográfica natural do sistema de drenagem. Os procedimentos para a obtenção dos dados foram fundamentados em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os resultados revelam o grau de desenvolvimento do processo erosivo remontante de seus cursos de água na cabeceira da bacia hidrográfica do córrego Rico, local onde ocorre a declividade acima de 75%, ocasionando maior intensidade do processo erosivo.

Outro estudo, realizado por Mendes et al. (2021), objetivou-se analisar a morfometria e a dinâmica da cobertura do solo na microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia. Foram analisados a geometria, o relevo e a drenagem da área utilizando imagens dos satélites Alos, e o desmatamento (NDVI) com dados dos satélites Landsat 5 e 8, abrangendo o período de 1988 a 2018, por meio dos softwares QGIS e Google Earth Pro. A microbacia apresenta forma alongada e baixa suscetibilidade a inundações ($K_f = 0,40$ e $K_c = 1,57$), relevo variando de plano a montanhoso, drenagem complexa e 73,86% de sua área desmatada. O avanço migratório e a expansão da agropecuária no estado tiveram grande impacto sobre a microbacia, restando apenas 26,14% da cobertura florestal nativa.

Silva (2014), ao caracterizar o uso e ocupação da bacia do Rio Farinha (MA), obteve resultados positivos, com predominância da cobertura natural do solo e uma paisagem preservada, o que ajuda a prevenir a erosão e o transporte de sedimentos para os cursos d'água. No entanto, ele ressalta que, apesar dos dados promissores, eles devem ser considerados como estudos preliminares para a gestão dos recursos hídricos da bacia. Silva também sugere a implementação de programas de manejo integrado para permitir um diagnóstico mais preciso e um planejamento adequado do uso dos recursos naturais.

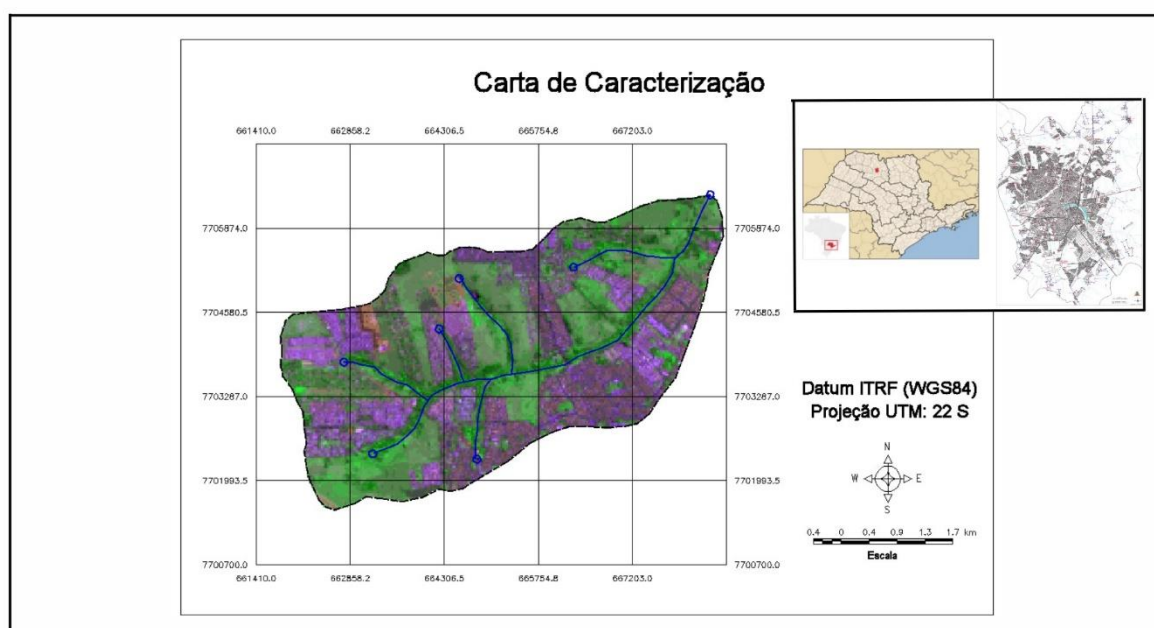
Já Gritti (2023) evidenciou os impactos negativos da ocupação humana na bacia hidrográfica do rio Baios (RS). Seus estudos destacam os efeitos da expansão agrícola nas últimas décadas, com a substituição de áreas de cobertura florestal por campos de cultivo. Ele chama a atenção para as áreas de preservação permanente (APP) nas nascentes, onde observou o predomínio do cultivo de soja, milho e trigo. Gritti enfatiza a necessidade de medidas de mitigação e a conscientização sobre a importância de conservar as nascentes e áreas ao redor, visando o bem-estar humano, a fauna e o meio ambiente em geral.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização da área de estudo (Figura 4) corresponde a microbacia do córrego São Pedro, localizada no noroeste do estado de São Paulo, e deságua no Rio Preto. A microbacia ocupa uma área de aproximadamente 20,15 km², pertencente ao município de São José do Rio Preto, tendo como coordenadas geográficas: latitude 20° 49' 13" S e longitude 49° 22' 47" O.

Figura 4 – Carta da localização da microbacia do córrego São Pedro



Fonte: elaborado pelo autor

4.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

A caracterização do uso e ocupação do solo e a obtenção dos parâmetros morfométricos foram realizadas com base no SIG, utilizando o software SPRING 5.4.3 (Camara, 1996) como ferramenta. Para o estudo da área, inicialmente foi montado um Banco de Dados no programa onde levantou-se inicialmente dados da imagem do satélite LANDSAT 8 (sensor OLI) (USGS, 2024) referente a julho de 2023.

No software SPRING 5.4.3 (Camara, 1996), realizou-se uma classificação por pixel, que leva em conta a informação espectral de cada pixel, podendo usar uma ou mais bandas, dependendo do nível de precisão desejado para a classificação. Neste estudo em particular, foi aplicada a classificação supervisionada utilizando o algoritmo

MAXVER (máxima verossimilhança) para caracterizar a área da microbacia do córrego São Pedro.

Para delimitar a bacia, foram importados dados de altimetria SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 90 m do site “Brasil em Relevo”, da EMBRAPA (2023), que disponibiliza as imagens no formato ".tiff". Após o download e a importação dessas imagens para o SPRING, elas foram convertidas em um MNT (Modelo Numérico de Terreno) com o uso da função "Geração de Grade MNT". Em seguida, foram geradas isolinhas de altitude com intervalos de 10 metros, o que permitiu delimitar a área da bacia e extrair sua drenagem, utilizando imagens de satélite e observando as áreas úmidas. Como resultado, foi desenhado manualmente o polígono da bacia com a função de edição vetorial do SPRING, seguindo as orientações dos mapas de isolinhas.

Além disso, os mapas de altimetria e declividade, além do perfil longitudinal dos córregos foram realizados com auxílio dos dados do projeto SRTM e concluídos por meio da ferramenta SCARTA no software SPRING demonstrando as unidades geológicas presentes na região estudada.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO

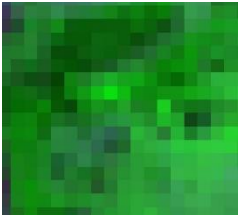
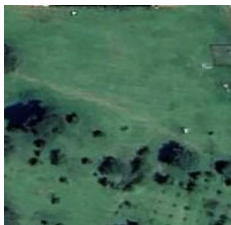
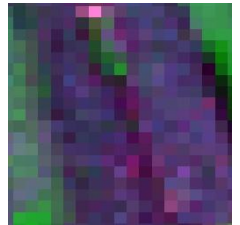
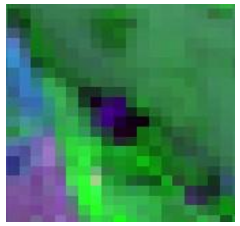
Para iniciar o processo de classificação do uso e ocupação do solo na área de estudo, foi necessário analisar o georreferenciamento, a fim de identificar o formato da bacia e definir o recorte ideal da imagem a ser utilizada para essa finalidade. Inicialmente, foram observadas as bandas dos satélites utilizadas na composição da imagem, aplicando-se contraste para melhorar os resultados na obtenção de dados e na elaboração das conclusões subsequentes.

Sua composição foi realizada respeitando os seguintes parâmetros, para os quais foi-se obtida uma composição de falsa cor:

- 2023 (LandSat 8): B3-R (verde), B4-B (vermelho), B5-G (infravermelho próximo).

A imagem do satélite pertence ao dia 1º de julho de 2023 (01/07/2023), para ela coletou-se amostras de pixels conforme as classes de ocupação do solo previamente estabelecidas, ilustradas na chave de interpretação apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Chave de interpretação

Classe	Imagem Landsat 8 B3(R), B4(B) e B5(G)	Imagem Google Earth	Coordenadas UTM 22° S	Imagem in loco (nas proximidades do curso principal)
Vegetação de grande porte/densa			666197.94 m E / 7703830.10 m S	
Vegetação de pequeno porte/rasteira			664705.01 m E / 7704340.79 m S	
Área Urbana			665783.24 m E / 7703209.71 m S	
Solo exposto			664027.46 m E / 7702831.06 m S	
Corpo hídrico			668862.89 m E / 7699168.35 m S	

Fonte: elaborado pelo autor

A classificação supervisionada da imagem de satélite para o ano analisado foi realizada utilizando o método de máxima verossimilhança (MAXVER). Esse método compara as cores dos pixels com as amostras atribuídas manualmente pelo usuário para cada classe de interesse.

4.4 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Para realização da análise dos parâmetros morfométricos da microbacia, foram coletados dados referentes à área (A), perímetro (P), amplitude altimétrica (Hm), comprimento do canal principal (Lc), distância vetorial do canal principal (Lv), largura axial da bacia (L), comprimento total dos canais, número de canais. Dessa forma, foi possível utilizar os dados citados para o cálculo dos seguintes parâmetros: coeficiente de compacidade (Kc), coeficiente de forma (Kf), índice de circularidade (Ic), índice de sinuosidade (Is), densidade de drenagem (Dd), coeficiente de manutenção (Cm), relação do relevo (Rr), densidade hidrográfica (Dh), gradiente do canal (Gc) e índice de rugosidade (Ir), conforme expressões anteriormente apresentadas.

