

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO NOS
LAGOS ARTIFICIAIS CONSTITUINTES
DA REPRESA DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP.**

Isabella de Oliveira Franco

Profa. Dra. Vânia Silvia Rosolen

Rio Claro (SP)
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ISABELLA DE OLIVEIRA FRANCO

AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO NOS LAGOS
ARTIFICIAIS CONSTITUINTES DA REPRESA DE SÃO JOSÉ
DO RIO PRETO – SP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2021

ISABELLA DE OLIVEIRA FRANCO

AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO NOS LAGOS
ARTIFICIAIS CONSTITUINTES DA REPRESA DE SÃO JOSÉ
DO RIO PRETO – SP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Vânia Silvia Rosolen (orientadora)

Msc. Lucas Moreira Furlan

Msc. Willian Leandro Henrique Pinto

Rio Claro, 23 de fevereiro de 2021

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

F825a Franco, Isabella de Oliveira
Avaliação do Assoreamento nos Lagos Artificiais Constituintes da Represa de São José do Rio Preto - SP / Isabella de Oliveira Franco. -- Rio Claro, 2021
57 f.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientadora: Vânia Silvia Rosolen

1. Reservatórios. 2. Erosão. 3. Dragagem. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

*Aos meus pais, por serem o início e o meio.
À UNESP, por ser o meio e o início.
A todos que, por isso, agora fazem parte de mim.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Eduardo e Raquel por todos os tipos de apoio possíveis, pelo incentivo e por acreditarem em mim. Obrigada pelo exemplo que são.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, por compartilharem as dores e alegrias tanto acadêmicas quanto pessoais, por poder chamá-los de amigos com convicção. Obrigada, Cynthia, Bruno, Davi, Pietro e Jéssica!

Aos que foram meu suporte e meu alento. Gabriel M., obrigada por me compreender, aceitar e ser minha esperança. Bia, obrigada por estar aqui desde sempre e para sempre.

À minha orientadora Profa. Dra. Vânia Rosolen, por ter sido tão paciente e compreensiva e por, além de me guiar academicamente, ter compartilhado comigo sua inteligência, visão de mundo e ideais inspiradores.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, por ter sido o palco de tudo e por ter transformado para sempre minha vida.

À toda a equipe da Ser Geo, pela confiança que depositaram em mim e por todo o conhecimento que me proporcionaram. Sou extremamente grata.

A todos os professores, pós-graduandos, técnicos e demais funcionários da universidade que contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que surgiram no caminho e que me transformaram e foram transformadas. Vocês sabem quem são.

RESUMO

O município de São José do Rio Preto - SP, tem seu abastecimento de água baseado na captação subterrânea de aquíferos (78%) e captação superficial do Manancial Rio Preto (22%) que abastece os 3 lagos reservatórios artificiais constituintes do Parque da Represa Municipal. Esses reservatórios vêm sofrendo com o assoreamento, tendo pontos em seu interior que chegam a ter apenas 0,30 m de profundidade média. O desassoreamento dos reservatórios é realizado em média a cada 5 anos por meio de dragagem, mas a obra que estava prevista para 2018 foi adiada por impedimentos ambientais relacionados a disposição do material dragado. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é identificar e caracterizar as variáveis responsáveis pelo assoreamento nos lagos artificiais da represa de São José do Rio Preto e propor uma destinação que seja econômica e ambientalmente viável para os sedimentos a serem dragados. Para isso, foi realizada uma ampla contextualização do meio físico, procurando entender como a geologia, clima, solos e uso da terra, influenciam no processo de erosão e assoreamento. Para realizar a análise espaço-temporal, foram usadas técnicas de sensoriamento remoto integradas à Sistema de Informações Geográficas (SIG) e aplicadas às imagens de satélites dos anos de 2000, 2010, 2020. A análise espaço-temporal mostrou a dinâmica da expansão urbana, principalmente entre os anos 2000 e 2010, assim como o grande aumento de solo exposto entre 2010 e 2020. A atual dinâmica de uso do solo em conjunto com o meio em que se insere o município, uma região caracterizada por substrato e solos arenosos e sazonalidade de precipitação, geram insegurança hídrica notável principalmente nos períodos de estiagem. Analisando as variáveis que ocasionam o problema estudado e as necessidades públicas que devem ser supridas, propõe-se que seja realizada a dragagem do leito dos reservatórios em caráter de urgência, e buscando uma solução para o problema com a disposição que seria dada aos sedimentos propõe-se o uso da areia extraída como minério, visto a alta demanda da substância pelo município. Em um contexto social que busca a sustentabilidade, a possibilidade de solucionar uma grave questão de saúde pública, visto que o assoreamento dos reservatórios pode impactar negativamente o abastecimento de água, e impulsionar a economia local, é um tema extremamente atual e que não pode ser ignorado.

Palavras-chave: Assoreamento; Reservatórios de Água; Dragagem.

ABSTRACT

The municipality of São José do Rio Preto - SP, has its water supply based on the underground abstraction of aquifers (78%) and surface abstraction of the water source Rio Preto (22%) that supplies the 3 artificial reservoir lakes that constitute the Parque da Represa Municipal. These reservoirs have been suffering from silting, with points in their interior that are only 0.30 m deep. The desilting of the reservoirs is carried out on average every 5 years by means of dredging, but the work scheduled for 2018 was postponed due to environmental impediments related to the disposal of the material that would be dredged. Therefore, the objective of this work is to identify and characterize the variables responsible for silting up the artificial lakes of the São José do Rio Preto dam and propose a destination that is economically and environmentally viable for the sediments to be dredged. For this, a broad contextualization of the physical environment was carried out, trying to understand how geology, climate, soils, and land use, influence the erosion and silting up processes. To perform the spatio-temporal analysis, remote sensing techniques integrated with the Geographic Information System (GIS) were used and applied to satellite images from the years 2000, 2010, 2020. The spatio-temporal analysis showed the dynamics of urban expansion, mainly between the years 2000 and 2010, as well as the great increase of exposed soil between 2010 and 2020. The current dynamics of land use together with the environment in which the municipality is inserted, a region characterized by substrate and soils sandy areas and precipitation seasonality, generate notable water insecurity mainly in periods of drought. Analyzing the variables that cause the studied problem and the public needs that must be met, it is proposed that the dredging of the reservoir bed be carried out urgently, and seeking a solution to the problem with the disposition that would be given to the sediments, is proposed use of the extracted sand as an ore, given the high demand for the substance by the municipality. In a social context that seeks sustainability, the possibility of solving a serious public health issue, since the silting up of reservoirs can negatively impact water supply, and boosting the local economy, is a current topic and one that cannot be ignored.

Keywords: Silting up; Water Reservoir; Dredging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema representativo da localização do município de SJRP na unidade administrativa homônima (SP, Brasil).	10
Figura 2 – Mapa de localização dos reservatórios de São José do Rio Preto.	11
Figura 3 – Projeção da evolução populacional.....	13
Figura 4 – Estratigrafia da Bacia Bauru constando as Formações geológicas que ocorrem na área de estudo: S. José do Rio Preto e Vale do Rio do Peixe.	15
Figura 5 – Mapa Geológico de São José do Rio Preto.	16
Figura 6 – Geomorfologia na área de estudo.....	17
Figura 7 – Mapa Hipsométrico de São José do Rio Preto, SP.....	18
Figura 8 – Balanço Hídrico de São José do Rio Preto para o período de 12 meses (junho de 2018 à maio de 2019).....	19
Figura 9 – Pluviosidade (precipitação total em mm) para o município de São José do Rio Preto entre os anos de 2011 a 2018.....	19
Figura 10 – Pluviosidade (precipitação anual total em mm) para o município de São José do Rio Preto entre os anos de 2010 a 2018.	20
Figura 11 – Mapa Pedológico de São José do Rio Preto, SP.	21
Figura 12 – Localização da Sub-bacia 7 da UGRHI 15 (área de estudo) no estado de São Paulo.....	22
Figura 13 – Hidrografia de São José do Rio Preto, SP.	23
Figura 14 – Mapa de Processos minerários em São José do Rio Preto, SP.	26
Figura 15 – Mapa de Processos minerários na região imediata de São José do Rio Preto, SP.....	27
Figura 16 – Medidas de controle de erosão na bacia e em cursos d'água e margens de reservatórios.....	31
Figura 17 – Espectro eletromagnético destacando a faixa do visível.....	35
Figura 18 – Bandas do satélite Landsat, sensor TM e suas principais aplicações para faixas espectrais definidas.	36
Figura 19 – Mapa conceitual dos procedimentos executados para geração do mapa de uso do solo.	38
Figura 20 – Imagens de satélites em composição de cor verdadeira para cada ano estudado.....	40

Figura 21 – Mapas de uso do solo para os anos escolhidos.....	41
Figura 22 – Comparação entre as imagens de satélite e o mapa de uso do solo (anos de 2000, 2010 e 2020) para a área do Parque da Represa Municipal.	42
Figura 23 – Uso do solo na área estudada.	43
Figura 24 – Erosão fluvial em trecho urbano do Córrego dos Macacos.....	45
Figura 25 – Trecho do Córrego dos Macacos apresentando erosão fluvial em arenito.	45
Figura 26 – Trecho assoreado do córrego dos macacos exibindo a presença de lixo e entulho.....	46
Figura 27 – Reservatório “Lago 2” apresentando banco de areia (tracejado branco), decorrente de assoreamento, já coberto por vegetação.	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. ÁREA DE ESTUDO	9
2.1. Localização	9
2.2. Aspectos socioeconômicos e ambientais.....	12
2.3. Geologia.....	13
2.4. Aspectos Geomorfológicos	17
2.5. Clima.....	19
2.6. Vegetação	20
2.7. Solos	20
2.8. Hidrografia.....	22
2.9. Hidrogeologia	24
2.10. Recursos Minerais.....	25
2.11. Mercado Consumidor de Areia.....	28
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
3.1. Assoreamento de lagos artificiais.....	29
3.1.1. Causas	29
3.1.2. Impactos Negativos	30
3.1.3. Controle	30
3.2. Areia como agregado para construção civil	32
3.3. Sensoriamento remoto	33
3.3.1. O Espectro Eletromagnético	34
3.3.2. Satélites, sensores e bandas.....	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1. Análise espaço-temporal do uso do solo.....	37
4.2. Avaliação de suscetibilidade à erosão e assoreamento.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. Análise espaço-temporal do uso do solo.....	39
5.2. Suscetibilidade à erosão e assoreamento.....	44
5.3. Desassoreamento e uso da areia	47
6. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICE A – MAPAS DE USO DO SOLO DOS ANOS DE 2000, 2010 E 2020 PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO.	54

1. INTRODUÇÃO

O assoreamento é um processo relacionado à degradação do solo que ocorre quando este ou o material de alteração de rocha são expostos aos processos erosivos, são desestabilizados, transportados e depositados nas áreas topograficamente rebaixadas e em canais fluviais ocasionando aterramento ou entulhamento. Um dos principais problemas socioambientais relacionados a esse processo é a redução parcial ou total da capacidade de reservatórios de água utilizada em abastecimento público e geração de energia, problema este que, quando somado a outros fatores como a pluviosidade e clima, podem gerar graves crises hídricas, prejudicando não só a economia, mas principalmente a qualidade de vida da população do local afetado, como foi a crise hídrica de 2014 que afetou amplamente o território brasileiro, destacando-se a região sudeste (Agência Nacional Das Águas, 2017).

A cidade de São José do Rio Preto, localizada a noroeste do estado de São Paulo, tem seu abastecimento de água potável baseado na captação subterrânea (via poços) de água dos Aquíferos Guarani (28%) e Bauru (50%), e captação superficial do Manancial Rio Preto (22%) que se dá por meio 3 lagos reservatórios artificiais (SMPLA, 2019). Esses lagos que constituem ao Parque da Represa Municipal são um cartão postal e área de lazer da cidade e representam parte significativa do abastecimento hídrico.

Os reservatórios de acumulação da cidade que compõem o Sistema Rio Preto foram construídos na década de 1950 e desde então vêm sofrendo com o assoreamento que causa diminuição significativa de suas profundidades. Comparado com a década de 1980, no ano de 2014 foi calculada uma redução de 64% da capacidade de armazenamento e diminuição da profundidade dos lagos, sendo que o lago 2, o mais crítico, chegou a ter 0,30 m de profundidade média (Plano Municipal de Água e Esgoto, 2014). O Desassoreamento dos reservatórios vem sendo sistematicamente realizado em média a cada 5 anos por empresa terceirizada contratada pelo Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto de Rio Preto (SeMAE), mas o problema é recorrente.

A dragagem para desassorear os reservatórios estava prevista para 2018, porém licenças ambientais relacionadas a disposição do material a ser retirado causaram o adiamento do projeto. Calcula-se que cerca de 450 mil metros cúbicos de sedimento precisam ser retirados e 40 mil viagens de caminhão seriam necessárias para

transportar todo o material (PINHEIRO, 2019). O grande problema do projeto de desassoreamento consiste na finalidade que seria dada para este material retirado, não existindo uma previsão de local onde o sedimento poderia ser disposto.

Tendo em vista a recorrência do assoreamento e o agravamento do problema à medida em que os anos avançam e a população de São José do Rio Preto cresce, o que implica o aumento da demanda de água potável na cidade, torna-se imprescindível que sejam adotadas medidas mitigadoras de danos a longo prazo, identificando os principais causadores do problema e visando uma solução duradoura baseada no planejamento e gestão do uso do solo.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é identificar e caracterizar as variáveis responsáveis pelo assoreamento nos lagos artificiais da represa de São José do Rio Preto utilizando imagens multi-temporais de satélites e, a partir da identificação dos materiais a serem dragados, com base na geologia local e solos, propor uma finalidade ou destinação que sejam econômica e ambientalmente viáveis.

Os resultados gerados neste trabalho ajudarão avaliar as ações municipais relacionadas com a erosão e assoreamento dos corpos hídricos e a gestão dos recursos para garantia da segurança hídrica, contribuindo para um melhor planejamento urbano de São José do Rio Preto, e de demais municípios que sofrem com questões similares.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização

A área de estudo é a Represa Municipal para abastecimento público que está inserida na área urbana do município de São José do Rio Preto (SJRP), São Paulo, localizado a noroeste da capital do estado.

Sendo a cidade-sede, o município está inserido na região intermediária de São José do Rio Preto, uma das 11 regiões intermediárias do estado de São Paulo, e na região imediata de São José do Rio Preto, uma das 36 cidades que compõem a região (IBGE, 2017) (figura 1).

São José do Rio Preto é limitada a Norte pelos municípios de Ipiguá e Onda Verde, a Leste por Guapiaçu e Cedral, a Sul por Bady Bassitt e Oeste por Mirassol.

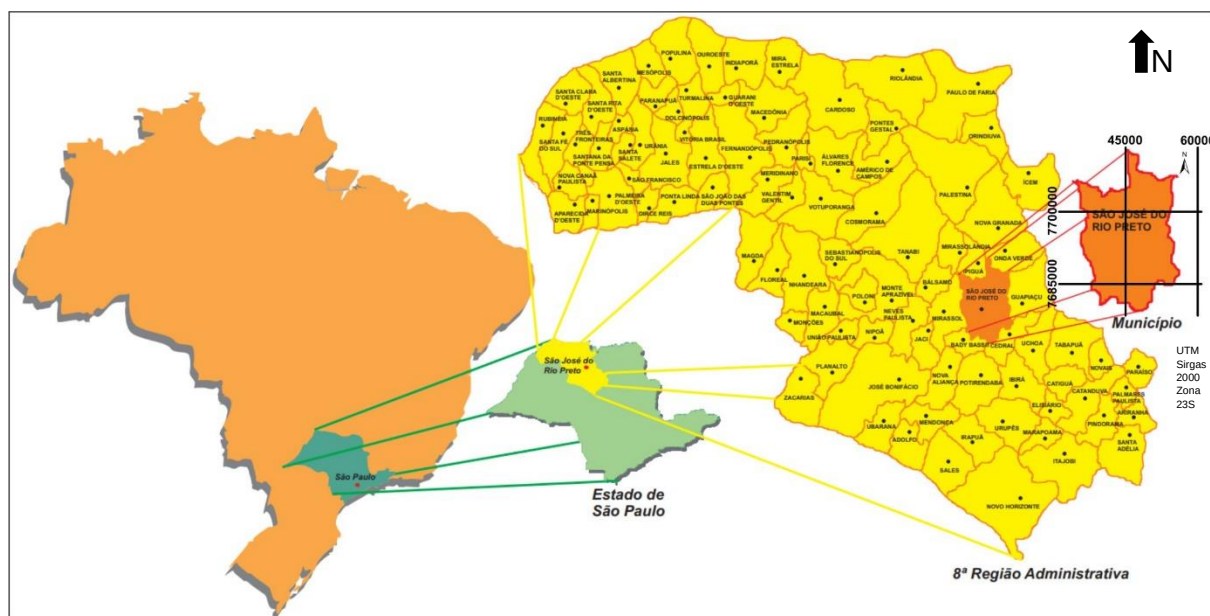
O acesso ao município pode ser realizado por quatro rodovias. A rodovia Transbrasiliana (BR-153), liga Rio Preto à capital federal, Brasília (DF), em direção a norte, e ao estado de Rio Grande do Sul em direção ao sul.

A rodovia Washington Luís (SP-310), faz a ligação à capital estadual, São Paulo.

A rodovia Assis Chateaubriand (SP-425), compreende o trajeto SJRP-Guaíra (a nordeste) e SJRP-Presidente Prudente, divisa com o estado do Paraná (a sudoeste).