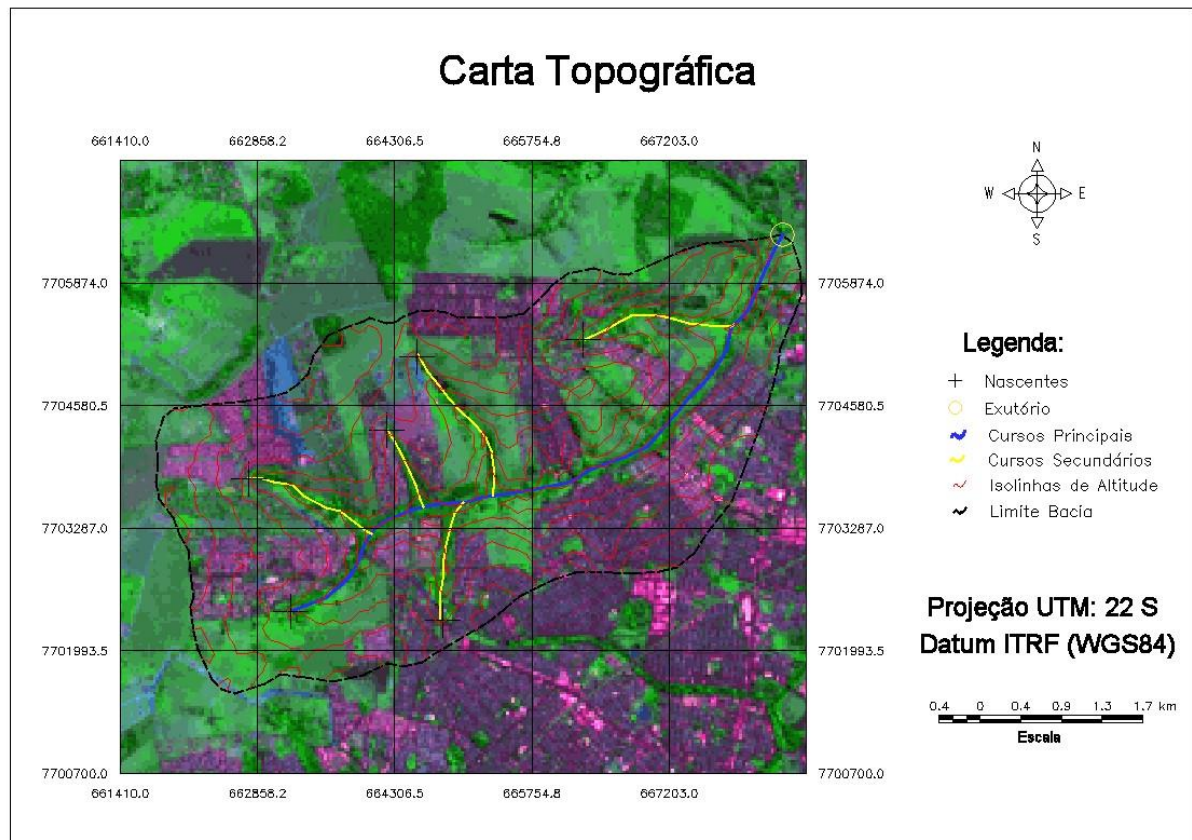
As relações foram alcançadas conforme expressões contidas em Christofolletti (1980), Villela e Mattos (1975), Silva (2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DETERMINAÇÃO DA BACIA

Por intermédio das isolinhas de altitude, foi possível a delimitação do polígono da bacia, como será demonstrado na carta topográfica a seguir.

Figura 5 – Carta topográfica da região de estudo

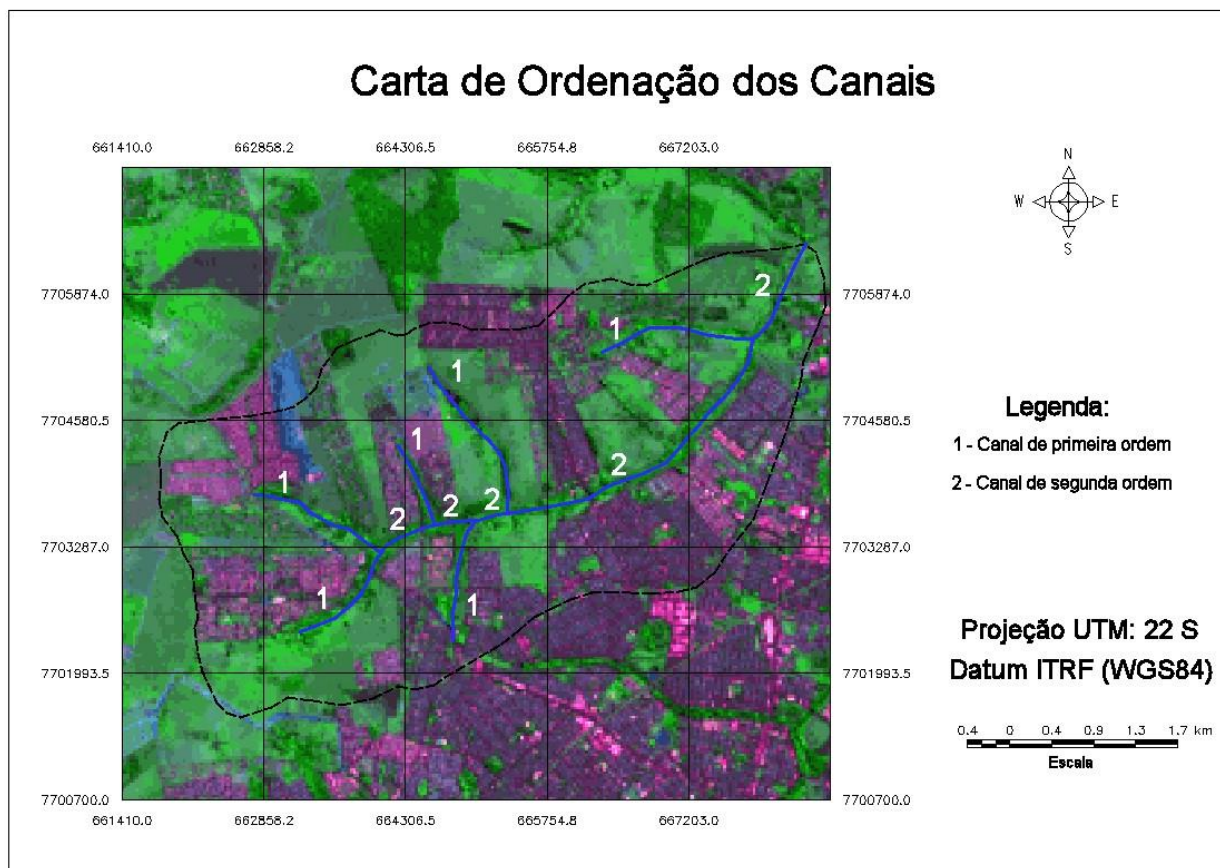


Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 ORDENAÇÃO DE CANAIS

Conforme mencionado anteriormente, para alguns cálculos da análise morfométrica de uma bacia, é fundamental conhecer a ordem de seus canais. Por isso, foi realizado o processo de hierarquização dos canais de drenagem da bacia em questão. Os resultados estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Ordem dos canais da bacia do estudo.



Observa-se na imagem que a bacia em estudo possui ordem 2, o que indica um sistema de drenagem pouco ramificado em relação à sua área, com canais de ordem 1 e 2, classificados a partir de suas nascentes, de acordo com a confluência de seus tributários. Nota-se o predomínio de canais de primeira ordem, totalizando 6 cursos d'água. Segundo a classificação de Strahler (1952), esses canais são os menores, sem tributários, com nascentes bem definidas, e fluem até se unirem a outros cursos d'água. Nesse caso, esses canais se encontram com outros de primeira ordem, gerando canais de segunda ordem, completando 5 canais dessa classe.

5.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO CÓRREGO SÃO PEDRO

Operando o software SPRING 5.4.3, foi possível realizar a extração simples dos dados físicos da bacia, a partir dos quais foram calculados os parâmetros morfométricos da bacia em análise. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 9.

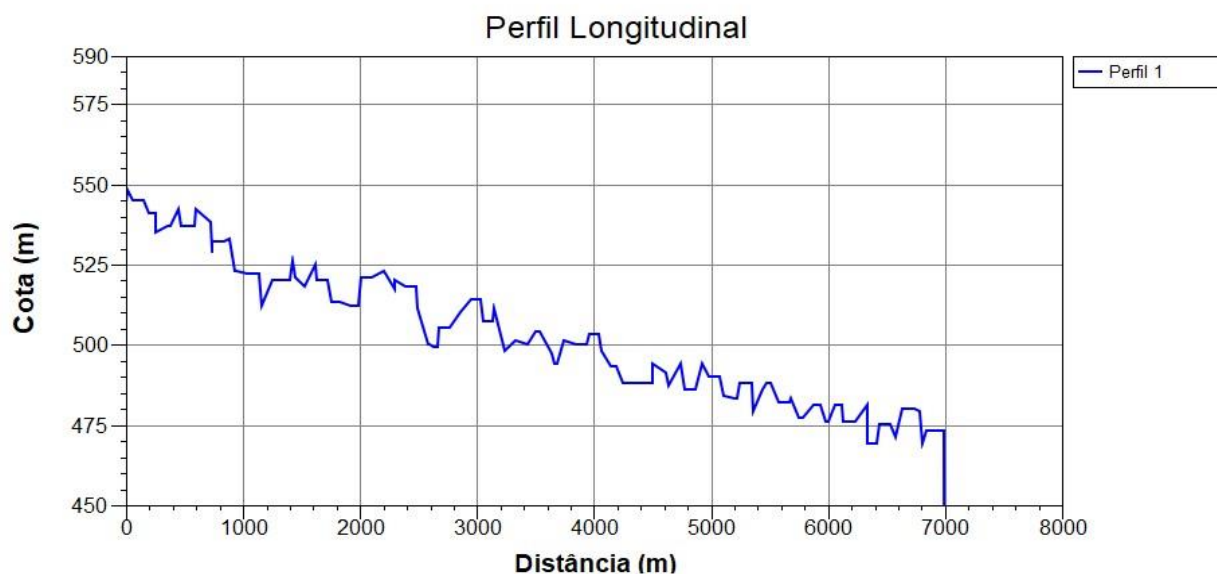
Tabela 9 - Dados físicos da bacia.

Dados físicos	Unidade	Valor
Perímetro da bacia (P)	km	19,41
Área da bacia (A)	km ²	20,15
Comprimento axial da bacia (Lb)	km	7,6
Comprimento do canal principal (Lc)	km	7,03
Comprimento vetorial do canal principal (Lv)	km	6,52
Comprimento total dos canais (L)	km	14,1
Número de rios/canais (Nt)	n° de canais	11
Amplitude altimétrica (Hm)	m	120
Amplitude altimétrica máxima do canal principal (H)	m	98

Fonte: Elaborado pelo autor

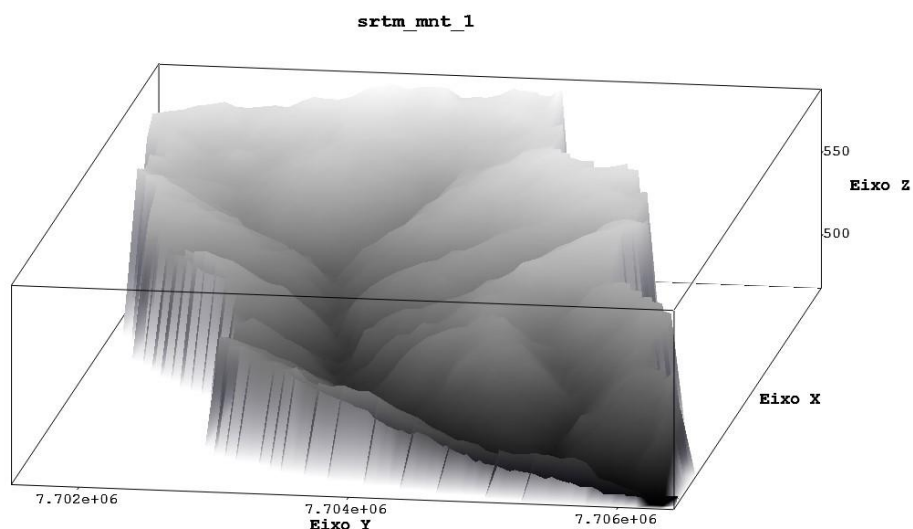
Para determinar os valores de altimetria mencionados anteriormente, foi realizada a extração do perfil longitudinal do terreno, cuja representação está detalhada na Figura 7, juntamente com sua demonstração em 3D na Figura 8.

Figura 7 - Perfil longitudinal do canal principal



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 - Perfil longitudinal em 3D do canal principal



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a obtenção de todos os valores necessários, foi possível calcular os parâmetros morfométricos por meio da simples substituição desses valores nas equações previamente apresentadas. Os resultados obtidos estão listados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros morfométricos da bacia do córrego São Pedro.

Parâmetros	Unidade	Valor	Suscetibilidade a enchente
Coeficiente de compacidade (Kc)	Adimensional	1,21	Alta
Fator forma (Kf)	Adimensional	0,35	Baixa
Índice de circularidade (Ic)	Adimensional	0,67	Baixa
Índice de sinuosidade (Is)	Adimensional	1,08	Baixa
Densidade de drenagem (Dd)	km/km ²	0,70	Baixa
Coeficiente de manutenção (Cm)	m ² /m	1429,08	Média
Razão do relevo (Rr)	m/m	0,016	Baixa
Densidade hidrográfica (Dh)	nº canais/km ²	0,55	Baixa
Gradiente de canais (Gc)	%	1,39	Baixa
Índice de rugosidade (Ir)	Adimensional	0,084	Baixa

Fonte: Elaborado pelo autor

O perfil longitudinal do córrego (Figuras 7 e 8) está relacionado ao relevo e descreve a relação entre a variação da altitude e o comprimento do córrego, desde a nascente até a foz. O gráfico começa na nascente e segue em direção à foz do córrego. Observa-se que o córrego apresenta declividade mais acentuada próximas às nascentes e menores declividades próximas à desembocadura. Isso indica que o curso d'água têm comportamento em termos de erosão, transporte e deposição gerados pelo gradiente elevado do trecho, conforme Christofolletti (1980).

Ademais, vale ressaltar a ocupação urbana recente na região do córrego que ocorre principalmente entre os trechos 4000 e 6000 m do perfil longitudinal (Figura 7), onde a amplitude é mais baixa (região mais plana). Por estar próximo a foz o escoamento é relativamente lento.

Referente a geometria, a microbacia possui uma área de 20,15 km², perímetro de 19,41 km e comprimento axial de 7,6 km. Com os valores de área, perímetro e comprimento axial da microbacia em mãos, foi possível calcular os parâmetros morfométricos: coeficiente de compacidade (Kc), coeficiente de forma (Kf) e índice de circularidade (Ic). Esses parâmetros afetam diretamente a forma da bacia e sua consequente tendência a enchentes.

No caso do coeficiente de compacidade (Kc), quanto mais próximo de 1, maior a tendência a enchentes, pois a bacia teria uma forma mais circular, fazendo com que as águas cheguem ao exutório simultaneamente. Analisando os dados, percebe-se que a bacia se assemelha a um círculo, já que seu coeficiente de compacidade, 1,21, está no intervalo que indica maior risco de enchentes com base nesse parâmetro (Tabela 1).

Quanto ao coeficiente de forma (Kf), a microbacia analisada pode ser classificada como alongada, já que o coeficiente foi de 0,35, pertencente ao espaço entre 0,02 e 0,50 (Tabela 2). Além disso, é possível afirmar que a microbacia tem baixa propensão a enchente em condições normais, pois seu coeficiente de forma é inferior a 0,50.

Com relação ao índice de circularidade (Ic), a microbacia denomina-se como intermediária, já que seu coeficiente, 0,67, está dentro do intervalo de 0,51 a 0,75 (Tabela 3). Igualmente se observa que, devido ao baixo índice de circularidade, essa bacia tem baixa suscetibilidade a enchentes.

Para a análise do relevo, utilizou-se o índice de sinuosidade (Is) para avaliar as curvas e, conseqüentemente, a velocidade de escoamento nas bacias. Com base nos dados, a microbacia foi classificada como reta, pois seu índice (1,08) é inferior a 1,50 (Tabela 4). Assim, conclui-se que a bacia tem baixa suscetibilidade a enchentes, já que a velocidade do escoamento é maior devido à menor quantidade de curvas.

No que diz respeito a drenagem, foi obtido o coeficiente de densidade de drenagem (Dd) que diz respeito a eficiência da bacia. A densidade de drenagem da bacia em estudo foi de 0,70 km/km², o que indica uma baixa densidade de drenagem, ou seja, um sistema de drenagem pouco desenvolvido e pobre, de acordo com a classificação de Silva (2012), que considera um intervalo de densidades entre 0,59 e 0,98 km/km² como deficientes e drenagem muito baixa (Tabela 5). Essa característica foi observada no estudo de Costa, Galvanin e Neves (2020) para a bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara (BHPJ) que apresentou um valor de 0,90 km/km² e a classificou como pouco drenada. Os autores destacaram que solos em regiões com essa classificação tendem a ser mais resistentes à erosão ou mais permeáveis, com relevo mais suave, favorecendo um escoamento pluvial mais lento.

Seguindo essa linha de raciocínio, o coeficiente de manutenção (Cm), que quantifica a área necessária para sustentar 1 metro de escoamento, revelou-se preocupante e relativamente elevado ao se considerar os demais parâmetros da bacia, atingindo 1429,08 m²/m. Uma semelhança pode ser observada na bacia estudada por Costa, Galvanin e Neves (2020), cujos resultados indicaram uma área mínima de 1111 m² para a manutenção de um metro de escoamento na BHPJ. Contudo, os autores ressaltaram que esse coeficiente deve ser visto apenas como uma ferramenta para entender a dinâmica de drenagem do sistema, já que não leva em conta as declividades dos corpos hídricos.

Através da amplitude altimétrica, obtida ao traçar uma linha reta da cabeceira até a foz da microbacia e, em seguida, extrair o perfil (Figura 7), foi calculada a Razão de Relevo (Rr). O valor encontrado para a microbacia do córrego São Pedro foi de, aproximadamente, 0,016 m/m. Esse resultado indica que a microbacia analisada está no intervalo entre 0,0 e 0,10 (Tabela 6) que representa uma baixa razão de relevo de acordo com Piedade (1980).

A densidade hidrográfica (Dh) na bacia em questão resultou em cerca de 0,55 canais/km², um valor considerado baixo segundo a classificação de Strahler (1952), por estar abaixo de 3 (Tabela 7). Isso indica uma limitada capacidade de gerar novos cursos d'água. De forma semelhante, Costa, Galvanin e Neves (2020) encontraram um valor próximo para a BHPJ, com 0,72 canais/km². O autor expressou preocupação com essa região, devido à possibilidade de impactar a manutenção da hidrografia local.

Com base em Horton (1945), o gradiente de canais (Gc) corresponde a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial, tendo a finalidade de indicar a declividade do curso d'água. O resultado obtido foi de 1,39% para o canal principal, demonstrando que nos pontos mais altos do curso o relevo é relativamente ondulado.

O índice de rugosidade (Ir) foi de 0,084, considerado pouco significativo e baixo, especialmente em comparação com os resultados de Trajano (2012) em seu estudo para a Bacia Hidrográfica do Mamanguape, que apresentaram valores em torno de 0,72. Trajano classificou esse valor como baixo e pouco representativo, caracterizando sua área de estudo como de baixo risco de degradação, com pouca variação no relevo e desníveis. A bacia do córrego São Pedro, com um índice 89% menor, igualmente apresenta um risco de degradação e de enchentes muito baixo devido ao relevo, já que há poucos desníveis entre a foz e o restante do curso, resultando em uma bacia menos propensa a inundações.