A Rodovia Délcio Custódio da Silva (SP-427), liga o trecho SJRP-Mirassolândia.

Figura 1 – Esquema representativo da localização do município de SJRP na unidade administrativa homônima (SP, Brasil).

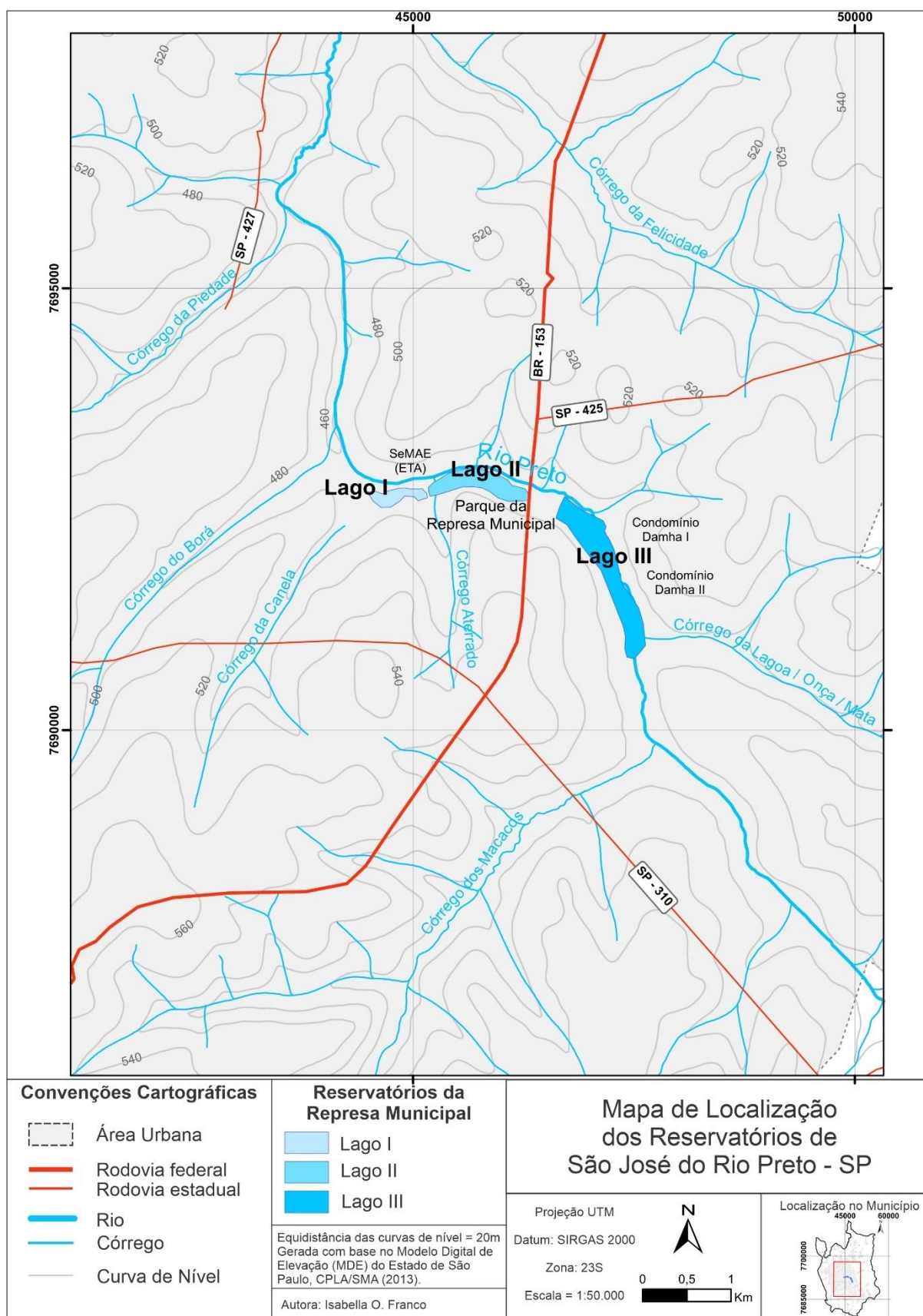


Fonte: modificado de SMPLAN (2019).

Neste contexto a área de estudo – Represa Municipal, está localizada dentro do perímetro urbano de de São José do Rio Preto, segundo o Plano Diretor de 2021 do município, e é constituída por 3 lagos reservatórios artificiais (figura 2).

O Lago I e Lago II, localizados a jusante do rio Preto, compõem o Parque da represa e são delimitados a norte pela Av. Lino José de Seixas. A sul o Lago I é delimitado pela Av. Duque de Caxias e o Lago II pela Av. Sabino Cardoso Filho.

Figura 2 – Mapa de localização dos reservatórios de São José do Rio Preto.



Fonte: elaborado pela autora. Dados de CPLA/SMA (2013).

O Lago III, localizado a montante do Rio Preto, é delimitado pelas avenidas Nadima Damha, Av. Nagib Gabriel, Av. Amélia Cury Gabriel e pela Estrada Vicinal Vicente Polachini.

2.2. Aspectos socioeconômicos e ambientais

Segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), o município de São José do Rio Preto possuía 408.258 habitantes, sendo o 12º mais populoso do estado. Em 2020, a estimativa é que a população seja de 464.983 pessoas, totalizando um aumento populacional de aproximadamente 13,9% de 2010 a 2020, podendo atingir 466.238 de habitantes em 2030 (figura 3) (SMPLAN, 2019).

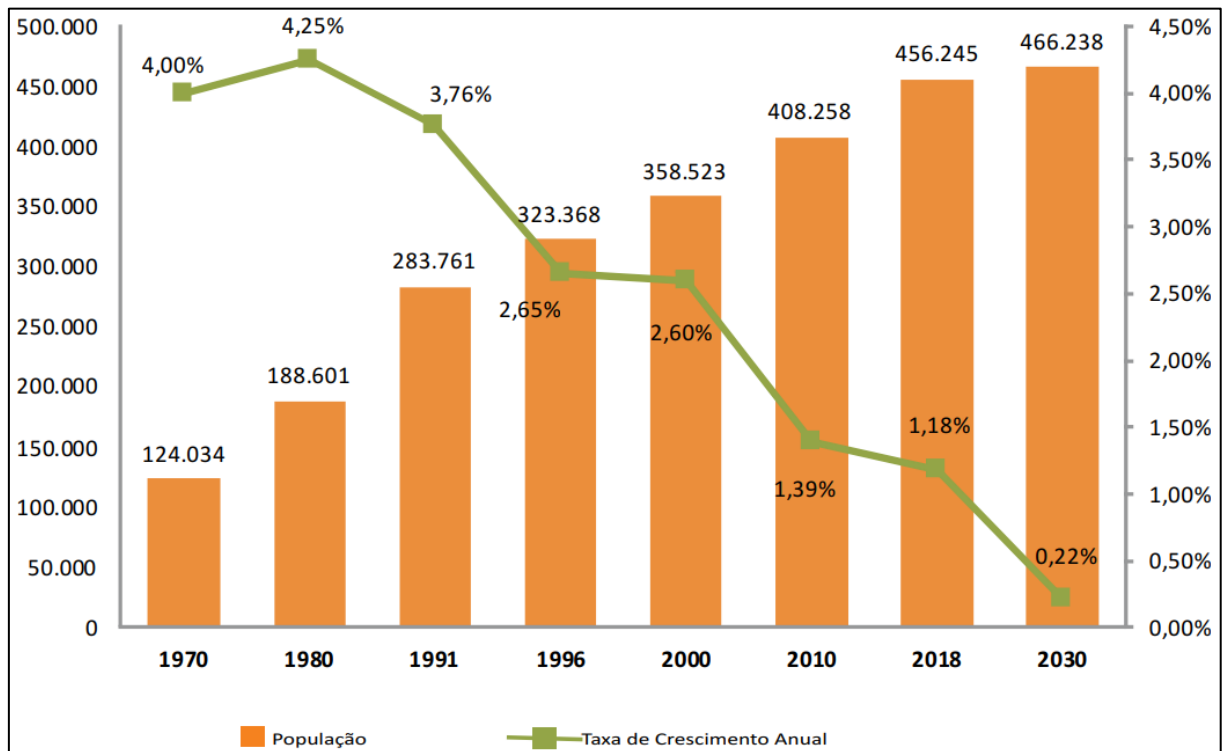
O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 2010 para São José do Rio Preto é 0,797 (Alto), estando na posição de 28ª no Estado. Entre 2000 e 2010 destacam-se os crescimentos nas dimensões de educação e longevidade (SMPLAN, 2019).

Por possuir população acima de 400.000, a cidade encontra-se na transição de médio para grande porte. Segundo Castilho (2006), o processo de desmetropolização e os processos de migração rural-urbana geram um crescimento desenfreado desses espaços urbanos, o que dificulta a ação do planejamento urbano devido aos impactos ambientais, o que motivou a realização desse trabalho para auxiliar tal planejamento.

A cidade é considerada um centro de produção e consumo de bens e serviços. O setor econômico terciário atualmente é a maior fonte geradora de PIB no município, em que se destaca o ramo de Prestação de Serviços (comércio). O setor econômico secundário é o segundo em geração de PIB, destacando-se as atividades relacionadas ao distrito industrial da cidade que é composto por micro e pequenas empresas. O setor primário compõe a menor parte do PIB, mas ainda sim apresenta relevância, destacando-se as culturas ligadas à Laranja e à Cana-de-Açúcar (Castilho, 2006).

Para o contexto do trabalho, é importante citar que todo o abastecimento e tratamento de água da cidade é realizado pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto (SeMAE). Os principais desafios ambientais enfrentados pela cidade são relacionados a recuperação de áreas degradadas e Áreas de Preservação Permanente (APPs); a existência de loteamentos irregulares; drenagem urbana; e a coleta e destinação de resíduos (SeMAE, 2014).

Figura 3 – Projeção da evolução populacional.



Fonte: Secretaria Municipal De Planejamento Estratégico, Ciência, Tecnologia e Inovação / IBGE
CENSOS DE 1960 A 2010.

2.3. Geologia

Na região de estudo afloram as unidades litoestratigráficas Fm. Vale do Rio do Peixe e Fm. São José do Rio Preto, ambas constituintes do Grupo Bauru (K), que em conjunto com o Grupo Caiuá integram a Bacia Bauru, dentro contexto da Província Paraná (PERROTTA et al., 2005).

A Bacia Bauru é uma bacia do tipo interior que se formou no início do Neocretáceo, após a ruptura do continente gondwânico, no centro-sul da Plataforma Sul-Americana, e se formou em decorrência da compensação isostática gerada pelo acúmulo de cerca de 2.000 m de lavas basálticas do Eocretáceo (magmatismo Serra Geral) que são o embasamento da bacia (FERNANDES, 2004). A sequência sedimentar da bacia é predominantemente arenosa e ocorreu em duas fases principais em decorrência dos ambientes essencialmente desértico e semi-árido que acumularam sedimentos que hoje tem espessura máxima preservada de cerca de 300 m e área de 370.000 km² (FERNANDES, 1998).

O Grupo Bauru é composto pelas formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília. Inclui também os

Analcimitos Taiúva, rochas vulcânicas localmente intercaladas na sequência e que ocorrem no lado oriental da bacia, principalmente no estado São Paulo, no Triângulo Mineiro (MG) e norte do Paraná. Tem como embasamento os basaltos da Formação Serra Geral, do qual é separado por não-conformidade, e apresenta passagem lateral gradual para o Grupo Caiuá, como mostrado na Figura 4 (FERNANDES, 2000).

A Formação Vale do Rio do Peixe é a unidade de maior expressão na área de estudo (figura 5). Ocorre em contato diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral e passa gradualmente, a oeste e sudoeste, para a Formação Santo Anastácio (Grupo Caiuá), encobrendo-a. Sua litologia é descrita por Fernandes e Coimbra (2000) como camadas de espessura submétrica, com estruturação tabular típica de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são muito finos a finos, de cor marrom-claro rosado a alaranjado, de seleção moderada a boa. Têm aspecto maciço ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte.

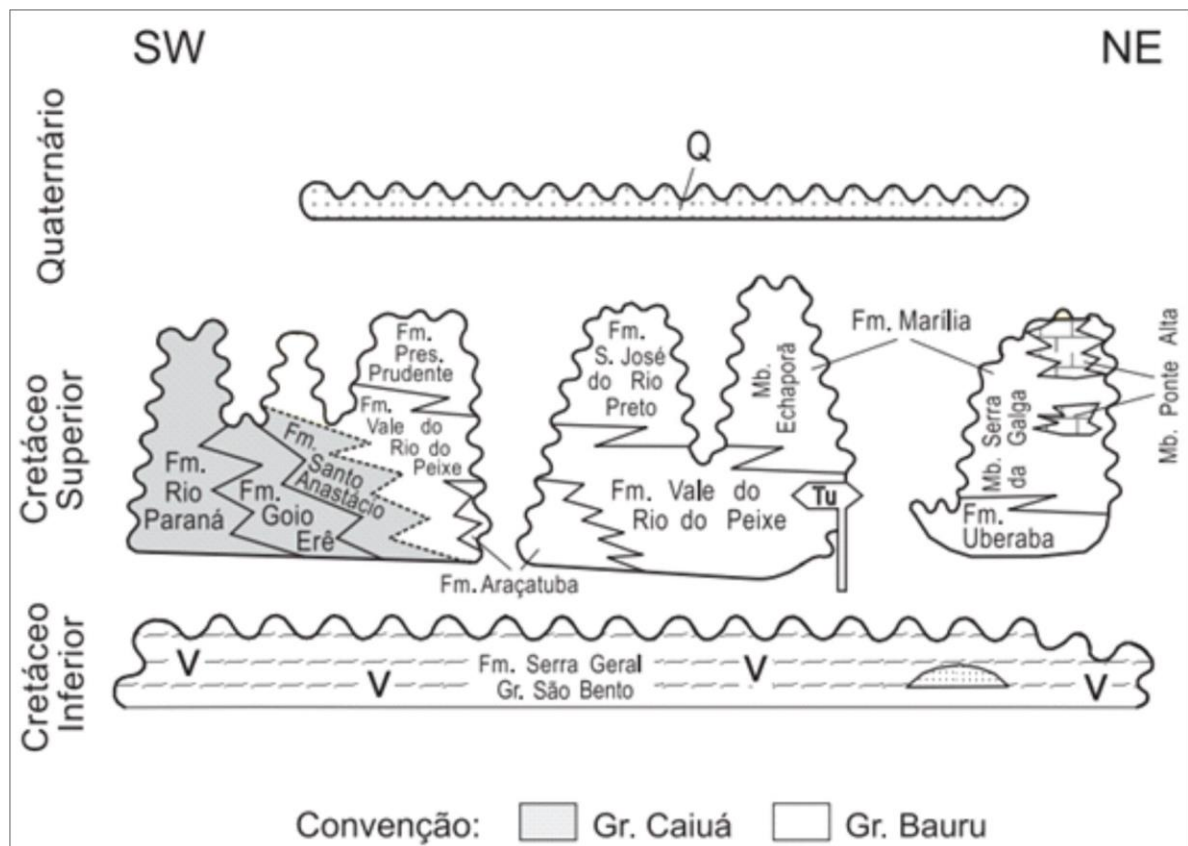
A formação Vale do Rio do Peixe corresponde a depósitos essencialmente eólicos, acumulados em extensas áreas planas, na forma de lençóis de areia e campos de dunas baixas, associados com depósitos de *loess*. O conteúdo fossilífero é composto por fragmentos de ossos de répteis, moluscos e artrópodes. Ocorrem ainda moldes de raízes, oogônios de algas caráceas e, possivelmente, tubos de pequenos animais.

A Formação São José do Rio Preto sobrepõe-se à Formação Vale do Rio do Peixe, com contato transicional localmente erosivo (diastemas). É descrita por Fernandes e Coimbra (2000) como uma unidade com estratificação cruzada acanalada a tabular tangencial na base, amalgamadas (padrão festonado), às vezes com intercalações subordinadas de camadas de arenitos a siltitos com estratificação plano-paralela e estruturas de fluxo aquoso de regime inferior, assim como lamitos argilosos maciços. Os arenitos são finos a muito finos, de cor marrom-claro a bege, seleção moderada a má e frequentemente conglomeráticos com frações areia média e grossa secundárias, com os clastos sendo nódulos carbonáticos, fragmentos de lamitos e argilitos, e seixos silicosos. Nas litofácies conglomeráticas é possível encontrar fragmentos de ossos, carapaças e dentes de dinossauros, crocodilos e quelônios, além de carapaças de invertebrados e restos de peixes, que representam o registro fossilífero da unidade. Essa formação é composta por depósitos

essencialmente arenosos, pouco maduros, frequentemente conglomeráticos, acumulados em barras fluviais de sistemas de canais entrelaçados, amplos e rasos.