5.4 DECLIVIDADE

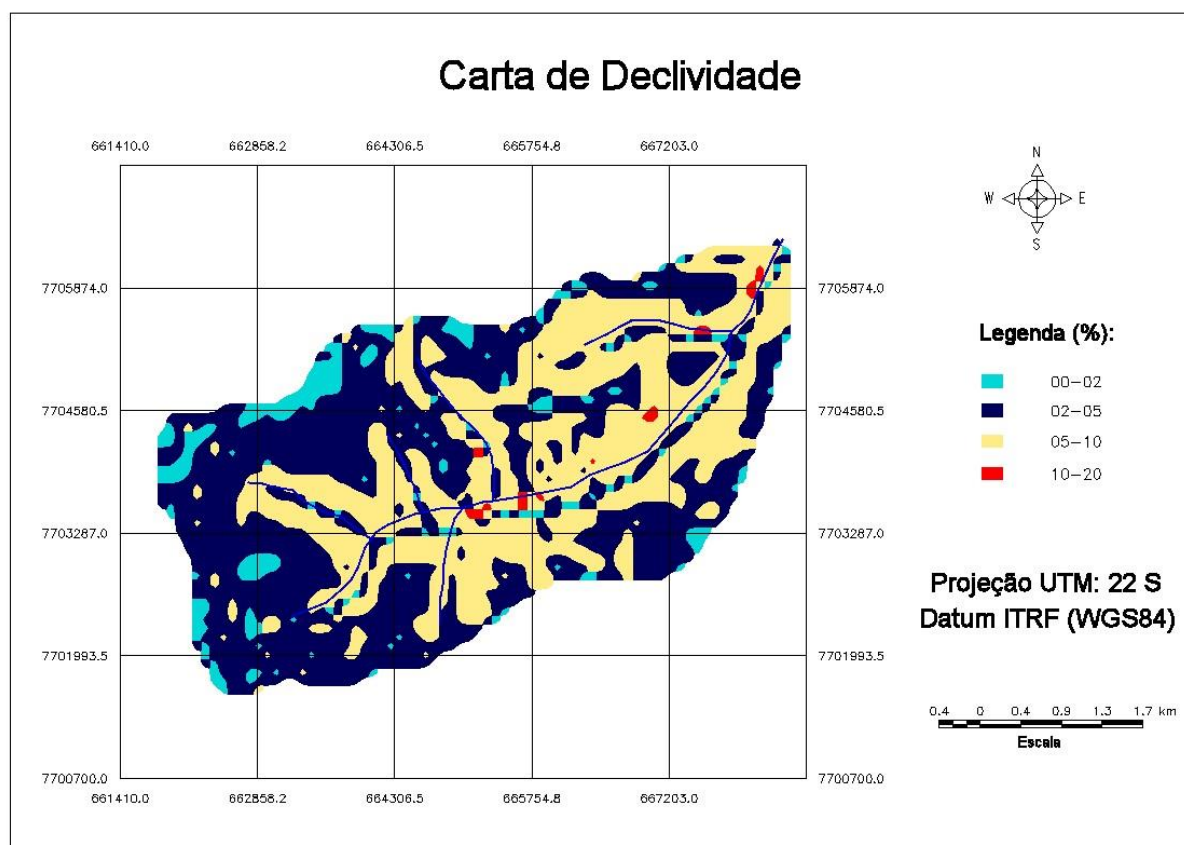
A declividade é denominada como a inclinação da superfície do terreno em relação à uma superfície horizontal, da microbacia analisada pode ser observada na Figura 9. A classificação aferida foi feita a partir de Lepsch (1991) conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação de declividades

Classe	Nível de declividade	Terreno
A	< 2%	Plano
B	2 a 5%	Suave ondulado
C	5 a 10%	Moderadamente ondulado
D	10 a 15%	Ondulado
E	15 a 45%	Forte ondulado
F	45 a 70%	Montanhoso
G	>70%	Escarpado

Fonte: Lepsch (1991)

Figura 9 – Carta da declividade na microbacia do córrego São Pedro



Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, é possível afirmar que a microbacia possui uma declividade classificada como suavemente ondulado, visto que a maior parte da área (10,19 km²) apresenta em torno de 2% a 5% de declividade (Tabela 12). As áreas mais declivosas

são a minoria, visto que as não há áreas classificadas como montanhosas e fortemente onduladas.

Entretanto, nas regiões próximas ao curso do córrego nota-se a predominância de um declive moderadamente ondulado. De modo geral, após a análise dos parâmetros morfométricos, observa-se uma tendência pouco suscetível a enchentes na bacia estudada. Apesar de não haver registro histórico de inundações na região, há preocupações relacionadas a esse risco. Conforme destacam Costa, Galvanin e Neves (2020), as falhas na criação de novos canais, a baixa densidade de drenagem e o coeficiente de manutenção da bacia são fatores que levantam preocupações quanto à possibilidade de o sistema de drenagem se tornar ineficiente no futuro, o que poderia impactar a dinâmica hídrica, o uso múltiplo das águas e os ecossistemas que dependem dessas bacias.

Tabela 12 – Distribuição das áreas por classe de declividade

Declividade	Áreas (km ²)
0 - 2 % (plano)	1,49
2 - 5 % (suave ondulado)	10,37
5 - 10 % (moderadamente ondulado)	8,01
10 - 20 % (ondulado)	0,11

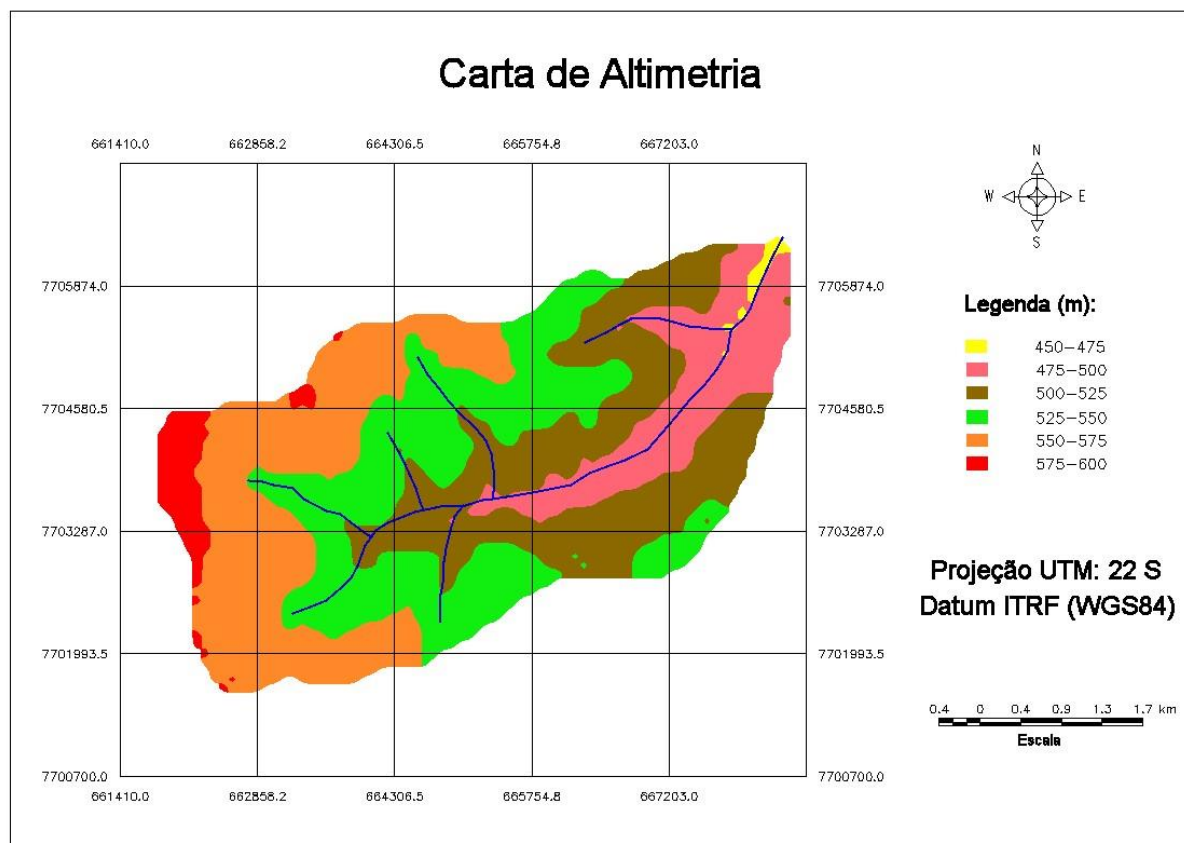
Fonte: Elaborado pelo autor

5.5 ALTIMETRIA

Em relação a altimetria, que é a representação do relevo da microbacia, também foi feita uma carta no software SPRING para melhor visualização dos dados. Através dela, constata-se que o relevo da região diminui conforme se aproxima do Rio Preto, localizado a nordeste da microbacia, onde o córrego São Pedro deságua.

Conforme visto anteriormente na Tabela 9, a amplitude altimétrica para a região da microbacia foi de 120m, ou seja, o resultado da diferença da cota máxima (589 m) e a cota mínima (469 m), informações essas proporcionadas pelo software SPRING através da definição do fatiamento da imagem SRTM na categoria MNT, gerando após isso, o mapa de altimetria na categoria temática (Figura 10).