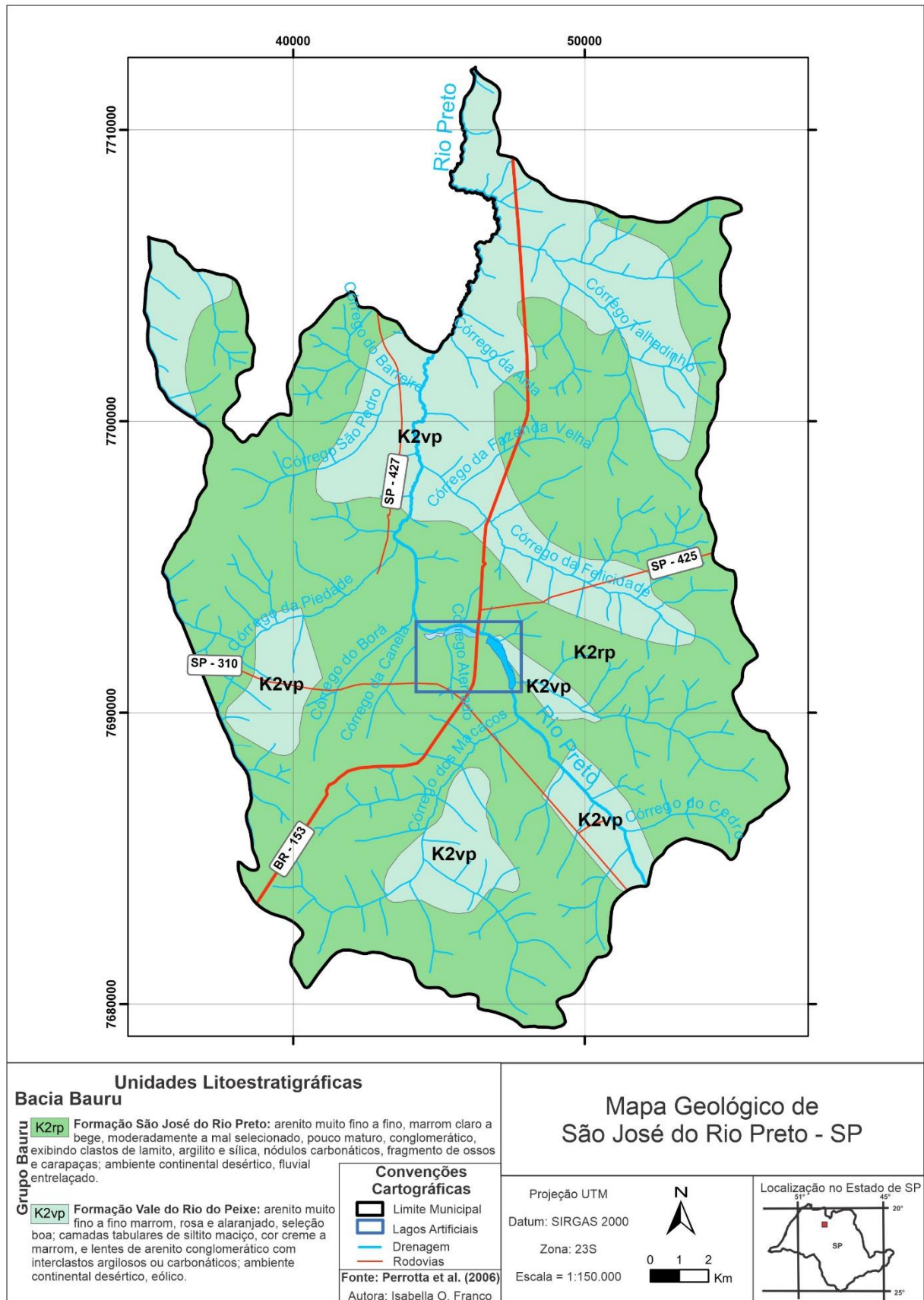
Sobrepondo a Fm. São José do Rio Preto ocorrem ainda os Depósitos Quaternários, que são constituídos essencialmente por depósitos aluvionares, colúvios e elúvios, com distribuição governadas pelos grandes cursos d'água (rio Preto e Turvo na região). Os depósitos aluvionares aparecem juntamente a maioria dos cursos d'água presentes na área, correspondem a depósitos formados por areia e cascalho que frequentemente dispõem-se em terraços afastados das atuais calhas dos rios. Os depósitos coluvionares, em geral, são areno-siltito-argilosos avermelhados, com linha de seixo na base e ocorrem frequentemente na encosta dos vales. Os depósitos eluviais e solos residuais ocorrem mais superficialmente, nos relevos de topo de interflúvio (IPT, 1981).

Figura 4 – Estratigrafia da Bacia Bauru constando as Formações geológicas que ocorrem na área de estudo: S. José do Rio Preto e Vale do Rio do Peixe.



Fonte: Fernandes e Coimbra (2000).

Figura 5 – Mapa Geológico de São José do Rio Preto.



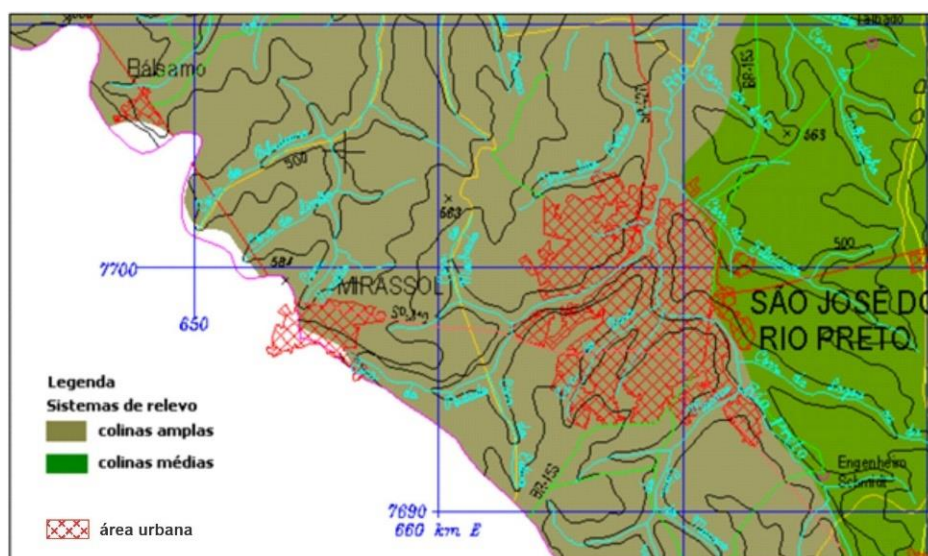
Fonte: elaborado pela autora. Dados de Perrotta et al. (2006).

2.4. Aspectos Geomorfológicos

Segundo Barcha (1980), a área estudada está contida no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo, e compreende as zonas rebaixadas do Baixo Planalto em sua porção Norte. A topografia é suave e o relevo é ondulado, relativamente uniforme, com extensos e baixos espigões de perfis convexos (ARID, 1966; ARID et al., 1970; BARCHA et al., 1973). As formas de relevo que ocorrem na região são colinas amplas e colinas médias (IPT, 1999), e apresentam profundo intemperismo químico agindo nas rochas, o que dificulta a exposição de afloramentos bem preservados, ficando restritos e mais evidentes em cortes ao longo de estradas, rodovias e ferrovias, porém com aspecto alterado (ARID, 1966) (figura 6).

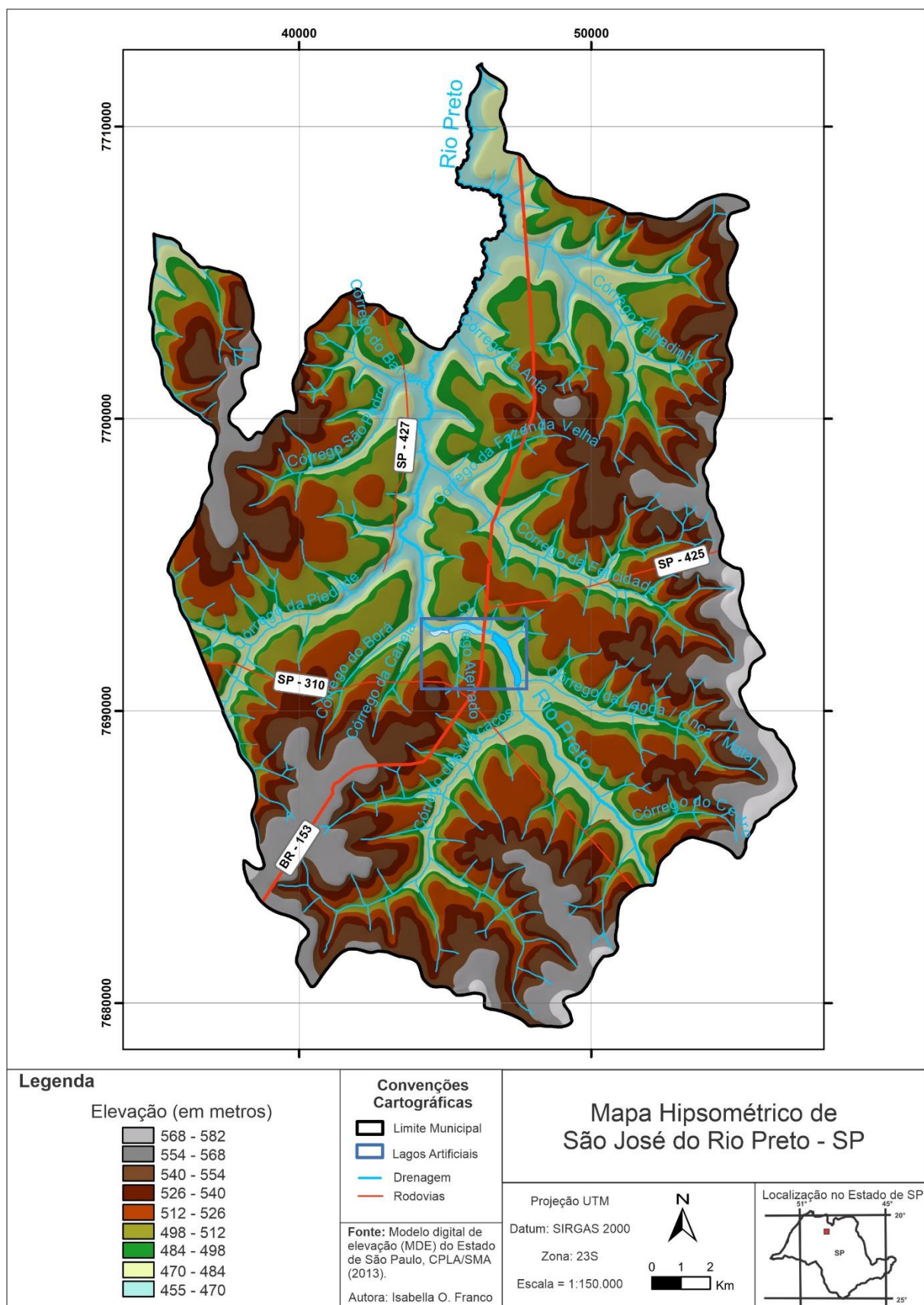
Segundo SERVIMAR (2007), nos relevos das colinas amplas predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos. Geralmente a drenagem é de baixa densidade e apresenta padrão subdendrítico. Os vales são abertos com a presença de planícies aluviais interiores restritas, podendo ocorrer lagoas perenes ou intermitentes. Nas áreas com relevo de colinas médias predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², de topos aplainados, drenagem de média a baixa densidade. As formas revelam que os entalhamentos médios dos vales são inferiores a 20 m e as dimensões interflúvias médias predominantes estão entre 1.750 e 3.750 m. As altimetrias variam entre 400 e 600 metros (figura 7) e as declividades médias predominantes das vertentes estão entre 2 e 10% (SERVIMAR, 2007).

Figura 6 – Geomorfologia na área de estudo.



Fonte: modificado de IPT (1999).

Figura 7 – Mapa Hipsométrico de São José do Rio Preto, SP.



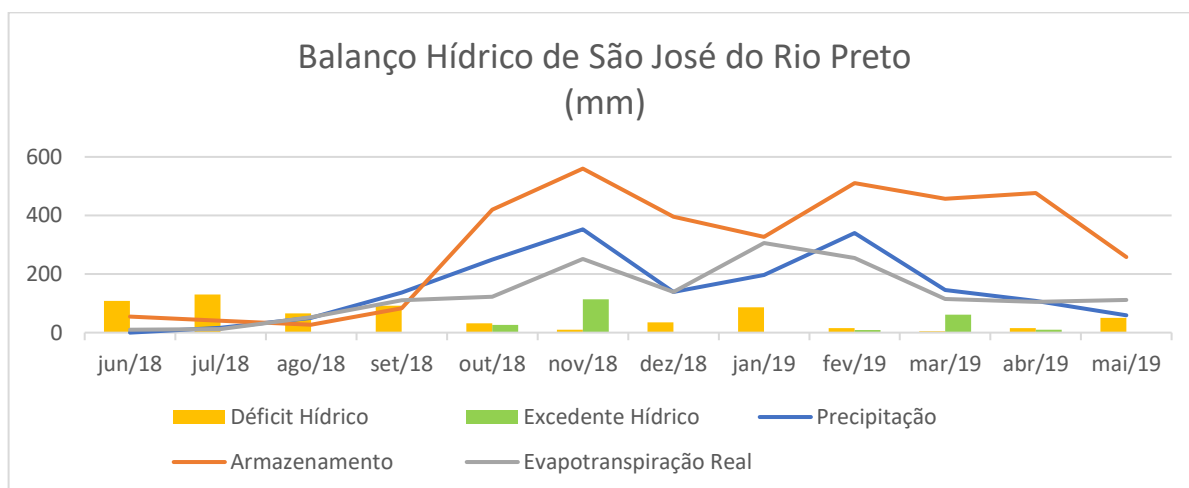
Fonte: elaborado pela autora. Dados de CPLA/SMA (2013).

2.5. Clima

O clima da área de estudo é tropical e possui uma sazonalidade caracterizada por um inverno seco e um verão úmido, sendo esta última estação marcada pelas chuvas convectivas, mais expressivas nos meses entre novembro a março e menos abundantes nos meses entre abril a setembro (CPTI, 2012).

O balanço hídrico para o período de junho de 2018 a maio de 2019 (CIIAGRO, 2020) comprova que durante o verão existem notáveis excedentes em curto período de tempo e os demais meses apresentam situação regular ou estresse (figura 8).

Figura 8 – Balanço Hídrico de São José do Rio Preto para o período de 12 meses (junho de 2018 à maio de 2019).



Fonte: elaborado pela autora. Dados de CIIAGRO (2020).

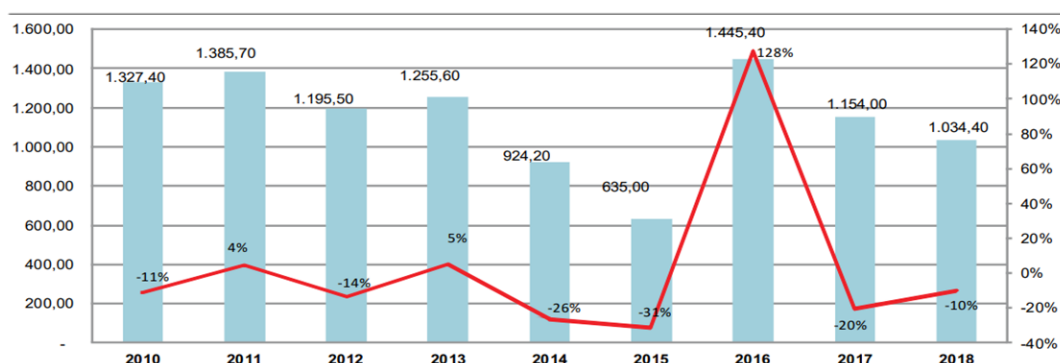
A temperatura média anual foi de 24,04°C, com mínima de 2,2°C e máxima de 40,4°C para período entre 2012 e 2018. A precipitação total média para o período de 2011 a 2018 é de 1.128,73 mm, havendo meses em que a pluviosidade média chegou ou ficou próxima de 0 mm (figuras 9 e 10) (SMPLA, 2019).

Figura 9 – Pluviosidade (precipitação total em mm) para o município de São José do Rio Preto entre os anos de 2011 a 2018.

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2011	288,00	318,90	267,30	55,00	0,80	29,80	3,80	13,70	16,80	188,90	103,60	99,10	1.385,70
2012	285,20	100,10	113,40	62,20	71,90	167,60	8,40	0,00	58,60	46,80	106,20	175,10	1.195,50
2013	265,30	187,30	178,70	32,00	92,20	37,80	11,10	0,00	76,20	96,20	76,70	202,10	1.255,60
2014	51,20	94,30	227,20	31,10	9,20	0,60	21,80	0,00	93,50	55,60	265,30	74,40	924,20
2015	55,10	100,50	15,80	3,50	2,80	0,90	30,30	9,70	128,10	42,60	298,60	56,60	635,00
2016	54,70	260,00	191,10	22,60	105,90	93,80	1,70	54,3	34,10	154,70	183,30	298,20	1.445,40
2017	197,40	153,50	105,10	93,50	102,60	0,50	0,00	24,90	9,80	141,20	129,40	196,10	1.154,00
2018	213,50	79,10	80,80	4,30	19,40	0,00	4,80	39,20	68,50	194,40	199,40	131,00	1.034,40

Fonte: SMPLA (2019).

Figura 10 – Pluviosidade (precipitação anual total em mm) para o município de São José do Rio Preto entre os anos de 2010 a 2018.



Fonte: SMPLA (2019).

2.6. Vegetação

Segundo SeMAE (2014) a vegetação original da região é a Floresta Estacional Semidecidual, da qual as comunidades biológicas aquáticas possuem elevada dependência, e que foi convertida ao longo de anos em agricultura e pecuária. Dados do Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo - SIFESP, referentes a 2009, mostram que remanesciam apenas 4,4% da vegetação natural de São José do Rio Preto, correspondendo a 1.309 há (69,0%) de Floresta Estacional Semidecidual, 123 ha (6,4%) de Formação Arbórea/Arbustiva em Região de Várzea, e 466 ha (24,6%) de Savana, totalizando 1.898 ha.

2.7. Solos

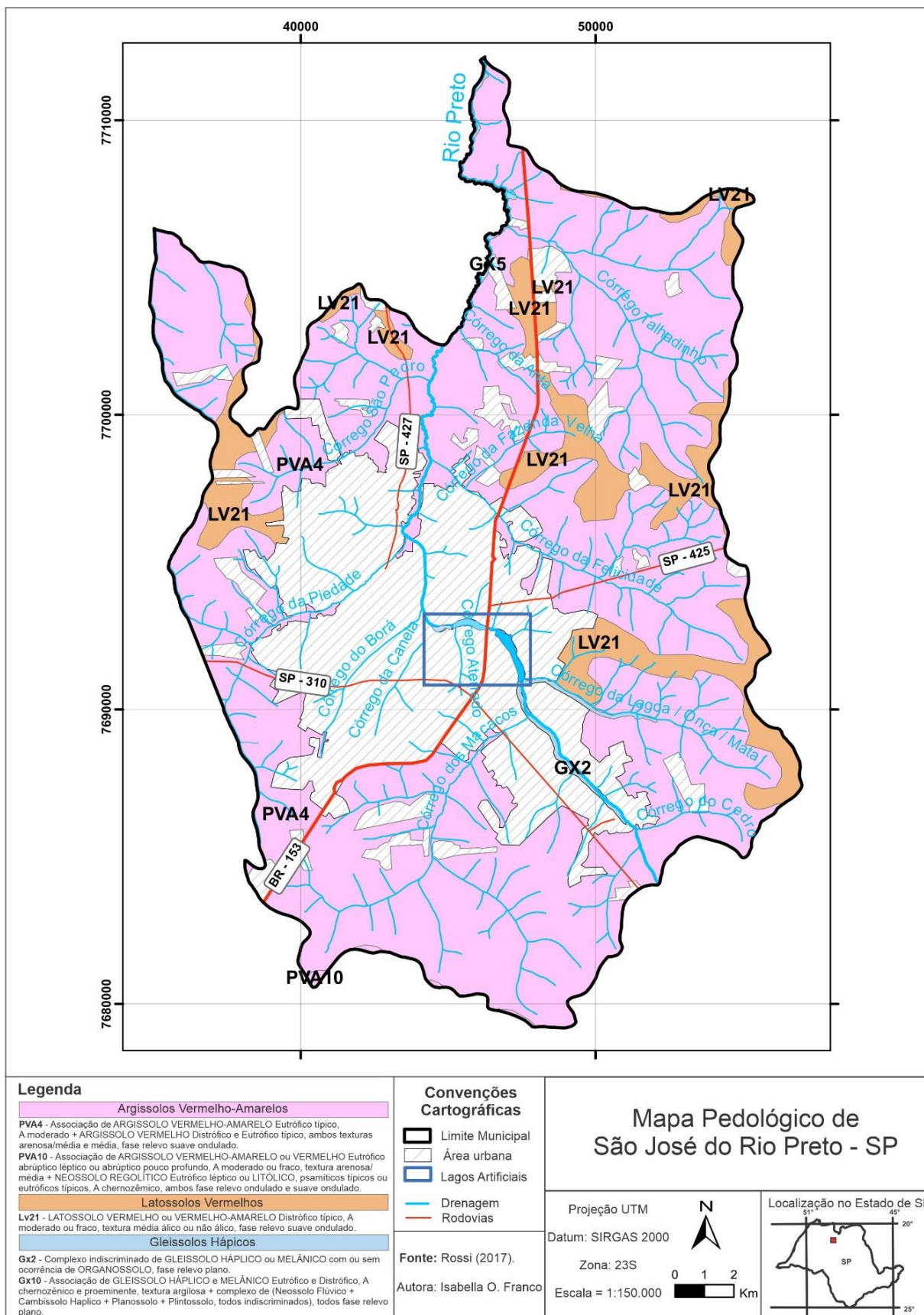
Os solos na região de São José do Rio Preto são, em sua maioria, arenosos com granulometria composta por 70% de areia e 30% de fração silte-argila, produto de alteração das rochas do Grupo Bauru (BARCHA, 1980).

Segundo Rossi (2017), os solos com maior expressão na área de estudos são classificados como Argissolos e Latossolos Vermelhos, ocorrendo também gleissolos com menor expressão e em drenagens (figura 11).

O Argissolo vermelho-amarelo (PVA4) compõe 61% da área e é caracterizado como uma associação de Argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico, com horizonte A moderado, e Argissolo vermelho distrófico e eutrófico típico, ambos com textura arenosa média, ocorrendo em relevo suave ondulado.

O Latossolo vermelho ou vermelho-amarelo (LV21) compõe 10% da área e é caracterizado como distrófico típico, com horizonte A moderado ou fraco, textura média, podendo ser álico ou não álico, e aparece em fase de relevo suave ondulado.

Figura 11 – Mapa Pedológico de São José do Rio Preto, SP.

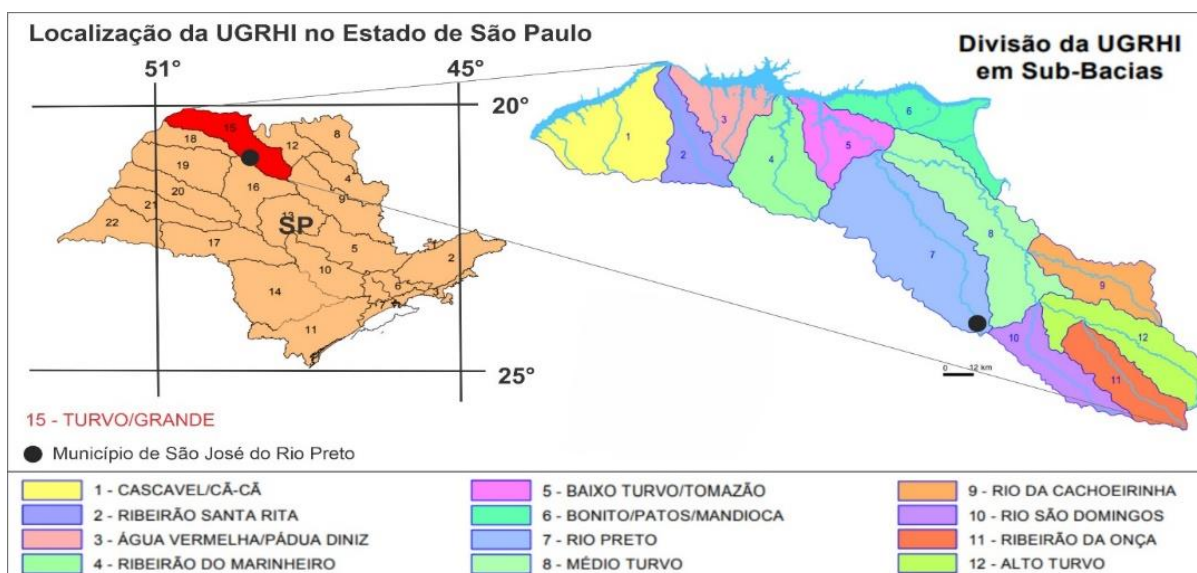


Fonte: elaborado pela autora. Dados de Rossi (2017).

2.8. Hidrografia

A área de estudos está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (UGRHI 15), umas das 22 subdivisões do estado de São Paulo, denominada Bacia do Turvo/Grande (SeMAE, 2014). A Bacia do Turvo/Grande encontra-se na Região Hidrográfica da Vertente Paulista do Rio Grande, com uma área de 56.961 km². É formada pelas bacias dos cursos d'água da vertente paulista do Rio Grande, onde se destacam as bacias: do rio Pardo e de seu principal afluente, o rio Mogi; do rio Turvo; e do rio Sapucaí. É ainda dividida em 12 sub-bacias, denominadas segundo os cursos d'água principais, sendo a sub-bacia 7, denominada Rio Preto, a correspondente para a área de estudo, conforme mostrado na Figura 12 (SeMAE, 2014).

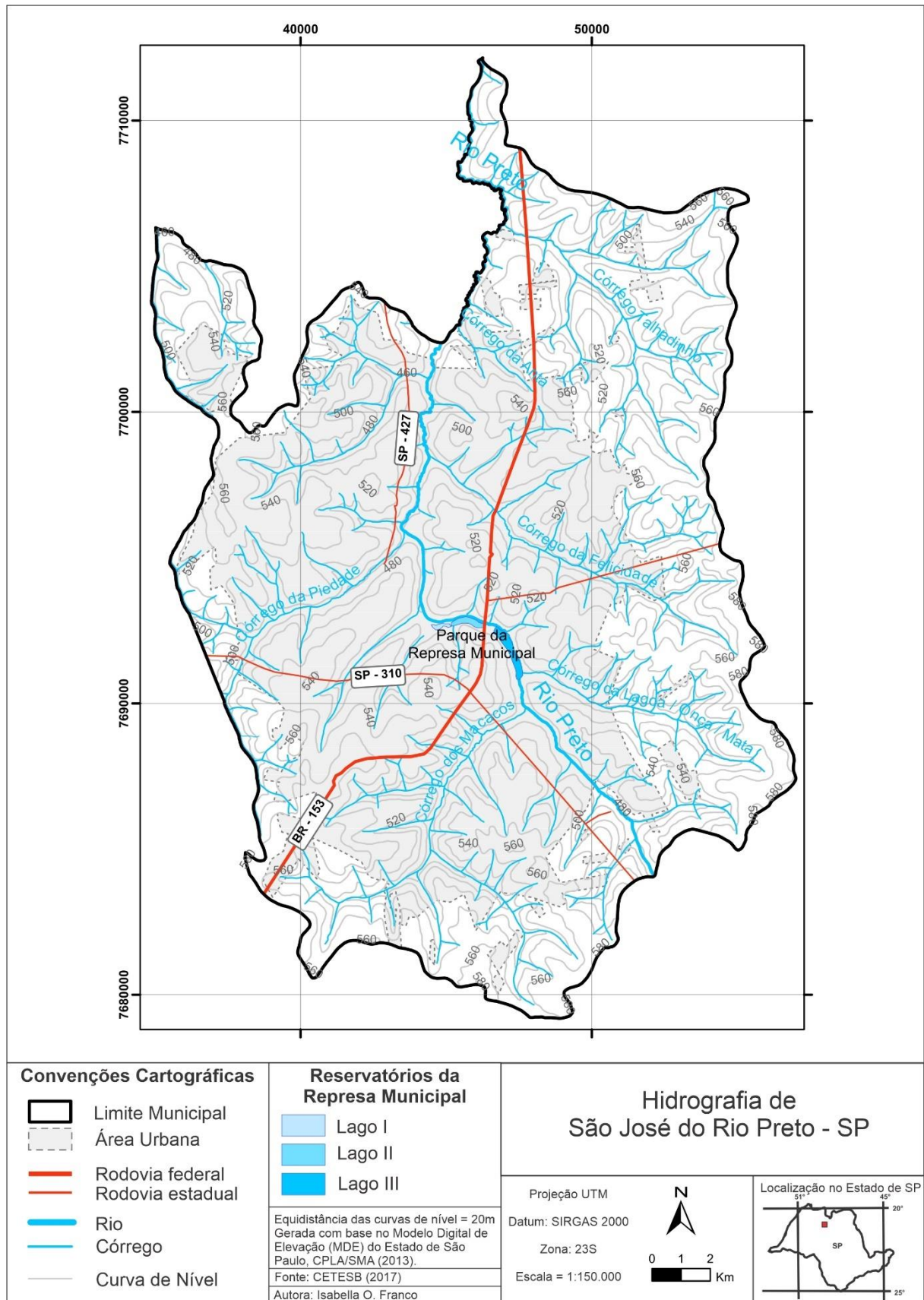
Figura 12 – Localização da Sub-bacia 7 da UGRHI 15 (área de estudo) no estado de São Paulo.



Fonte: modificado de IPT (1999) e CPTI (2009).

O Rio Preto, que dá nome à sub-bacia, é o principal para o município estudado, suas nascentes localizam-se no município de Cedral, seguindo em direção ao norte do Estado de São Paulo, acompanhando a rodovia que liga as cidades de Potirendaba a Cedral, onde se desvia para noroeste, acompanhando a rodovia SP-310. Cruza a cidade de São José do Rio Preto (figura 13), desviando novamente para norte acompanhando a rodovia SP-427, até a divisa de Onda Verde e Ipiguá, onde retorna o percurso para noroeste (330°), aproximadamente paralelo à rodovia SP-423, até seu final (SeMAE, 2014).

Figura 13 – Hidrografia de São José do Rio Preto, SP.



Fonte: elaborado pela autora. Dados de CPLA/SMA (2013) e CETESB (2017).

Quando atravessa o município o rio Preto recebe contribuição dos seguintes corpos d'água (figura 13): córrego dos Macacos, Barreiro, São Pedro, Piedade, Limão Borá, Canela, Aterrado e do Sossego pela margem esquerda; e pela margem direita córregos Talhadinho, da Anta, Fazenda Velha, Felicidade, Onça/Lagoa/Mata e do Cedro (CETESB, 2017). A cidade ainda conta com os 3 Lagos artificiais, estudados neste trabalho, os quais são abastecidos pelas águas do rio Preto e seus afluentes e segundo o Plano Diretor de 2021 de São José do Rio Preto, localiza-se dentro do perímetro urbano.

2.9. Hidrogeologia

Os sistemas aquíferos que abastecem a região de São José do Rio Preto são o Bauru, explotado em 340 poços e responsável por 50% do abastecimento, e o Guaraní (Botucatu/Pirambóia), explotado em 8 poços e responsável por 28% do abastecimento. A captação subterrânea totaliza 78% do abastecimento de água na área, sendo os demais 22% originados da captação superficial do rio Preto (SMPLA, 2019).

O Aquífero Bauru é constituído por rochas sedimentares do Grupo Bauru e Grupo Caiuá, tendo como substrato hidrogeológico os basaltos da Formação Serra Geral, e ocorre forma extensiva e contínua em todo o Planalto Ocidental do Estado de São Paulo (FERNANDES, 1998). É um aquífero livre, com recarga natural diretamente de infiltração da pluviometria, e a permeabilidade do aquífero varia apresentando um valor médio de 0,5 m/dia que, multiplicado pela espessura do aquífero, fornece valores da transmissividade da ordem de 10 m²/dia a 100 m²/dia (CETESB, 2020). A espessura saturada dos arenitos varia entre 100 a 150 metros, e é condicionada, principalmente, pela morfologia de superfície: adelgaça-se nos vales (valores inferiores a 50 m) e espessa-se nos espigões ou divisores de água. Apresenta vazões médias entre 20 e 30 m³/h em condições normais de captação (DAEE, 1976 e ROCHA et al., 1982).

O aquífero Guaraní é constituído pelas rochas das formações Botucatu e Pirambóia, com litologia predominantemente arenosa (que o confere excelentes características hidrodinâmicas), tendo em sua base a Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois), constituída por argilitos, siltitos e folhelhos (aquicluda) e que são sobrepostas pela Formação Serra Geral (Grupo São Bento), constituída por rochas

vulcânicas toleíticas de coloração cinza-escuro a negro, com espessura que atinge valores superiores a 1.500m. Na área de estudo apresenta vazão de 600 m³/h (DE MENDONÇA, et al., 1998)

2.10. Recursos Minerais

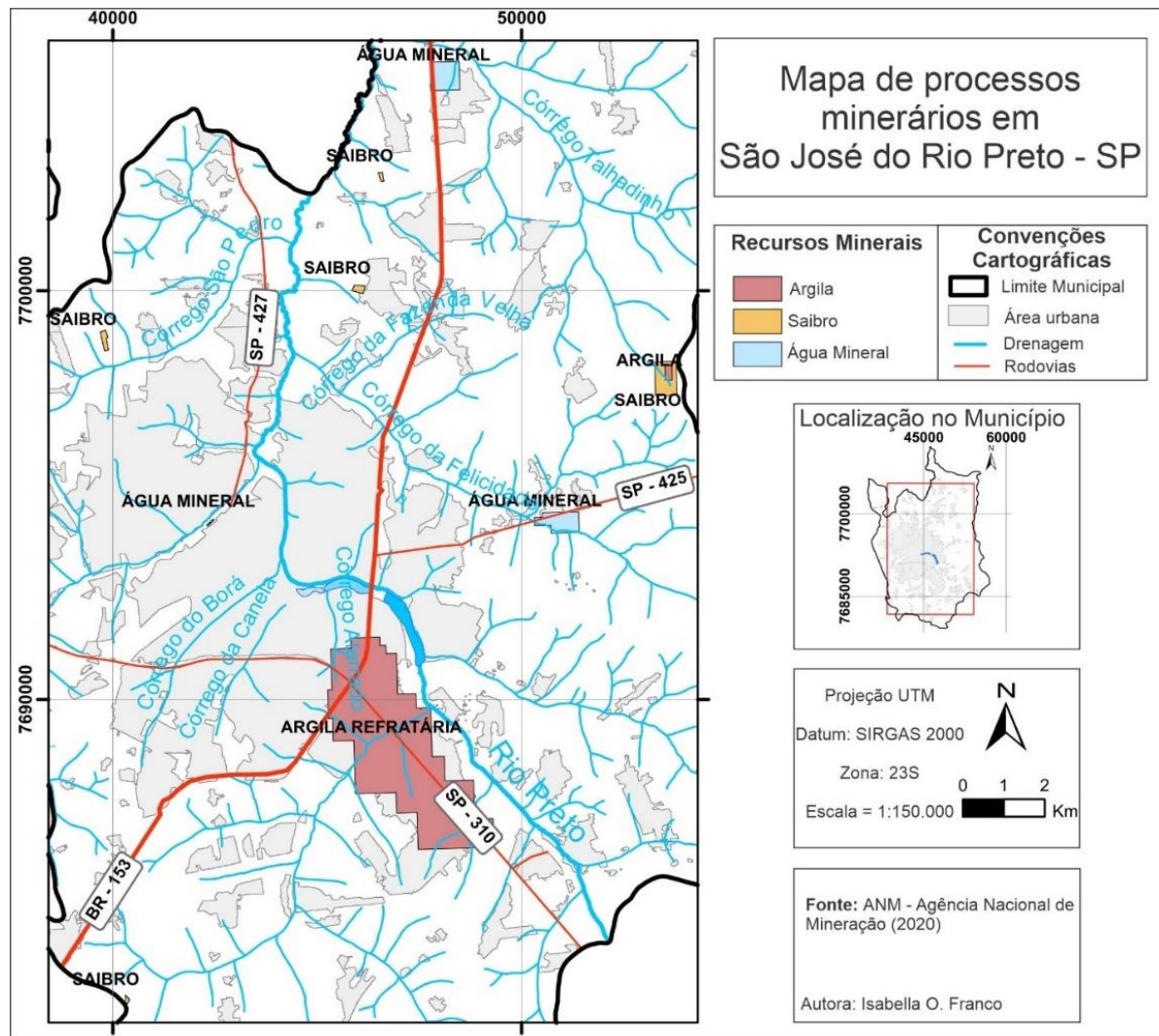
No município estudado afloram tanto em superfície quanto em subsuperfície apenas rochas de composição majoritariamente areníticas e argilosas, deste modo, o potencial minerário da área é bem limitado. Segundo os cadastros de processos minerários do banco de dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), em junho de 2020 haviam apenas 10 processos cadastrados em todo o município, com interesse em 3 diferentes substâncias minerais: água mineral, argila e saibro (tabela 1). Os processos minerários cadastrados representam 2,7% da área do município (figura 14), evidenciando a falta de aproveitamento de recursos minerais, principalmente da areia, que é a mais abundante de acordo com a geologia regional, e não apresenta nenhum processo mineral em andamento.