Figura 10 – Carta da altimetria da microbacia do córrego São Pedro



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 – Distribuição das áreas por classe de altimetria

Altimetria	Áreas (km ²)
450 - 475	0,13
475 - 500	2,72
500 - 525	5,36
525 - 550	5,80
550 - 575	5,29
575 - 600	0,72

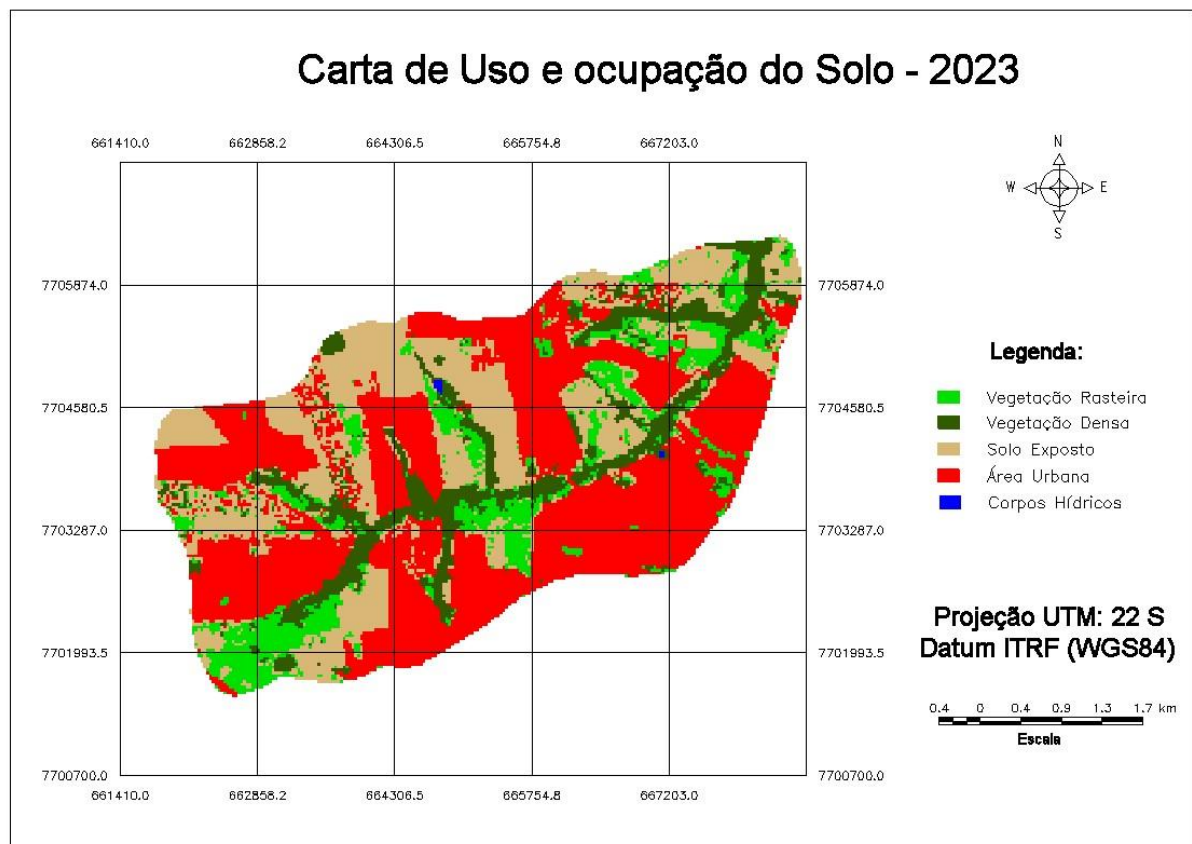
Fonte: Elaborado pelo autor

5.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA

Na sequência do estudo, foi feita a análise da bacia em relação ao seu uso e ocupação. Os dados de uso e ocupação obtidos no SPRING foram organizados em gráficos e tabelas.

Abaixo segue o mapa de uso e cobertura da terra para a área de estudo no ano de 2023.

Figura 11– Classificação do uso e ocupação do solo da bacia em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi realizada uma análise quantitativa das áreas utilizando a ferramenta SPRING, conforme o ano em estudo. Os resultados, expressos em km², estão apresentados na Tabela 14.

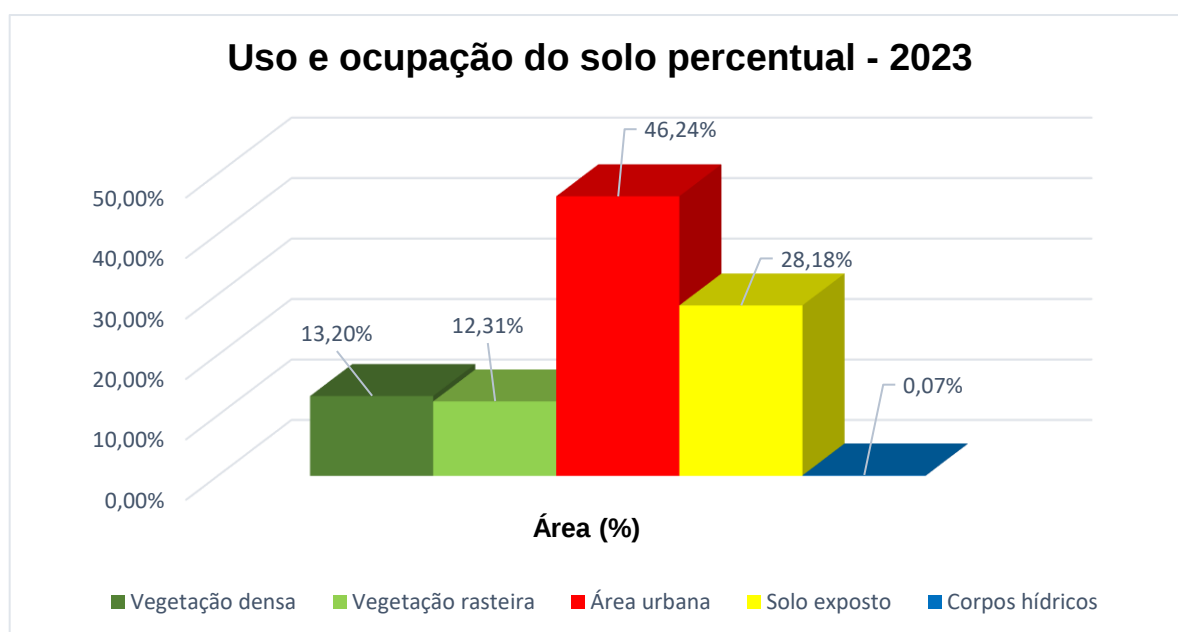
Tabela 14 - Análise quantitativa do uso e ocupação da bacia.

Classe	Área (km ²)
Vegetação densa	2,66
Vegetação rasteira	2,48
Área urbana	9,32
Solo exposto	5,68
Corpos hídricos	0,014
Total	20,15

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados da Tabela 14 foram colocados em um gráfico, demonstrando o percentual de cada classe, como é exibido na Figura 12.

Figura 12 - Uso e ocupação do solo percentual da microbacia em 2023

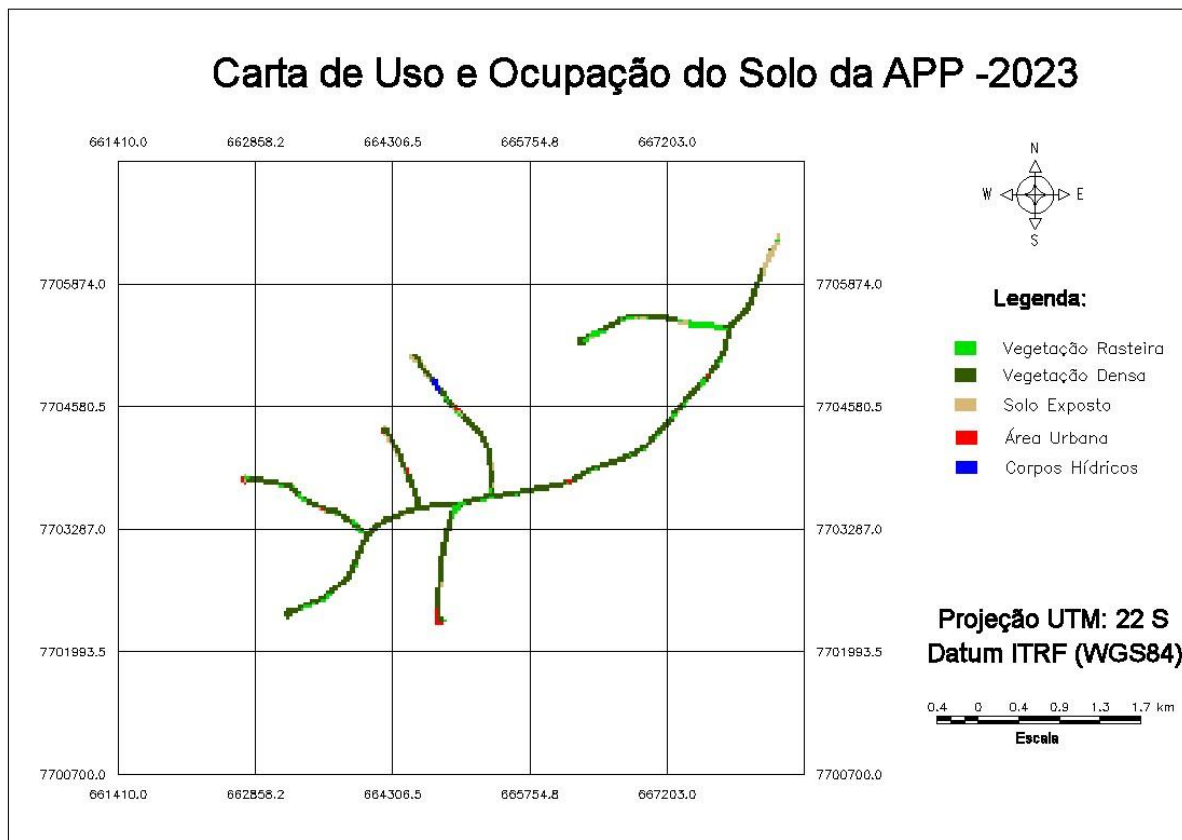


Fonte: Elaborado pelo autor

Para o aumento da precisão da pesquisa em relação ao uso e cobertura do solo, realizou-se o mapa de distância do curso d'água no SPRING, na qual é definido a Área de Preservação Permanente (APP). Conforme o Artigo 4 da Lei 12.651/2012, o "Novo Código Florestal Brasileiro", para córregos de até 10 metros de largura a faixa de influência é de 30 metros e para as nascentes é definido um espaço de atuação de 50 metros. Com a aplicação do mapa de distância no uso e ocupação do solo da

microbacia foi gerado uma nova carta somente para a APP que está denotada na Figura 13.