Tabela 1 – Processos minerários cadastrados no município de São José do Rio Preto, SP.

Processo	Substância	Fase	Uso	Último Evento
824.088/1971	Água Mineral	Concessão de Lavra	Não Informado	2019
820.185/1989	Água Mineral	Concessão de Lavra	Não Informado	2017
820.206/2015	Água Mineral	Autorização de Pesquisa	Engarrafamento	2019
820.009/2017	Argila	Licenciamento	Construção Civil	2020
820.594/2002	Argila	Disponibilidade	Industrial	2008
820.866/2007	Saibro	Licenciamento	Construção Civil	2010
820.893/2013	Saibro	Req. de Licenciamento	Construção Civil	2014
820.480/2015	Saibro	Licenciamento	Construção Civil	2020
820.897/2015	Saibro	Autorização de Pesquisa	Construção Civil	2017
820.451/2016	Saibro	Licenciamento	Construção Civil	2020

Fonte: ANM (2020).

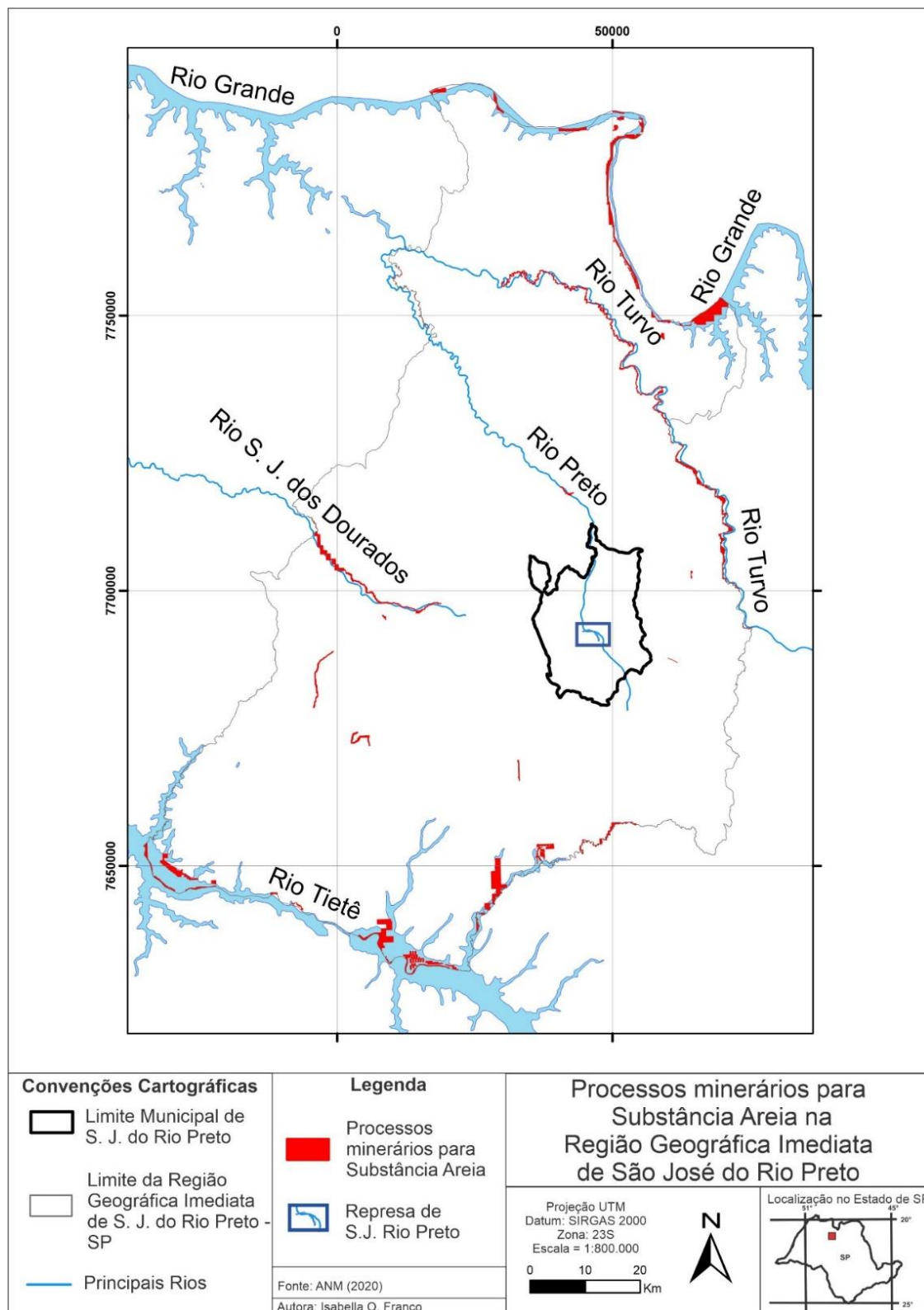
Figura 14 – Mapa de Processos minerários em São José do Rio Preto, SP.



Fonte: elaborado pela autora. Dados de ANM (2020).

Considerando a região imediata de S. J. do Rio Preto, o aproveitamento da Areia mostra-se superior, ocorrendo majoritariamente no leito dos principais rios da região, Turvo, Grande, Tietê e Rio Preto (figura 15), o que indica o bom potencial minerário dos sedimentos arenosos. Ao todo, estão cadastrados 201 processos minerários relacionados a extração de areia para uso principal em construção civil.

Figura 15 – Mapa de Processos minerários na região imediata de São José do Rio Preto, SP.



Fonte: elaborado pela autora. Dados de ANM (2020).

2.11. Mercado Consumidor de Areia

Embora haja um bom aproveitamento da areia minerada na região imediata do município de São José do Rio Preto, os processos cadastrados junto a ANM localizam-se a mais de 50 km do município estudado. Considerando que São José do Rio Preto é o principal município consumidor da substância na região devido ao seu maior crescimento urbano e dinamismo econômico, nele estão localizadas diversas fábricas de cimento e demais materiais de construção, que inclusive, algumas delas, são titulares dos processos envolvendo extração de areia citados anteriormente. É importante ressaltar que a distância entre o local de extração e o mercado consumidor está estritamente relacionado à viabilidade econômica do empreendimento.

Na tabela 2, pode-se analisar, através da quantidade de empresas cadastradas no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ), a relação desigual entre a expansão urbana e a produção local de insumos, como a areia, para a fabricação de materiais de construção. De acordo com o CNPJ (2020), existem no total, até o ano de 2020, 403 empresas relacionadas ao comércio atacadista ou varejista, de materiais de construção envolvendo areia e cascalho.

Tabela 2 – Panorama geral do Mercado Consumidor de Areia em São José do Rio Preto, SP.

Atividade Econômica (Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE)	Qtd. Empresas
Comércio atacadista de materiais de construção em geral	20
Comércio atacadista de produtos da extração mineral, exceto combustíveis	8
Comércio varejista de cal, areia, pedra britada, tijolos e telhas	36
Comércio varejista de materiais de construção em geral	339
Construção de edifícios	574
Extração de areia, cascalho ou pedregulho e beneficiamento associado	1
Fabricação de artefatos de cimento para uso na construção	11
Fabricação de estruturas pré-moldadas de concreto armado, em série e sob encomenda	9
Fabricação de outros artefatos e produtos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes	29
Obras de alvenaria, fundações, terraplanagem, urbanização, acabamento de construção e demais obras não especificadas	2010

Fonte: adaptado de Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas - CNPJ (2020).

Ao todo, 574 empresas estão relacionadas à construção civil, ramo denominado “Construção de edifícios” de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), 49 empresas no ramo de fabricação de materiais de construção e 2010 empresas no ramo de realização de Obras diversas. Contra todo esse mercado

consumidor de areia, existe apenas o cadastro de 1 empresa relacionada a extração da substância, que de acordo com o cadastro mineiro visto anteriormente, não extrai o minério dentro do município, pois não existem processos minerários para areia na área estudada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Assoreamento de lagos artificiais

De acordo com a Pesquisa de Informações Municipais de 2008 (IBGE, 2008) o assoreamento de corpos d'água é uma das três alterações ambientais mais citadas pelos municípios, juntamente com queimadas e desmatamento, sendo estes os principais agentes causadores do assoreamento por atuarem diretamente na retirada da cobertura vegetal que protege o solo contra a erosão hídrica. Os três impactos ambientais foram os mais citados por mais de 50% dos municípios.

3.1.1. Causas

Em cursos d'água, é esperado que haja um equilíbrio em relação ao transporte de sedimento, e existe uma tendência natural de que este seja depositado em regiões de menor velocidade da água, conforme a maior ou menor granulação das partículas e a menor ou maior turbulência do escoamento.

Em reservatórios, o curso d'água tem as áreas de seções transversais aumentadas ao adentrar, o que diminui a velocidade da corrente e cria condições ideais de deposição de sedimento, depositando-se primeiro as partículas mais pesadas, como pedregulhos, seguido de areia grossa, podendo as partículas finas continuarem a adentrar o reservatório, sendo que conforme o assoreamento aumenta, a capacidade do reservatório diminui, o que faz as velocidades no lago aumentarem e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante, diminuindo a retenção das partículas (CARVALHO et al., 2000).

Os principais fatores que afetam a disponibilidade de sedimento na área de drenagem segundo Icold (1989) são: precipitação (quantidade, intensidade e frequência); tipo de solo e formação geológica; cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes e outros); uso do solo (práticas de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação); topografia (geomorfologia); natureza da rede de drenagem (densidade, declividade, forma,

tamanho e conformação dos canais); escoamento superficial; características dos sedimentos (granulometria, mineralogia e etc.); hidráulica dos canais. Estes fatores atuam com intensidades diferentes o que demanda avaliação específica para cada caso estudado.

De acordo com Glymph (1973) a quantidade de sedimento depositado em um reservatório depende da quantidade de material em suspensão disponível e da capacidade do reservatório reter essas partículas, além disso, a quantidade de sedimento já acumulado e o modo de operação do reservatório também podem influenciar na deposição (BRUNE & ALLEN, 1941).

Vale ressaltar que a declividade de escoamento, a geometria do reservatório, o modo como este é operado, as características minerais das partículas finas e as características químicas das águas também irão alterar a distribuição dos sedimentos (VANONI, 1977).

3.1.2. Impactos Negativos

Mesmo que em pequenas porções de depósitos dentro do reservatório, segundo Lopes (1993), o assoreamento pode causar problemas como: I) acúmulo de material junto à barragem, ocasionando dificuldade na operação de comportas; II) prolongamento do efeito de remanso, que pode provocar enchente a montante devido ao material grosseiro que se deposita na entrada do reservatório (diminuição da velocidade de fluxo); III) perda da capacidade útil do reservatório provocada pelo prolongamento do remanso.

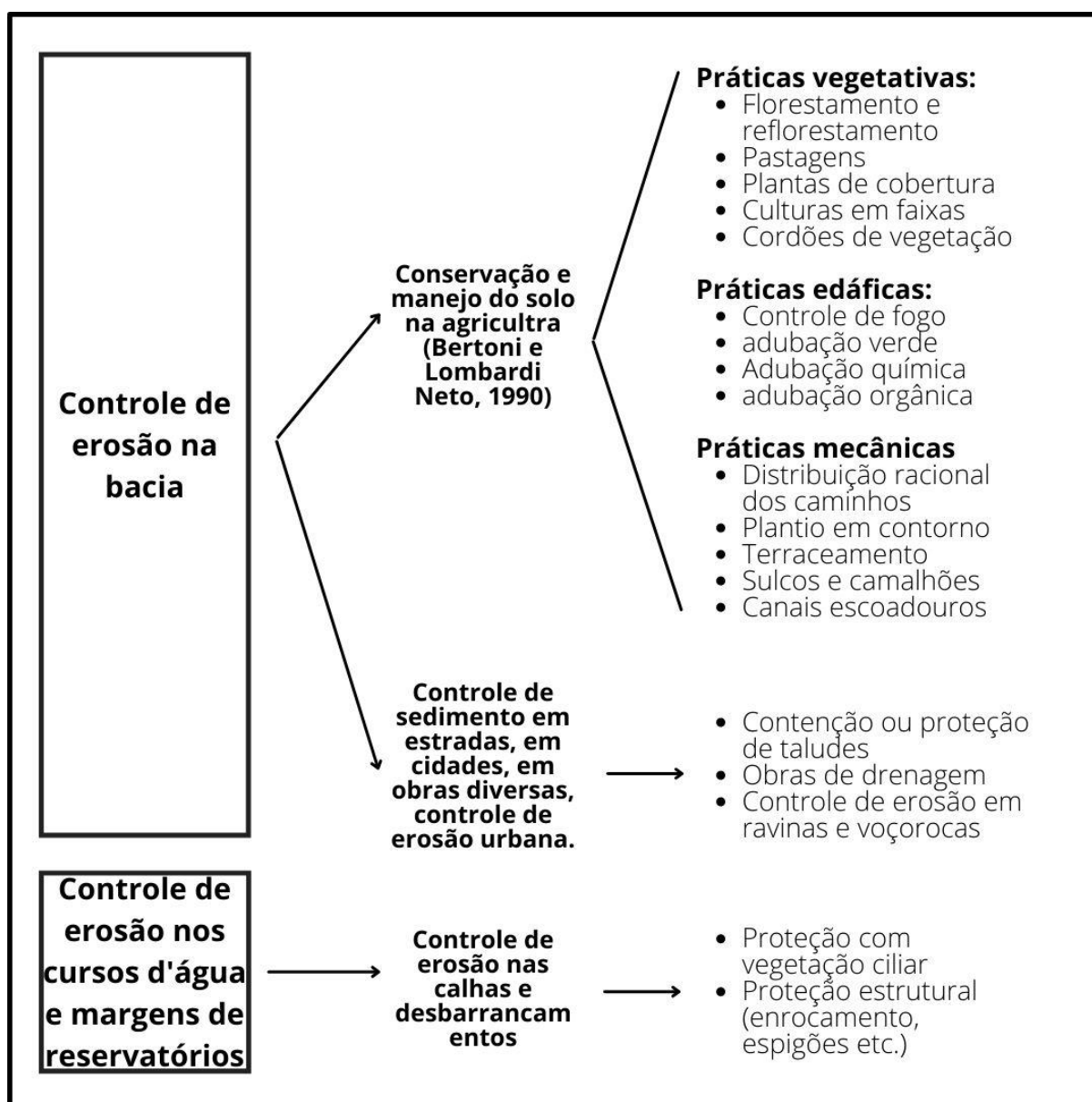
Além disso, o assoreamento também é um fator que pode comprometer a segurança de barragens, pois o acúmulo de sedimentos próximo a mesma ou às suas instalações de descarga pode afetar negativamente o controle de descarga de cheias, um esvaziamento de emergência e até a estabilidade da barragem (ZUFFO, 2005).

3.1.3. Controle

Para controlar o assoreamento é essencial que a área fonte de sedimento seja reconhecida, assim como o uso do solo aos arredores do reservatório (cidades, obras, práticas rurais) para que assim se realizem as práticas vegetativas (vegetação como proteção do solo contra erosão), edáficas (manejo durante plantio e lavoura visando a proteção do solo) e mecânicas que controlem a erosão visando prevenir o problema (figura 16).

Como medidas corretivas, quando o assoreamento já se encontra em estado avançado, são necessárias medidas como a dragagem, que é mais onerosa e implica em problemas relacionados à disposição do sedimento dragado, sendo que dificilmente o material pode ser utilizado economicamente, devido a custos com transporte do material ou impureza dos sedimentos (CARVALHO et al., 2000).

Figura 16 – Medidas de controle de erosão na bacia e em cursos d'água e margens de reservatórios.



Fonte: modificado de CARVALHO et al. (2000).

Embora seja de difícil aproveitamento, aplicando-se técnicas de beneficiamento e lavra adequadas, é possível que os materiais dragados em reservatórios sejam

aproveitados economicamente. Bueno (2010) discute o aproveitamento de areia gerada em obra de desassoreamento para o caso do Rio Paraibuna, localizado no município de Paraibuna, São Paulo e conclui que o material tem potencial para aproveitamento industrial, mesmo obtendo impureza orgânica e necessitando beneficiamento.

Chaves et al. (1998) apresenta os resultados das avaliações sobre mercado consumidor, logística e engenharia de minas feitos a fim de provar a viabilidade do uso de areia extraída em obra de desassoreamento do Rio Tietê (São Paulo - SP), como agregado para construção civil e conclui que tal finalidade para os sedimentos retirados permite racionalizar a operação como lavra mineira, antes concebida como operação de engenharia civil, e assim diminuir os custos da mesma, produzir areia para construção civil de um mercado consumidor altamente demandante, realizar a venda de areia a preços compensadores, diminuir as distâncias de transporte de areia e diminuir a quantidade de sedimento a ser depositado em bota-foras.

3.2. Areia como agregado para construção civil

Areia é um termo usado para designar um material granular, com tamanho em um intervalo definido (de 2 a 0,06 mm), de composição silicática, com predominância do mineral quartzo, servindo essencialmente à indústria de construção como agregado miúdo (variando de 4,8 a 0,075 mm) (Anuário Mineral Brasileiro, 2014).

A areia natural é originada de processos intempéricos, como a erosão, sendo um recurso abundante. Sua escassez só ocorre local ou regionalmente, quando a demanda por esse material é muito alta, o que acontece tipicamente em grandes aglomerados urbanos em desenvolvimento.

Segundo Valverde (2001), no país, 50% da areia produzida é destinada para fabricação de concreto e os 50,0% restantes para agregados diversos (argamassas, blocos, entre outros). Sendo a Região Metropolitana de São Paulo o maior mercado consumidor de areia.

Para ser usada como agregado miúdo para construção civil, quase a totalidade da substância é comercializada sem tratamento substancial (somente lavagem e alguma classificação granulométrica) (Anuário Mineral Brasileiro, 2010).

Sobre a classificação granulométrica, a norma ABNT NBR 7225 - Materiais de pedra e agregados naturais, classifica a areia como: fina (entre 0,06 mm e 0,2 mm); média (entre 0,2 mm e 0,6 mm); grossa (entre 0,6 mm e 2,0 mm).

Segundo Chaves & Whitaker (2012), para uso em construção civil a areia deve atender diferentes exigências: distribuição granulométrica adequada; forma de grãos; composição mineralógica adequada. Já o beneficiamento, apesar de simples, pode consistir em: desagregação e lavagem; peneiramento; classificação e deslamagem.

3.3. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a ciência da aquisição de informação sobre a superfície Terrestre de forma remota, sem estar em contato com a mesma. Isso é feito ao detectar energia emitida ou refletida por objetos na superfície, e registrar tal informação de modo a permitir o processamento, análise e aplicação dos dados (CANADA CENTER FOR REMOTE SENSING, 2007).

Basicamente, o processo que envolve o sensoriamento remoto, consiste na interação entre a radiação incidente e os alvos de interesse. Para isso são usados sistemas de imagens multiespectrais envolvendo sete elementos (CANADA CENTER FOR REMOTE SENSING, 2007):

I. Fonte de energia ou iluminação

A condição primordial para o sensoriamento é que exista uma fonte de energia que ilumine ou forneça energia eletromagnética para o alvo de interesse.

II. Radiação e a atmosfera

Conforme a energia viaja de sua fonte ao alvo, ela entrará em contato e irá interagir com a atmosfera. Essa interação pode ocorrer uma segunda vez enquanto a energia viaja do alvo para o sensor.

III. Interação com o alvo

Após atravessar a atmosfera, a energia interage com o alvo segundo as propriedades de ambos.

IV. Registro da energia pelo sensor

Depois de interagir com o alvo, é necessário que haja um sensor para captar e registrar a radiação eletromagnética que foi dispersa ou refletida pelo alvo.

V. Transmissão, recepção e processamento

Para poder ser transmitida como dado, a energia registrada pelo sensor deve ser transmitida, em formato eletrônico, para uma estação de recepção e processamento onde as informações são processadas em uma imagem (formato físico ou digital).

VI. Interpretação e análise

A imagem processada é interpretada, visual e/ou digitalmente, para extrair informações a respeito do alvo que foi iluminado.

VII. Aplicação

A aplicação consiste em usar as informações obtidas pela interpretação e análise para ampliar o conhecimento sobre o alvo, seja para melhor compreendê-lo, para buscar novas informações a respeito do mesmo ou para auxiliar em eventuais problemas que o envolvam.

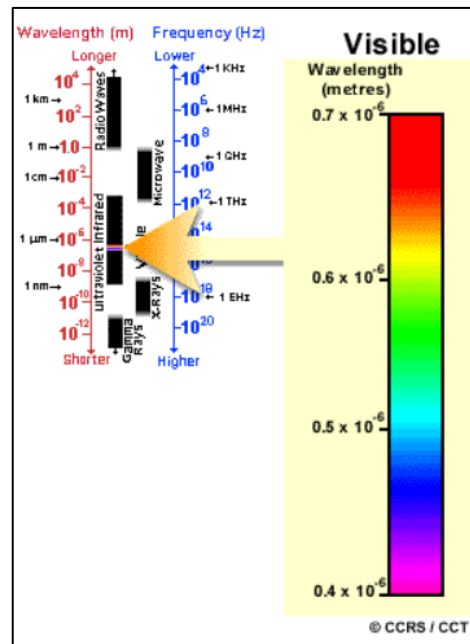
3.3.1. O Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético varia de comprimentos de onda mais curtos (gama e raios-x) a comprimentos de onda mais longos (micro-ondas e ondas de rádio). Esses comprimentos de onda são importantes para o sensoriamento remoto pois permitem reconhecer alvos na superfície terrestre que refletem ondas características.

A luz que os olhos humanos conseguem detectar corresponde ao espectro visível, que consiste em uma pequena parte de todo o espectro eletromagnético (figura 17), que mesmo não podendo ser amplamente detectado pelos olhos humanos, pode ser detectado por sensores remotos acoplados em plataformas orbitais ou suborbitais.

O espectro visível corresponde ainda ao conceito das cores, que são associadas a intervalos deste espectro sendo (CANADA CENTER FOR REMOTE SENSING, 2007): violeta de 0,4 a 0,446 μm ; azul de 0,446 a 0,500 μm ; verde de 0,500 a 0,578 μm ; amarelo de 0,578 a 0,592 μm ; laranja de 0,593 a 0,620 μm ; vermelho de 0,620 a 0,7 μm .

Figura 17 – Espectro eletromagnético destacando a faixa do visível.



Fonte: Canada Center for Remote Sensing (2007).

As cores vermelho, verde e azul (*red*, *green* e *blue* (RGB) em inglês), são comprimentos de onda do espectro visível definidas como as cores primárias, pois nenhuma dessas cores primárias pode ser criada usando as outras duas e todas as outras cores do espectro podem ser criadas combinando porções de cada uma das três.

Fora do espectro visível, há ainda alguns comprimentos de onda que são de interesse em sensoriamento remoto, como é o caso da região do infravermelho (0,7 a 100 μm), podendo essa ser ainda separada em duas categorias: infravermelho refletido (0,7 a 3,0 μm), usado em sensoriamento remoto de forma parecida que os comprimentos de onda do espectro visível; infravermelho emitido ou termal (3,0 a 100 μm), usado para identificar emissão de energia em forma de calor.

3.3.2. Satélites, sensores e bandas

Existem diversos tipos de satélites artificiais usados para adquirir dados de monitoramento terrestre, mas apenas alguns desses são otimizados e equipados com sensores próprios para a aquisição de dados sobre a superfície, como é o caso do satélite *Landsat-1*, lançado pela NASA em 1972, que foi o primeiro satélite projetado especificamente para monitorar a superfície do planeta, este foi projetado como um experimento para testar a viabilidade de aquisição de dados multiespectrais de

observação da Terra através de uma plataforma de satélite não tripulada. Com o sucesso do lançamento, outros satélites *Landsat* foram lançados com o passar dos anos, totalizando 8 até o ano de 2020.

Os satélites da série *Landsat* foram equipados com alguns diferentes sensores, valendo mencionar o sensor *Thematic Mapper* (TM), do Landsat-5 e o sensor *Operational Terra Imager* (OLI) do Landsat-8, que são os sensores responsáveis por gerar as imagens multiespectrais. Cada ponto imageado pelos sensores, corresponde a uma área mínima denominada "pixel" (*picture cell*), que deve estar geograficamente referenciado, e para o qual são registrados valores digitais relacionados a intensidade de energia (expresso em níveis de cinza) refletida em faixas (bandas) que correspondem a intervalos bem definidos do espectro eletromagnético.

Em softwares específicos para processamento de imagens, como o *software SPRING*, por exemplo (CÂMARA et al., 1996), essas bandas podem ser tratadas (aplicando-se realce de contraste, por exemplo), combinadas e coloridas (em sistema de cores RGB) para realçar ou isolar diferentes características de um alvo estudado (figura 18).

Figura 18 – Bandas do satélite Landsat, sensor TM e suas principais aplicações para faixas espectrais definidas.

Satélite Landsat - Sensor TM		
Banda	Faixa Espectral (um)	Principais aplicações
1 (Azul)	0.45 - 0.52	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação Diferenciação entre vegetação coníferas e decídua
2 (Verde)	0.52 - 0.60	Reflectância de vegetação verde sadia
3 (vermelho)	0.63 - 0.69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4 (IR próx.)	0.76 - 0.90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5 (IR médio)	1.55 - 1.75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6 (IR termal)	10.4 - 12.5	Mapeamento de estresse térmico em plantas Outros mapeamentos térmicos
7 (IR médio)	2.08 - 2.35	Mapeamento hidrotermal

Fonte: modificado de INPE (2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Análise espaço-temporal do uso do solo

Para realizar a análise espaço-temporal do uso do solo considerando fatores ativos de erosão e assoreamento de rios e lagos, foram usadas técnicas de sensoriamento remoto integradas à Sistema de Informações Geográficas (SIG) e aplicadas às imagens de satélites dos anos de 2000, 2010, 2020 correspondentes a toda a área do município de São José do Rio Preto.

As etapas para alcançar o produto final, Mapa de Uso do Solo (2000, 2010 e 2020) estão dispostas no mapa conceitual da Figura 19.

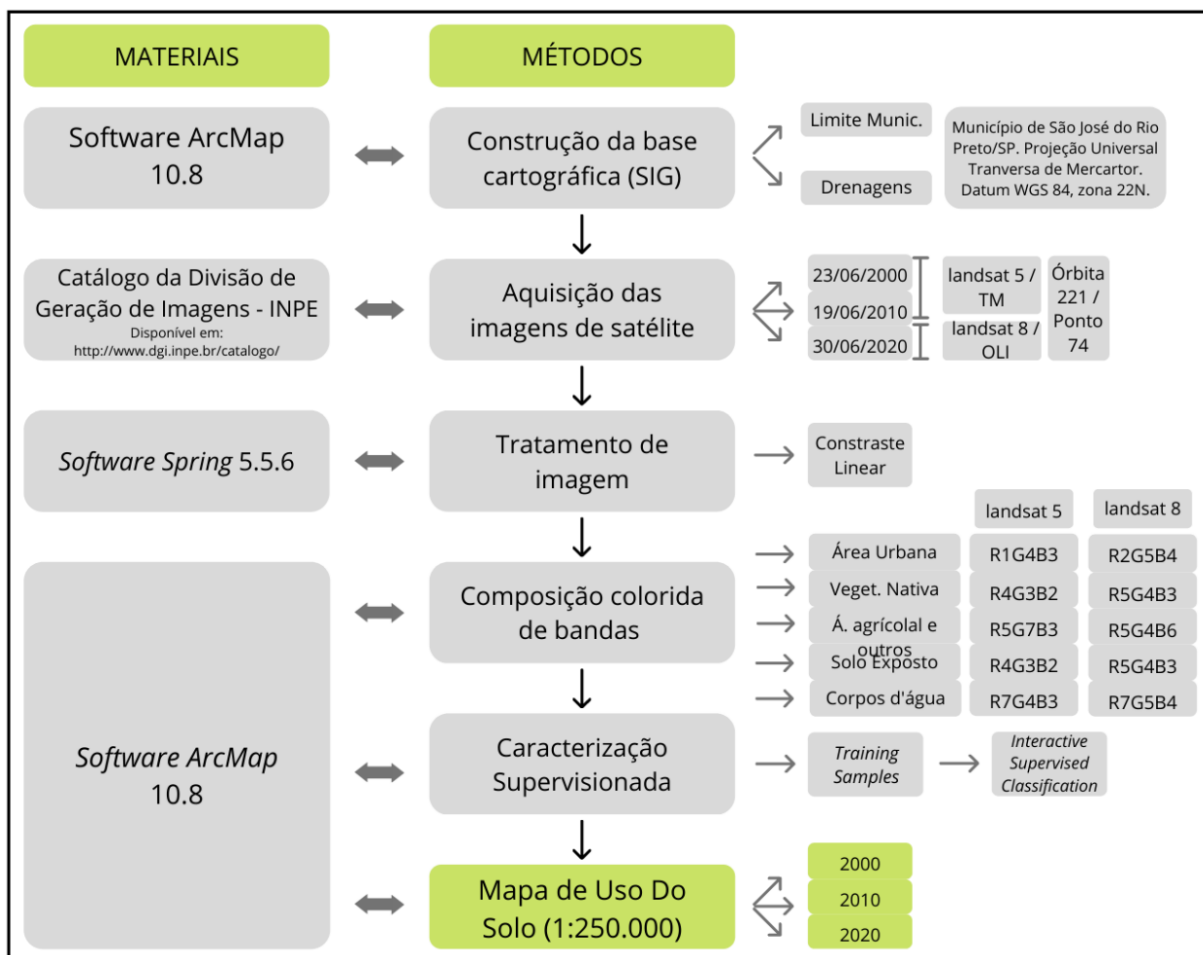
Inicialmente, foi construída uma base cartográfica em ambiente digital SIG utilizando o *software ArcMap* 10.8 (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>). O sistema de coordenadas usado foi a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum WGS 84, zona 22N, por ser o sistema de coordenadas original das imagens de satélite adquiridas. Nesta base foi inserido o limite municipal de São José do Rio Preto (IGC, 2015) e a malha de drenagem contendo os principais rios e córregos (CETESB, 2017).

Em seguida, foram adquiridas as imagens de satélite gratuitamente no Catálogo da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>). Para representar o ano de 2000 foi escolhida a passagem de 23 de jun. de 2000, satélite LANDSAT 5, sensor TM; para o ano de 2010 a passagem foi de 19 de jun. de 2010, de mesmo sensor e satélite; e para o ano de 2020 foi escolhida a passagem de 30 de jun. de 2020 do satélite LANDSAT 8, sensor OLI. As 3 passagens correspondem a órbita 221, ponto 74, e todas as imagens possuem resolução espacial de 30 m. Com as imagens obtidas, foi feito o tratamento das mesmas aplicando-se o contraste linear em cada uma das bandas que as compõe, utilizando-se o *software SPRING* 5.5.6. – INPE.

Após tratadas, as imagens foram inseridas na base cartográfica e cortadas para corresponderem a área de interesse, onde deu-se início a classificação supervisionada. Para isso, foram selecionadas as composições coloridas de bandas, em sistema de cores RGB, que melhor destacassem individualmente as seguintes classes: área urbana; vegetação nativa; solo exposto; corpos d'água; agricultura e outros. A combinação utilizada para cada classe está exposta na Figura 19. Estas categorias de uso são as mais representativas no município e foram escolhidas por

apresentarem relação direta com os processos de erosão, possibilitando uma melhor análise do assoreamento na região.

Figura 19 – Mapa conceitual dos procedimentos executados para geração do mapa de uso do solo.



Fonte: elaborado pela autora.

Em seguida, utilizando-se a ferramenta *training samples* de classificação supervisionada do *software ArcMap 10.8*, foram selecionados, em cada uma das imagens de satélites, cerca de 30 amostras de polígonos representativos para cada uma das classes escolhidas. Após selecionar as amostras para todas as classes, foi utilizada a ferramenta *Interactive Supervised Classification*, que classifica a imagem de satélite com base na máxima verossimilhança com as amostras, e gera como produto uma camada raster contendo as classes selecionadas. Esse procedimento foi realizado individualmente para cada uma das imagens de satélites escolhidas, obtendo-se a classificação isolada para os anos de 2000, 2010 e 2020 que foram apresentados em mapas com escala 1:250.000.