Figura 13 – Classificação do uso e ocupação do solo da APP em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor

Igualmente, foi feito um estudo quantitativo para a APP, onde as áreas das classes estão representadas pela porcentagem perante o total da área, como apontado na Tabela 15.

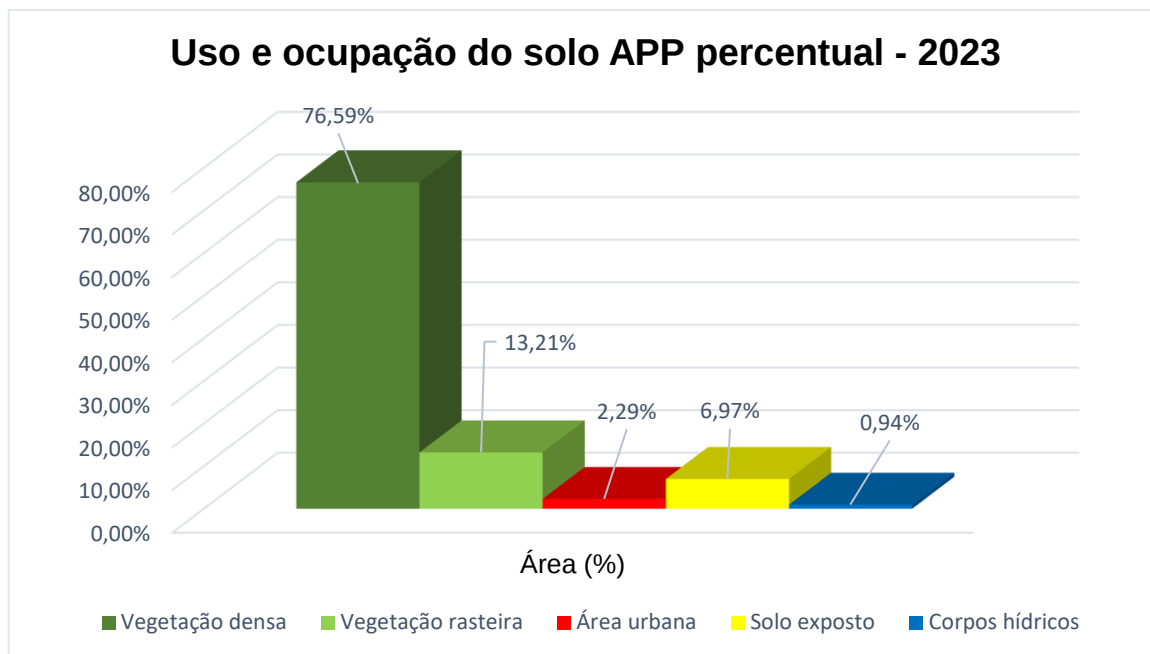
Tabela 15 – Uso e ocupação do solo percentual da APP do córrego São Pedro

Classe	Área (%)
Vegetação densa	76,59%
Vegetação rasteira	13,21%
Área urbana	2,29%
Solo exposto	6,97%
Corpos hídricos	0,94%
Total	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

As informações foram introduzidas em um gráfico para melhor visualização dos percentuais, conforme exibido na Figura 14.

Figura 14 - Uso e ocupação do solo percentual da APP da microbacia em 2023

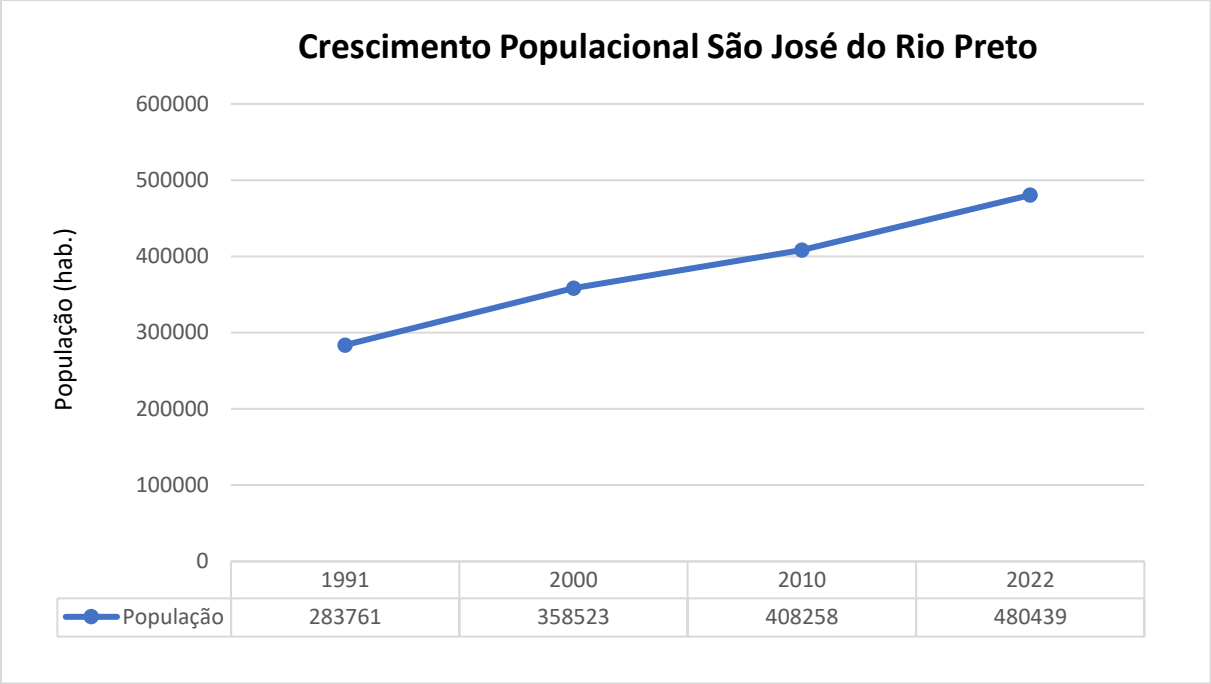


Fonte: Elaborado pelo autor

É notável que aproximadamente 90% da APP se constitui da vegetação, tanto densa quanto as pastagens, sendo um sinal de extrema importância para a drenagem das regiões adjacentes ao curso d'água. Ademais, por ter uma considerável presença de mata ciliar na APP, conseqüentemente gera uma maior estabilidade do solo no local, minimizando processos erosivos e solapamento das margens (Kageyama et al., 2001). A área urbana, apesar de somente estar em 2,29% da área, ainda é um fator de risco para os residentes locais, estando sujeita aos problemas ambientais devido à baixa manutenção da bacia pela sua densidade hidrográfica citada anteriormente.

Com base nos dados obtidos e com o suporte do censo demográfico de São José do Rio Preto (IBGE, 2024), foi possível elaborar gráficos que retratam o crescimento populacional da cidade. Esses gráficos permitiram visualizar de maneira clara como a população de Rio Preto se desenvolveu ao longo do tempo.

Figura 15 – Crescimento da população da cidade de São José do Rio Preto



Fonte: IBGE (2024) – Editado pelo autor

O gráfico revela o padrão de desenvolvimento da população da cidade em geral. Contudo, é possível perceber um aumento populacional mais acentuado a partir de 2000, um período marcado por significativas mudanças na matriz econômica da cidade, com uma maior participação de determinados setores. Igualmente, no início deste século, evidenciou-se a entrega de alguns bairros próximos a microbacia pela prefeitura de São José do Rio Preto, como por exemplo o parque da cidadania que conta com 4.600 moradores, o que contribui para a urbanização próxima ao curso d'água. A figura a seguir relata essa diferença da região da microbacia entre os anos de 2004 e 2024 causada pelo crescimento populacional.

Figura 16 – Microbacia do córrego São Pedro em 2004 (acima) e 2024 (abaixo)

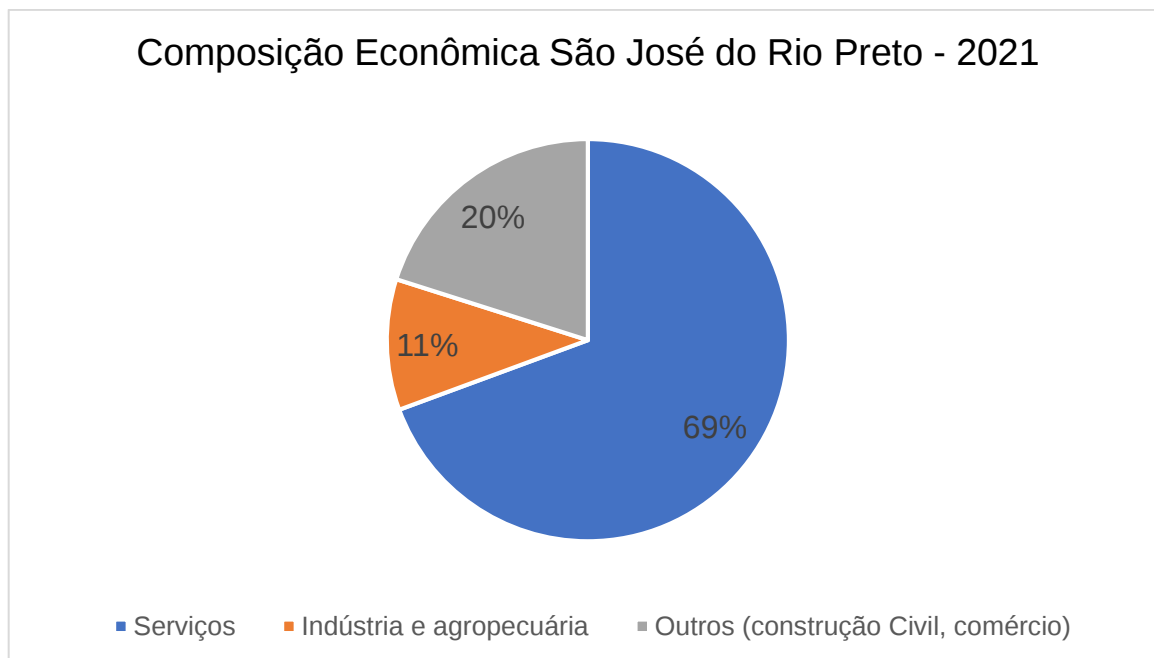


Fonte: Google Earth

A evolução demográfica da região se deve ao aumento da economia da cidade nos últimos anos. Segundo o IBGE, em 2000, o PIB de São José do Rio Preto foi de aproximadamente R\$ 3,380 bilhões, enquanto em 2021, o PIB subiu para R\$ 20,9 bilhões. Dentre essa composição econômica mais recente, o setor de serviços é o mais fundamental com R\$ 14,5 bilhões representando 69% da economia, também se

destacam o setor industrial e agropecuário com R\$ 2,2 bilhões, como é observado na Figura 17.