4.2. Avaliação de suscetibilidade à erosão e assoreamento

Nesta etapa, foram realizadas saídas de campo com o intuito de avaliar localmente alguns pontos de interesse selecionados com base nas imagens de satélite, afim de se comprovar a situação dos lagos reservatórios e dos córregos que abastecem os mesmos, assim como conferir a geologia local e solos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise espaço-temporal do uso do solo

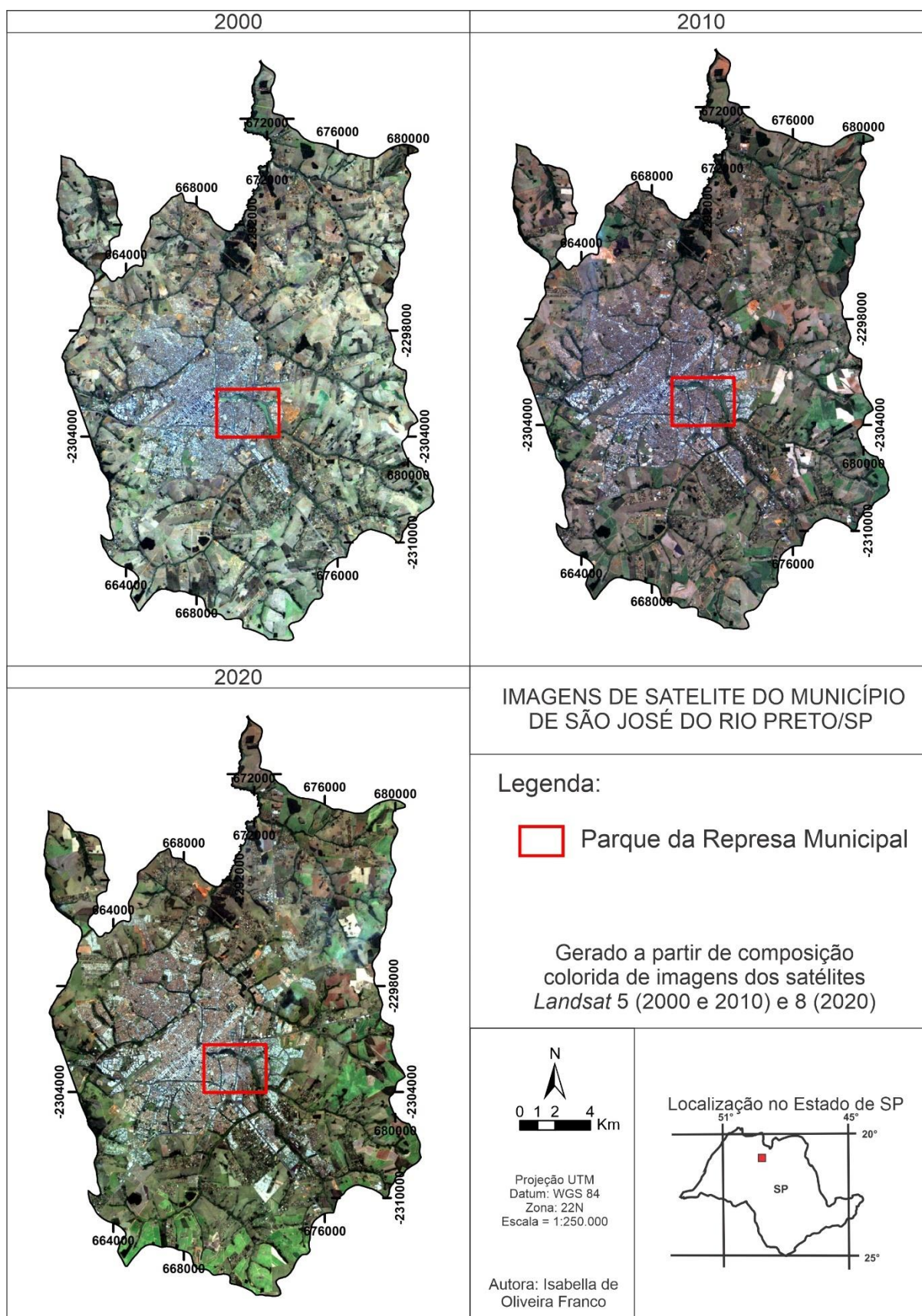
A partir das imagens de satélite (figura 20), foram gerados os mapas de uso do solo (figura 21 e apêndice A) que permitem analisar, ao longo de 2 décadas, os impactos que urbanização e as atividades agrícolas causaram no meio ambiente de São José do Rio Preto, nos permitindo correlacionar esses impactos com o assoreamento dos rios, córregos e reservatórios de água do município.

Inicialmente é necessário salientar que as lagoas I, II e III usadas para abastecimento público estão inseridas na área urbana. Essas são alimentadas principalmente pelo rio Preto e pelos seus afluentes córrego da Onça, dos Macacos, entre outros.

No ano de 2000 é possível perceber que a urbanização já se encontrava avançada e concentrada aos arredores dos reservatórios da área da Represa Municipal (figura 22), e o uso do solo para área urbana já correspondia a aproximadamente 15,5% (figura 23) da área total do município. Embora escassa, é possível perceber que havia vegetação remanescente em algumas porções do perímetro dos reservatórios.

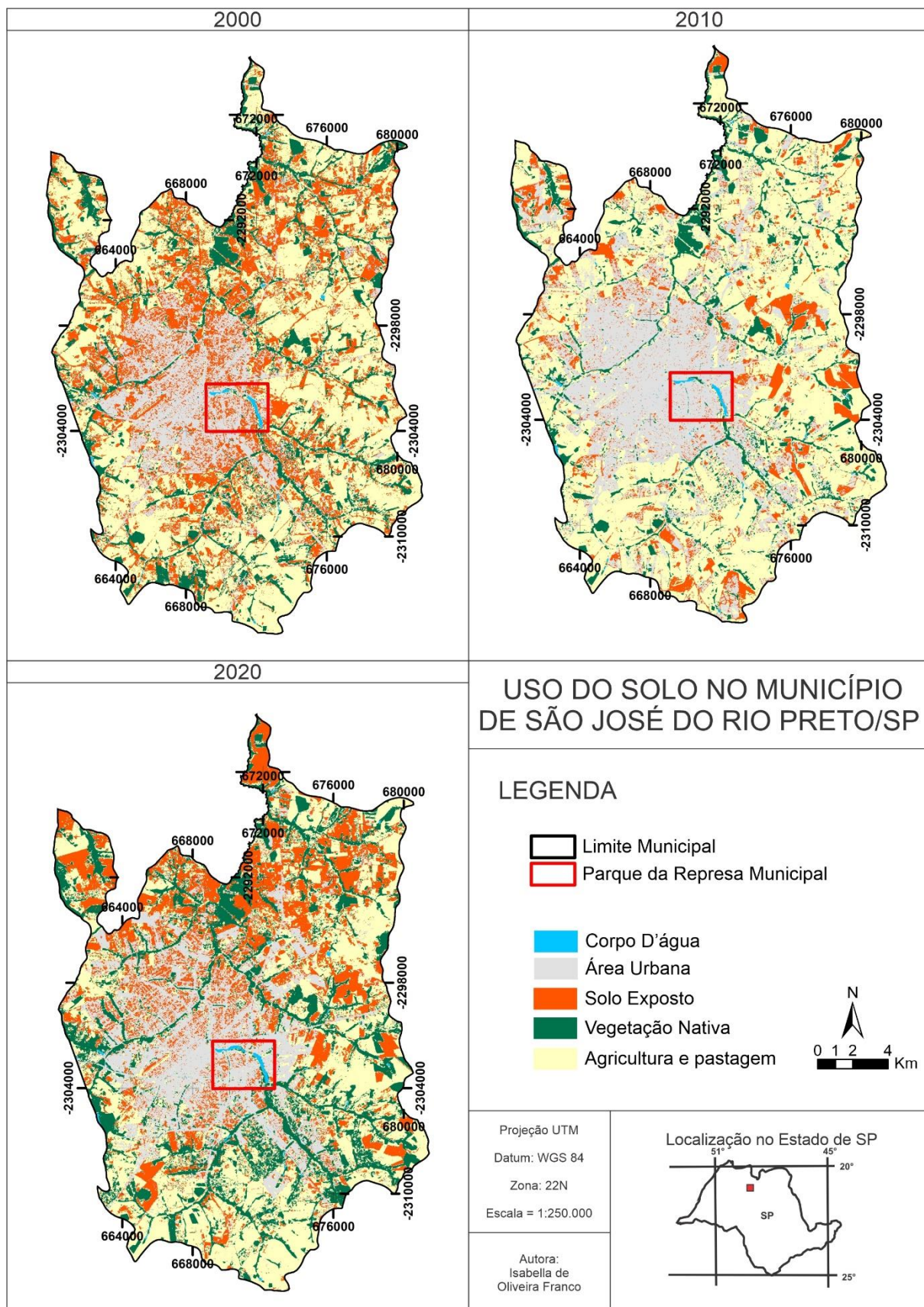
No ano de 2010 a área urbana correspondia a 29,4% (figura 23) do município, mostrando que houve uma densificação dessa classe de uso do solo. Em 2020 o que mais chama a atenção é a densificação das áreas de solo exposto, que assim como as áreas construídas, acompanha a direção dos córregos.

Figura 20 – Imagens de satélites em composição de cor verdadeira para cada ano estudado.



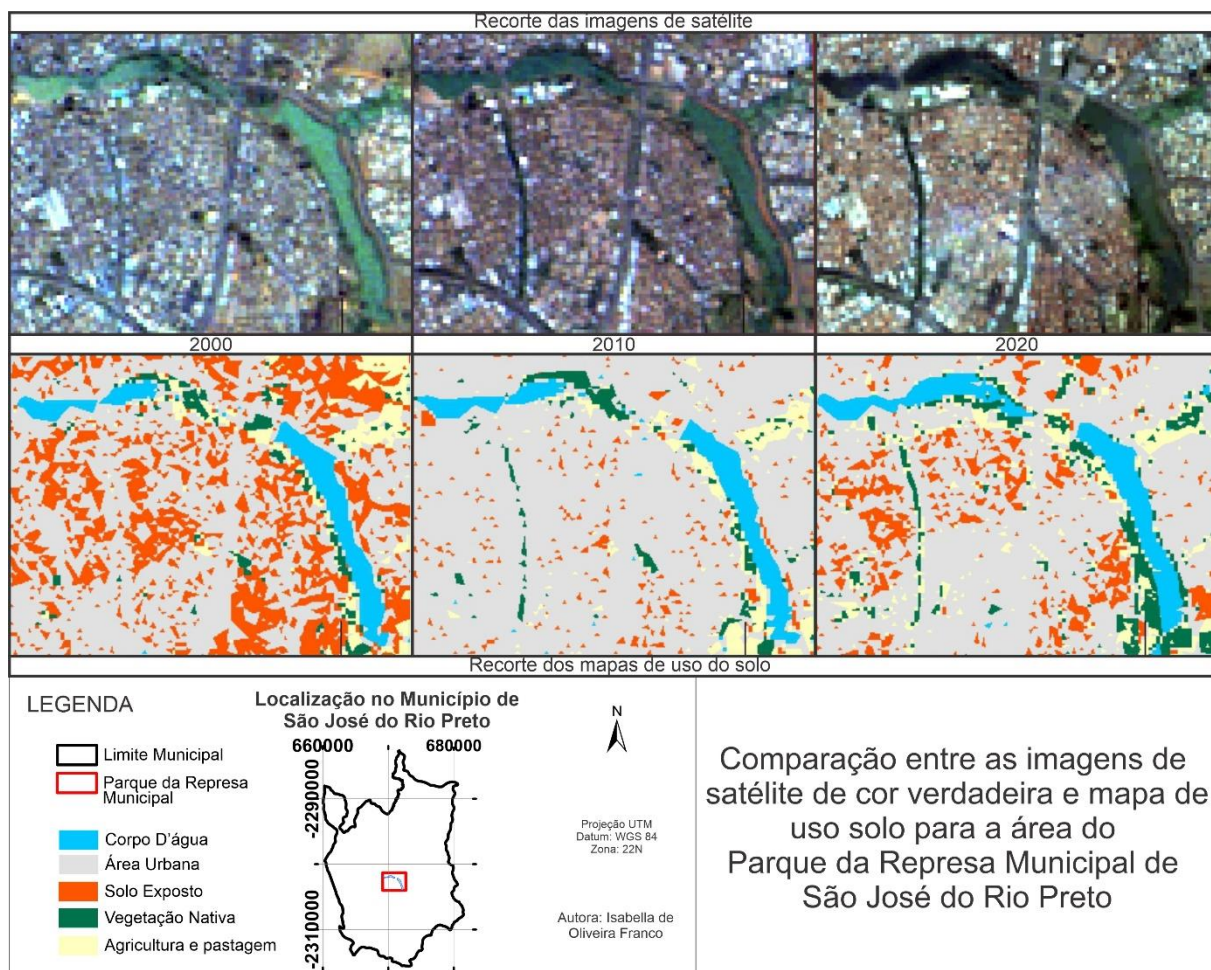
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 21 – Mapas de uso do solo para os anos escolhidos.



Fonte: elaborado pela autora.

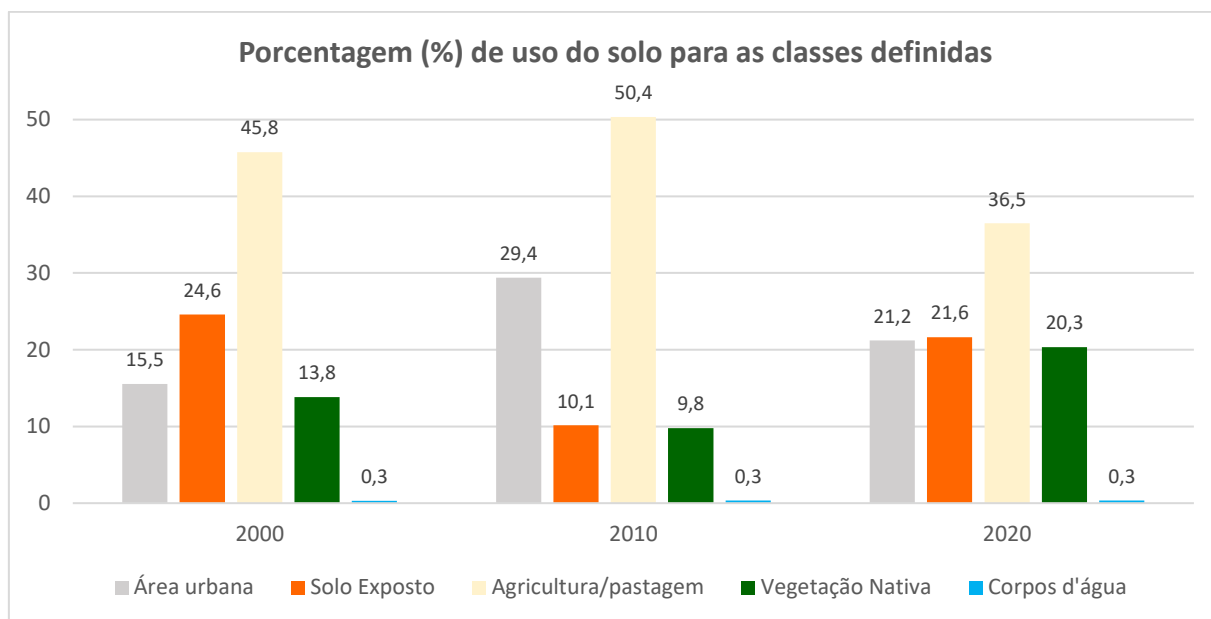
Figura 22 – Comparação entre as imagens de satélite e o mapa de uso do solo (anos de 2000, 2010 e 2020) para a área do Parque da Represa Municipal.



Fonte: elaborado pela autora.

Comparando os anos 2000 e 2010 houve uma diminuição de área de solo exposto neste último ano que volta a aumentar em 2020, notadamente no setor agrícola do município. As áreas com solo exposto, especialmente com textura arenosa são extremamente suscetíveis a erosão. Adicionalmente, nas últimas duas décadas, houve crescimento da cidade e a área construída se expandiu paralela aos córregos, incluindo aqueles fundamentais que estão conectados com os lagos.

Figura 23 – Uso do solo na área estudada.



Fonte: elaborado pela autora.

Como consequência da expansão urbana, os remanescentes de vegetação nativa diminuíram sejam nas planícies de inundação ou vales dos rios e córregos entre 2000 e 2010, também em razão do aumento significativo das áreas com solo exposto, possivelmente devido a loteamentos irregulares e construção de novos condomínios residenciais na área urbana e também às dinâmicas de colheita e plantio nas áreas de agricultura e pastagem, voltando a aumentar significativamente em 2020.

Como consequência, as áreas com cultivo agrícola e pastagem também diminuíram quando comparado 2010 e 2020, entretanto, essa classe de uso do solo é a mais expressiva em todos os anos analisados (figura 23), ocupando de 45,8% da área no ano de 2000, 50,4% em 2010 e 36,5% em 2020, algo que é questionável tendo em vista que o setor econômico primário é o menos relevante para o PIB do município.

O padrão de uso do solo reflete a dinâmica do parcelamento da terra que, quando não é adequadamente planejado, impacta, às vezes de forma irreversível, a quantidade e qualidade da água. Além disso, o volume de água demandado pela irrigação pode estar comprometido pela baixa vazão dos rios ou estar em conflito com os outros usos, como o doméstico, por exemplo. Sendo assim, em períodos de estiagem a indisponibilidade hídrica podem provocar queda na produção agrícola e desequilíbrio de abastecimento e preços.

É importante destacar que o uso da terra além de influenciar na capacidade e abastecimento dos reservatórios artificiais, também influencia na recarga de aquíferos, especialmente quando se trata de aquífero livre como na área de estudo, em que o abastecimento depende de precipitação, infiltração, escoamento e evaporação da água, variáveis que, em função das características do meio físico na área de estudo, contribuem para a vulnerabilidade hídrica principalmente em períodos de estiagem. Vale ressaltar que uma excessiva captação de recursos de um aquífero, acima de sua capacidade de recarga, implica no rebaixamento do nível d'água do mesmo, que passa a fornecer cada vez menos água, podendo chegar a secar.