Figura 17 – Composição econômica em São José do Rio Preto



Fonte: IBGE (2024) – Editado pelo autor

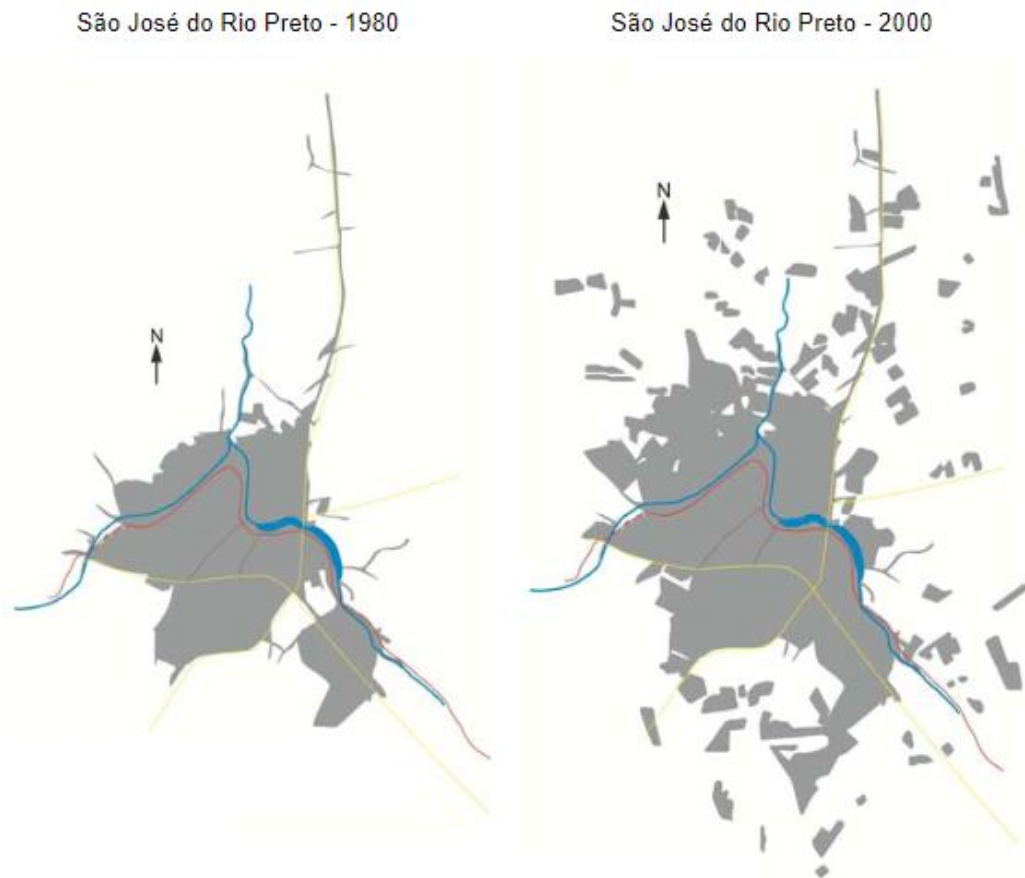
Para a área da bacia examina-se algo semelhante com o gráfico analisado. No início dos anos 2000, com a entrega dos loteamentos na região o setor econômico da construção civil e de serviços foram os mais beneficiados. Dessa forma, atraiu novos investimentos para o local, e como consequência, novas residências domiciliares e comércio.

Essa característica se encaixa com a política do estado de São Paulo entre 1980 e 2000 de desconcentração industrial da capital rumo ao interior paulista. Os incentivos do governo para a indústria e agroindústria geraram um expressivo dinamismo para São José do Rio Preto. A indústria se diversificou e, por sua vez, impulsionou o setor terciário, sobretudo, nas áreas: médica, financeira, contábil, jurídica e educacional. O crescimento e a modernização desses setores consolidaram o papel de polo urbano regional que abrange, hoje, uma vasta região do estado de São Paulo (Francisco, 2011). De acordo com Vasconcelos (1990) a sua permanência por um longo período histórico como polo de comércio e de serviços modernos que se recicla constantemente é o que diferencia São José do Rio Preto das demais cidades que também são centros regionais no oeste paulista.

A cidade foi beneficiada pelo Programa Cidades de Porte Médio em âmbito nacional, que fez parte do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND). Esse programa destinou recursos, sem necessidade de reembolso, para a melhoria da infraestrutura urbana de cidades de médio porte, além de apoiar financeiramente outros projetos. Em São José do Rio Preto, o programa também viabilizou recursos para a criação de um setor de planejamento na prefeitura, responsável pela elaboração de um Plano de Desenvolvimento, o que resultou em novas legislações, além de investimentos em habitação, infraestrutura e equipamentos sociais para as áreas mais necessitadas, como pode ser observado nas proximidades do córrego São Pedro.

A década de 1980 se destacou como um período de grandes mudanças, durante o qual a cidade registrou um expressivo aumento populacional de 4,05% e expansão urbana. Esse processo ocorreu em duas frentes: a intensificação da verticalização no centro da cidade e a ampliação das áreas periféricas. No que diz respeito à expansão periférica, esse período representa uma ruptura no padrão de crescimento horizontal da cidade, que até então ocorria de maneira relativamente integrada à malha urbana. Nesse momento, observa-se uma dispersão promovida pelos novos loteamentos, conforme exibido na Figura 18.

Figura 18 - Evolução urbana de São José do Rio Preto – 1980-2000



Fonte: Francisco (2011)

Analisando a Figura 18, constata-se que a verticalização do município ocorreu nas zonas mais periféricas, principalmente na região norte, onde se encontra a microbacia em estudo. Essa ocupação se justifica pelo fato de a localização estar em uma área mais popular da cidade, em que os loteamentos são financeiramente viáveis. Entretanto, como as leis eram bastante rigorosas em relação à criação de novos loteamentos, tanto em áreas urbanas quanto rurais, e, além disso, os loteamentos urbanos necessitavam de aprovações nas esferas municipal e estadual para que pudessem ser registrados, os especuladores, a partir de então, recorreram à ilegalidade, concentrando suas atividades nas áreas periféricas mais distantes.

Conforme a prefeitura, atualmente a cidade subdivide-se em cerca de 360 bairros, loteamentos e residenciais. Segundo dados do IBGE, em 2000, a cidade contava com 108.233 domicílios registrados. No censo de 2022, esse número alcançou expressivos 220.173 domicílios, ou seja, um aumento de 103% neste

comparativo, esse fator se deve essencialmente aos conjuntos habitacionais produzidos em série, para o barateamento e consequente possibilidade de aquisição da casa própria pela classe média da cidade.

Essa condição é igualmente observada no número de bairros da microbacia do córrego São Pedro, em que no início do século XXI apenas contava com 2 bairros e nos dias atuais 6 bairros são cortados pelo curso d'água. Por esse crescimento ter ocorrido de forma desordenada e sem planejamento, os problemas ambientais são evidentes quanto ao recebimento de esgoto doméstico, no qual somente é tratado alguns metros antes de sua foz, e também a ausência de cobertura vegetal, causada pela influência da urbanização no local resultando em uma mata ciliar inadequada.

Dessa forma, os fatores que ocasionam as adversidades no meio ambiente apresentam inconformidade com a legislação referente ao Programa Permanente de Gestão de Águas Superficiais (PGAS) de São José do Rio Preto (Lei 10.290/2008). O programa tem como objetivos garantir água para o abastecimento urbano através da continuidade do aproveitamento e uso das águas do Rio Preto, dentro dos limites ambientais e hidrológicos que as condições climatológicas da região e as leis ambientais permitam, além de viabilizar a realização das melhorias de interesse da sociedade, visando o controle das cheias, de modo a minimizar situações de riscos ambientais, econômicos, sociais e humanos delas decorrentes, em função da situação atual e da tendência futura da ocupação do solo.

Igualmente, de acordo com Artigo 5 da Lei 10.290/2008, é importante que toda edificação a ser aprovada pelo Poder Público Municipal, cuja superfície impermeável resulte em área superior a 100 metros quadrados, deverá contemplar em seu projeto a construção de dispositivos de retenção/detenção das águas pluviais que retardem o escoamento destas para a rede pública de drenagem, com previsão de vazão máxima específica igual a 13 litros por hora por metro quadrado, estabelecendo assim as condições de monitoramento, de controle e de conservação ambiental da bacia que está sendo analisada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da população e da urbanização, juntamente com o desejo de modernização observado nesse período, expôs a região da bacia do córrego São Pedro a novos desafios sociais, ambientais e urbanos, especialmente no que diz respeito à construção de moradias populares. Com base em todas as análises realizadas, torna-se imprescindível abordar a necessidade de intervenção do poder público e a implementação de medidas em relação à realidade constatada, visto que há dúvidas sobre a questão da segurança para a população que habita em seu entorno. Este é o momento de reconsiderar e reorganizar os mecanismos públicos de ocupação de terras, por meio da Lei 10.290/2008, monitorando e propondo ações para os locais que estão sendo afetados. O estudo prévio para a caracterização dos solos é essencial e deve ser tratado com a devida importância, especialmente em áreas críticas, como as próximas a recursos hídricos. O desenvolvimento econômico de uma cidade é fundamental, mas deve estar acompanhado de uma gestão eficiente de seus recursos naturais e ambientais. Em outras palavras, as ações devem ser preventivas, e não corretivas, para evitar ou até eliminar muitos dos danos sociais, ambientais e econômicos.

7. CONCLUSÃO

Os resultados da análise morfométrica mostram que a bacia possui um formato quase circular ($I_c = 0,67$). O sistema de drenagem é pouco desenvolvido e escasso ($D_d = 0,70 \text{ km/km}^2$), com limitada capacidade de formar novos cursos d'água ($D_h = 0,55 \text{ canais/km}^2$) e uma difícil manutenção por área ($C_m = 1429,08 \text{ m}^2/\text{m}$).

Além disso, quanto a sua geometria o córrego São Pedro se define como alongado ($K_f = 0,35$) e reto ($I_s = 1,08$). No que diz respeito ao relevo, possui uma baixa razão do mesmo ($R_r = 0,016$), com uma amplitude altimétrica de 120 m. Referente a declividade, a área da microbacia predomina-se um declive suavemente ondulado, contudo, nas regiões próximas ao curso d'água, o declive moderadamente ondulado é o que prevalece, o que gera preocupação devido aos parâmetros de densidade de drenagem e coeficiente de manutenção, consequentemente, a chance de o sistema de drenagem se tornar inadequado no futuro, o que pode afetar o equilíbrio e o comportamento dos recursos hídricos.

Por meio da análise histórica do local, o processo de urbanização foi intenso e acelerado, da mesma forma que ocorreu na cidade no geral, em especial nos últimos 20 anos. Com auxílio da imagem LandSat 8 da microbacia, verificou-se uma forte presença de área urbanizada, o que causa impermeabilização do solo nesses pontos, dificultando a infiltração da água da chuva. Na APP da bacia, a construção de domicílios em suas proximidades prejudica a cobertura vegetal do local, fazendo com que a água provinda das precipitações escoe rapidamente.

Outro fator notável em relação ao uso e ocupação do solo é a influência da área de solo exposto da região que ocupa 28,18% do total. Essa condição faz com que possam ocorrer novas expansões em breve, com o investimento do setor imobiliário. Em uma área vulnerável a alagamentos, é fundamental que o poder público ofereça cada vez mais suporte com mais áreas verdes ao redor do curso d'água, a fim de garantir que o desenvolvimento econômico e o crescimento da região não ultrapassem os limites da segurança, do bem-estar da população e das normas ambientais. Esse apoio deve ser priorizado nas fases iniciais de estudo para a instalação de novos empreendimentos, e não apenas como uma medida de controle posterior, como está sendo feito atualmente, por isso, a Lei 10.290/2008 deve entrar em vigor na região, visando tratar da retenção das águas pluviais excedentes geradas com

impermeabilização das áreas ocupadas e também com o projeto de combate a enchente nos principais talwegues.

Percebe-se, portanto, que o sensoriamento remoto pelo software SPRING desempenha um papel crucial ao auxiliar no mapeamento da cobertura vegetal e na identificação dos padrões e tipos de uso do solo. Ademais, contribui para a elaboração de planejamentos ambientais e para a aplicação de instrumentos legais, tanto no monitoramento e criação de áreas protegidas quanto no apoio à implementação de medidas mitigadoras e à punição em casos de danos ou crimes ambientais, o que deve agir em conjunto com conscientização da população local para prevenir as adversidades na microbacia em questão.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia Hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, Edição Especial 1: Geografia Física, v. 3, n. 7, p. 201–209, 2012
- ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado. Bahia: UFBA, 1998.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.2, p.117-124, 2003.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- BARBOSA, T. S.; FURRIER, M. Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Marés – PB, para verificação de influência neotectônica. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 112-120, 2012.
- BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p.211-222, 2015.
- BOLLMANN, H. A. Avaliação da qualidade das águas em bacias hidrográficas urbanas. In: ANDREOLI, C. V. (org.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão – estudo de caso do Altíssimo Iguaçu**. Curitiba, Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, pp. 267-316, 2003.
- BORDALLO, C. L. A. **A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento dos Recursos Hídricos**. Belém: NUMA/UFPA, 1995.
- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems: methods and requirements for land use planning**. Clarendon Press, Oxford, 1986.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 6, n.1, p. 71-82, 2001.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, May-Jun 1996.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, pp. 241-248, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COLLISCONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2013.

COSTA, A. A. D.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.35, n.74, p.483-500, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/19825153.2020v35n74p483/42975>. Acesso em: 26 set. 2024.

DURY, G. H. Tidal stream action and valley meanders. **Australian Geographical Studies**, v. 7, n. 1, p. 49-56, 1969.

FRANCISCO, A. M. **Contribuição à história da urbanização de São José do Rio Preto-SP**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente – SP, 2011. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/view/2274/2080>. Acesso em: 03 out. 2024.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v.11, p.53-57, 1952.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

GRITTI, O.; BOZA, D.; TRENTIN, R. Uso da geotecnologia na análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Baios. **Revista De Geografia**, v.40, p.179-199, 2023.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

HAUGHTON, G.; HUNTER, C. **Sustainable Cities**. Jessica Kingsley Publishers/Regional Studies Association, London, 1994.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro: Séries históricas de São José do Rio Preto – SP**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-do-rio-preto/pesquisa/43/0?ano=1991&indicador=30281>>. Acesso em: 03 de out. 2024.

JENKS, M.; BURGESS, R. **Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries**. London, Spon Press, 2000.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. Tradução por pesquisadores do INPE: J. C. N. Epiphany (Coord.), A. R. Formaggio, A. R. Santos, B. F. T. Rudorff, C. M. Almeida, L. S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KAGEYAMA, P.Y; GANDARA, F. B; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. **Restauração da mata ciliar - manual para recuperação de áreas ciliares e microbacias**. Rio de Janeiro: Semads, 2001.

LEPSCH, I. F. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. **Revista Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 175 p, 1991.

LIMA, E. A. C. F.; Silva, H. R.; Altimare, A. L. Uso atual da terra no município de Ilha Solteira, SP, Brasil: riscos ambientais associados. **Holos Environment**, v.4, p.81-96, 2004.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

LOBÃO, J. S. B.; MACHADO, R. A. S.; SOUZA, A. P. M. J.; VALE, R. M. C. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Feira de Santana, BA. INPE, 2011, p.1441-1448.

MENDES, D. M.; COSTA, D. P.; ROSA, D. M.; VENDRUSCOLO, J.; CAVALHEIRO, W. C. S.; RODRIGUES, A. A. M. Morfometria e desmatamento da microbacia do rio Pirarara, Cacoal, Rondônia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, 2021.

MENEZES, J.P.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIAS, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária**, v.21, n.3, p.519-534, 2016.

MENEZES, J. P. C.; FRANCO, C. S.; OLIVEIRA, L. S. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; FIA, R. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.4, p.659-672, 2014.

MIOTO, C. L.; RIBEIRO, V.O.; SOUZA D. M. Q.; PEREIRA, T. V.; ANACHE, J. A. A.; FILHO, A. C. P. Morfometria de Bacias Hidrográficas Através de SIGs Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, p.16-22, nov. 2014.

MOURA, R. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; LEITE, M. A.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; MACHADO, L. F. Qualidade da água para fins de irrigação na Microbacia do Córrego do Cinturão Verde, município de Ilha Solteira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, p.68-74, 2011.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

PIEIDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 1980. 161 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1980.

PISANI, M. A. J. **As enchentes em áreas urbanas**. Ed. 03, p.42-45. SINERGIA. São Paulo, 2001.

PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v. 34, n. 4, p. 669-676, jul./ago. 2010.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.15-23, Porto Alegre, RS, 2000.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, 2008.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – PSJRP. **Lei n.º 10.290 de 24 de dezembro de 2008**. Cria no município o Programa Permanente de Gestão das Águas Superficiais (PGAS) da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-jose-do-rio-preto/lei-ordinaria/2008/1029/10290/lei-ordinaria-n-10290-2008-cria-no-municipio-o-programa-permanente-de-gestao-das-aguas-superficiais-pgas-da-bacia-hidrografica-do-rio-preto-e-da-outras-providencias>> Acesso em: 11 de nov. 2024.

SANTOS, R.L. Estudo Morfométrico da Bacia do Riacho Açaizal – MA/Brasil. **Revista Percorso - Nemo**, Maringá, v.6, n.1, p.105–126, 2014.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SILVA, I. A fotogrametria é Definitivamente Digital. **Revista InfoGEO**. nov/dez 98. Ano 1. N° 4. p. 48 e 51. 1998.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Presidente Prudente: Universidade Estadual de São Paulo, 2012.

SILVA, A. R.; SILVA, M. F.; SANTOS, L. C. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio cacau-MA. **Revista Percorso - Nemo**, Maringá, v. 6, n. 2, p. 141-153, dez. 2014.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **New Halen: Transactions: American Geophysical Union**, 1957. v.38. p. 913-920.

TEODORO, P. H. M.; NUNES, J. O. R. Os alagamentos em Presidente PrudenteSP: um trabalho interdisciplinar embasado no mapeamento geológico. **Revista Formação**, n.17, volume 2 – p. 81-102. São Paulo, 2007.

TRAJANO, S. R. R. S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B. O.; TOSCHI, H. H.; LISBOA, F. S. **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**. Campinas, SP: Embrapa Gestão Territorial, 2012. 35 p. (Embrapa Gestão Territorial. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84896/1/0000010346BPD-Analise-morfometrica.pdf>. Acesso em: 27 set. 2024.

VALERIANO, M. M. **Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004.

VASCONCELOS, L. A. T. **A região administrativa de São José do Rio Preto**. In: FREITAS, J.B.S. (org.). Cenários da Urbanização Paulista: regiões administrativas. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo: Fundação Seade, 1990.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZANCOPÉ, M. H. C.; PEREZ FILHO, A.; CARPI JÚNIOR, S. Anomalias no perfil longitudinal e migração dos meandros do Rio Mogi Guaçu. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, 2009.