A sazonalidade de precipitação e a presença de uma estação com estresse hídrico aumenta a pressão sobre os recursos hídricos. Os solos arenosos provenientes da alteração de arenitos perdem água rapidamente por evapotranspiração, fato que se agrava quando a vegetação original de Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado são substituídos por pastagem não manejada e cultivos sem técnicas protetivas adequadas, classes de uso do solo (solo exposto e agricultura e pastagem) que representam grande parte da área de estudo, como evidenciado pela classificação supervisionada.

Adicionalmente, a diminuição do volume das águas gera insegurança hídrica para a sociedade, que geralmente é mais sentida nos bairros distantes do centro e mais pobres.

5.2. Suscetibilidade à erosão e assoreamento

São diversos os fatores que contribuem para o assoreamento de rios e lagos na região de São José do Rio Preto. Em relação ao uso do solo, um dos principais problemas é a urbanização, agravada pelo crescimento paralelo aos córregos, assim como a quantidade de solo exposto. Vale ressaltar também que se trata de uma região com sazonalidade pluviométrica, com o verão úmido e chuvas convectivas que podem ocasionar a intensificação da erosão e movimentação de massa (figura 24), resultando em um maior assoreamento dos corpos d'água. Todos estes fatores são ainda agravados pela geologia da região que é composta por arenitos, rochas sedimentares formadas basicamente de areia e silte e que são altamente susceptíveis a erosão e movimento de massa (figura 25).

Figura 24 – Erosão fluvial em trecho urbano do Córrego dos Macacos.



Fonte: acervo pessoal da autora (fotografia tirada em 01/12/2020).

Figura 25 – Trecho do Córrego dos Macacos apresentando erosão fluvial em arenito.



Fonte: acervo pessoal da autora (fotografia tirada em 20/08/2020).

A localização dos reservatórios também é um ponto delicado, já que estão dispostos no centro da área urbana e os córregos que o abastece cortam os diversos bairros da cidade, o que dificulta a proteção ciliar e acaba expondo os cursos d'água

a maior recebimento de sedimentos trazidos das áreas expostas e agricultura, e também de entulho e lixo (figura 26), o que causa o assoreamento de muitos desses córregos e impede que a água chegue de fato ao reservatórios, contribuindo para o rebaixamento do nível de água nesses lagos e aumento da sedimentação no leito, chegando a ocasionar bancos de areia que ultrapassam o nível da água (figura 27).

Figura 26 – Trecho assoreado do córrego dos macacos exibindo a presença de lixo e entulho.



Fonte: acervo pessoal da autora (fotografia tirada em 20/08/2020).

Figura 27 – Reservatório “Lago 2” apresentando banco de areia (tracejado branco), decorrente de assoreamento, já coberto por vegetação.



Fonte: acervo pessoal da autora (fotografia tirada em 20/08/2020).

5.3. Desassoreamento e uso da areia

Na área de estudo, apenas a prevenção do assoreamento, embora indispensável, não é suficiente para solucionar a questão hídrica devido ao estado avançado de assoreamento em que se encontram os reservatórios artificiais estudados. Em virtude de diversos fatores anteriormente citados, como a localização dos reservatórios e a expansão urbana, é necessário que, para manter uma boa capacidade de armazenamento, os sedimentos depositados nos leitos dos reservatórios sejam dragados periodicamente, pois por mais que seja possível reduzir a intensidade do assoreamento causado pela ação antrópica, com a preservação da vegetação, proteção dos córregos contra o descarte irregular de entulho, asfaltamento de loteamento irregulares etc., a erosão é um processo de intemperismo físico que ocorre naturalmente em corpos d'água, que tendem a acomodar os sedimentos oriundos desse processo.

Visto que a demanda por materiais de construção é impulsionada pela expansão urbana, e que não existem processos minerários visando a extração de areia no município, mas existem mineradoras de areia na região, um bom destino para o material a ser dragado dos reservatórios seria a utilização em construção civil, visto que um dos principais problemas relacionados a dragagem é a destinação do material.

Casos semelhantes já foram estudados por Chaves et al. (1998) e Bueno (2010), como citado no subcapítulo 4.1.3., e ambos apresentaram parecer favorável a utilização de areia gerada em obra de desassoreamento como agregado para construção civil, mesmo quando mostrou-se necessário realizar beneficiamento.

A mineração, por vezes, mostra-se uma atividade que, apesar de essencial para o desenvolvimento humano, impacta de modo muito negativo o meio ambiente. No caso estudado existe a oportunidade de conciliar uma medida de utilidade pública, que é a retomada de capacidade dos reservatórios por meio do desassoreamento, que de qualquer forma deveria ser realizado, com o aproveitamento econômico da substância extraída, sendo uma alternativa de produção próxima ao maior mercado consumidor da região.

6. CONCLUSÃO

No presente estudo de caso, foi realizada uma ampla abordagem sobre as principais variáveis que influenciam o meio físico onde localiza-se o município de São José do Rio Preto a fim de se compreender as causas do assoreamento acelerado não só nos lagos artificiais que compõem a Represa Municipal, como também nos principais córregos que os abastecem, subsidiando o estudo de medidas mitigadoras.

Por meio da análise espaço-temporal do uso do solo, percebeu-se que entre os anos 2000 e 2010, houve um intenso crescimento urbano que, somado a diminuição de vegetação nativa, favoreceram o cenário de assoreamento dos reservatórios que se localizam em meio a área urbana. Já entre os anos de 2010 e 2020 a área ocupada por solo exposto chama a atenção não só pelo aumento expressivo, mas também por mostrar crescimento paralelo aos córregos quando na área urbana, possivelmente devido a construção de novos bairros, condomínios e a existência de loteamentos irregulares, além de ter ocupado boa parte do espaço de áreas antes usadas para cultivo e pastagem. Essa classe de uso do solo é especialmente relevante para o problema tendo em vista que quanto mais solo exposto, mais sedimentos estarão disponíveis para serem levados às áreas de deposição como rios, lagos e reservatórios, favorecendo o assoreamento

Em todos os anos é possível perceber a expressividade dominante da classe de uso do solo referente a agricultura e pastagem, que é uma classe de uso que impacta fortemente os fatores como erosão e capacidade de infiltração do solo, e mesmo sendo uma classe de uso expressiva não apresenta forte relevância econômica no PIB do município, evidenciando uma situação de estresse ambiental sem grandes retornos socioeconômicos.

A atual dinâmica de uso do solo em conjunto com o meio em que se insere o município, uma região caracterizada por substrato e solos arenosos e sazonalidade de precipitação, geram insegurança hídrica notável nos períodos de estiagem, quando os reservatórios assoreados mostram não ter capacidade suficiente para abastecer a população, fazendo com que seja necessárias medidas extremas de racionamento de água para evitar que tanto os reservatórios quanto os poços de aquíferos cheguem em seu limite, situação que seria irreversível devido à natureza dos aquíferos.

Confirmando os resultados da classificação supervisionada de uso do solo, com as visitas de campo foi possível verificar como a área urbana invade o espaço dos

córregos reduzindo a vegetação nativa, deixando a área susceptível a erosão fluvial derivada de obras e utilizando o leito dos córregos como depósito de entulho, contribuindo cada vez mais para o assoreamento dos mesmos e consequentemente ao da represa, além de diminuir o volume de água que chega nos reservatórios, situação comprovada pela existência de bancos de areia existentes em porções dos lagos.

Analisando as variáveis que ocasionam o problema estudado e as necessidades públicas que devem ser supridas, propõe-se que seja realizada a dragagem do leito dos reservatórios em caráter de urgência, evitando não só a falta de água para abastecimento público, mas também a paralisação das máquinas que realizam sua captação, visto que a situação atual não é ideal para captação de água.

Por fim, considerando que a disposição dos sedimentos dragados causa impedimentos para a realização da obra de desassoreamento, propõe-se o uso da areia extraída como minério, visto a alta demanda da substância pelo município impulsionada pela expansão urbana, somados a facilidade em se aproveitar economicamente a areia, que muitas vezes dispensa a etapa de beneficiamento ou requer apenas processos simples para poder ser comercializada.

Em um contexto social que busca cada vez mais a sustentabilidade, a possibilidade de solucionar uma grave questão de saúde pública e impulsionar a economia local é um tema extremamente atual e que não pode ser ignorado.

Como o presente estudo de caso apresenta um panorama geral sobre a situação descrita, sugere-se que estudos complementares como a caracterização tecnológica do minério e um plano de aproveitamento econômico sejam realizados, assim como um plano de controle ambiental e demais estudos para controle de erosão urbana, além de possíveis estudos a serem solicitados pelos órgãos reguladores como a ANM e CETESB, a fim de que o problema do assoreamento dos reservatórios seja solucionado a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCHA, S. F. Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. **São José do Rio Preto**, 1980.

CNPJ - Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas. Mapa de Empresas – Atividade Econômica: São José do Rio Preto. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/governodigital/pt-br/mapa-de-empresas/painel-mapa-de-empresas>>. Acesso em: 02 de dez. de 2020.

CÂMARA, Gilberto et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CANADA CENTER FOR REMOTE SENSING. Tutorial: Fundamentals of remote sensing. 2007.

CASTILHO, Francisco José Vigeta. Abordagem geográfica do clima urbano e das enfermidades em São José do Rio Preto/SP. 2006.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Aquíferos Monitorados: Bauru. São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-bauru/>>. Acesso em: 01 de nov. de 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Hidrografia do Estado de São Paulo: UGRHI 15. São Paulo. 2017. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/enquadramento-dos-corpos-hidricos-mapas-tematicos/>>. Acesso em: 05 de jun. de 2020.

CHAVES, Arthur Pinto; CASADEI, Décio Sândoli; NETO, D. D. O desassoreamento do rio Tietê e o aproveitamento da areia contida nos sedimentos. **XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Águas de São Pedro, SP**, 1998.

CHAVES, Arthur Pinto; WHITAKER, William. Operações de beneficiamento de areia. CETEM/MCTI. 2012.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Balanço Hídrico: São José do Rio Preto. São Paulo. 2020. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>>. Acesso em: 20 de out. de 2020.

COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (CPTI) & INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15) - Complementação para atendimento da Deliberação CRH 62. CBH-TG, 2008 e 2009.

CPTI – Cooperativa de Serviços Técnicos e Pesquisas Tecnológicas e Industriais. UGRHI 15: fundamentos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos dos usuários urbanos e industriais. Osasco. 2012. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7406/fundamentacao-cobranca_cbhtg_versao-final.pdf>. Acesso em: 04 de jun. de 2020.

DE MENDONÇA, José Luiz Galvão; GUTIERRE, Thereza Mitsuno Cochar. Os aquíferos Botucatu e Piramboia no Estado de São Paulo: novos mapas de isóbatas do topo, espessura e nível d'água. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 1998.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1976) Estudo de Águas Subterrâneas. Regiões administrativas 7, 8, 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba), 3 vol.

FERNANDES, Luiz Alberto. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 de jun. de 2020.

IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. Limites Municipais do Estado de São Paulo 1:50.000 (IGC). São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://www.metadados.idesp.sp.gov.br/catalogo/srv/por/catalog.search#/metadata/2991317d-8784-4f38-b6a6-56fcc912ec2e>>. Acesso em: 20 e out. de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande - Relatório Final. São Paulo: IPT/Digeo, 1999. (Relatório Técnico nº 40.515).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Manuais: tutorial de geoprocessamento. SPRING, 2006. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_pro.html>. Acesso em: 20 de out. de 2020.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981.

PERROTTA, M. M. et al. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil, CPRM, São Paulo**, 2005. Disponível em <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/2966>>. Acesso em: 04 de jun. de 2020.

PINHEIRO, FRANCELIA. Represa tem 450 mil metros cúbicos de sedimentos. **Diário da Região**, São José do Rio Preto, 21 de mar. de 2019. Disponível em <https://www.diariodaregiao.com.br/_conteudo/2019/03/cidades/rio_preto/1144511-represa-tem-450-mil-metros-cubicos-de-sedimentos.html#:~:text=S%C3%B3%20para%20se%20ter%20uma,mil%20metros%20c%C3%BA%20de%20material.>. Acesso em: 18 de abr. de 2020.

ROCHA, G.A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; CAIXETA, J.B. (1982) Tentativa de Zoneamento das Características Hidráulicas e Hidroquímicas do Aquífero Bauru. I Encontro de Geologia & Hidrogeologia: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia - SBG/SP. São Paulo, p.37-56.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 1, p. 118, 2017.

SEMAE - Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto. Plano Municipal de Água e Esgoto: Parte A. São José do Rio Preto. 2014. Disponível em: <<https://semae.riopreto.sp.gov.br/planos-municipais.aspx>>. Acesso em: 28 de abr. de 2020.

SERVMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. Delimitação de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso de Águas Subterrâneas no Município de São José do Rio Preto: aquífero sedimentar. São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7146/r2_rio_preto.pdf>. Acesso em: 04 de jun. de 2020.

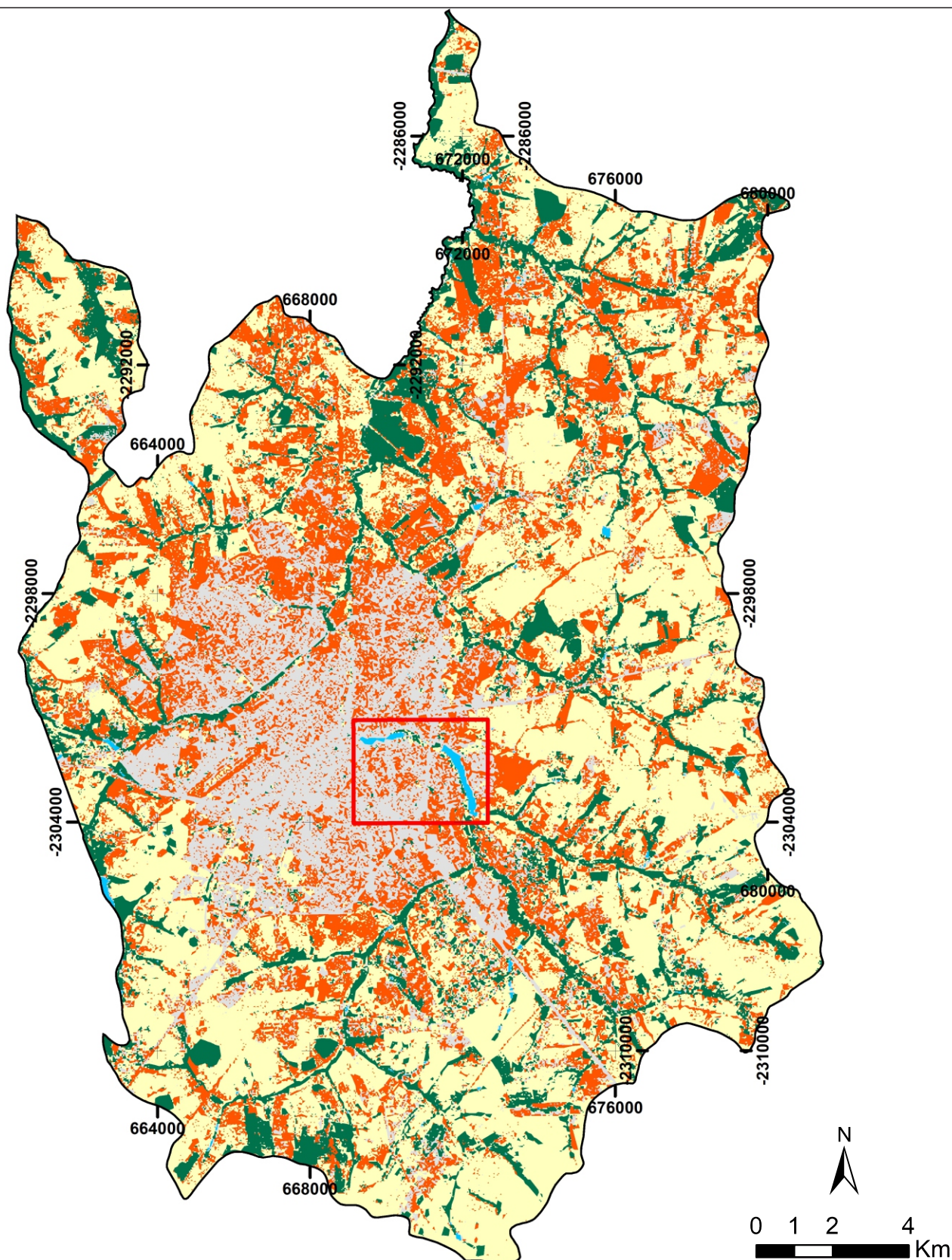
SMPLA - SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Conjuntura Econômica de São José do Rio

Preto. 34^a ed. São José do Rio Preto. 2019. Disponível em:
<<https://www.riopreto.sp.gov.br/wp-content/uploads/arquivosPortalGOV/planejamento/conjuntura/conjuntura-2019.pdf>>.
Acesso em: 28 de abr. de 2020.

VALVERDE, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. Balanço mineral brasileiro, v. 2001, 2001.

ZUFFO, Monica Soares Resio et al. Metodologia para avaliação da segurança de barragens. 2005.

**APÊNDICE A – MAPAS DE USO DO SOLO DOS ANOS DE 2000, 2010 E 2020
PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO.**



LEGENDA

- Limite Municipal
- Parque da Represa Municipal
- Corpo D'água
- Área Urbana
- Solo Exposto
- Vegetação Nativa
- Agricultura e pastagem

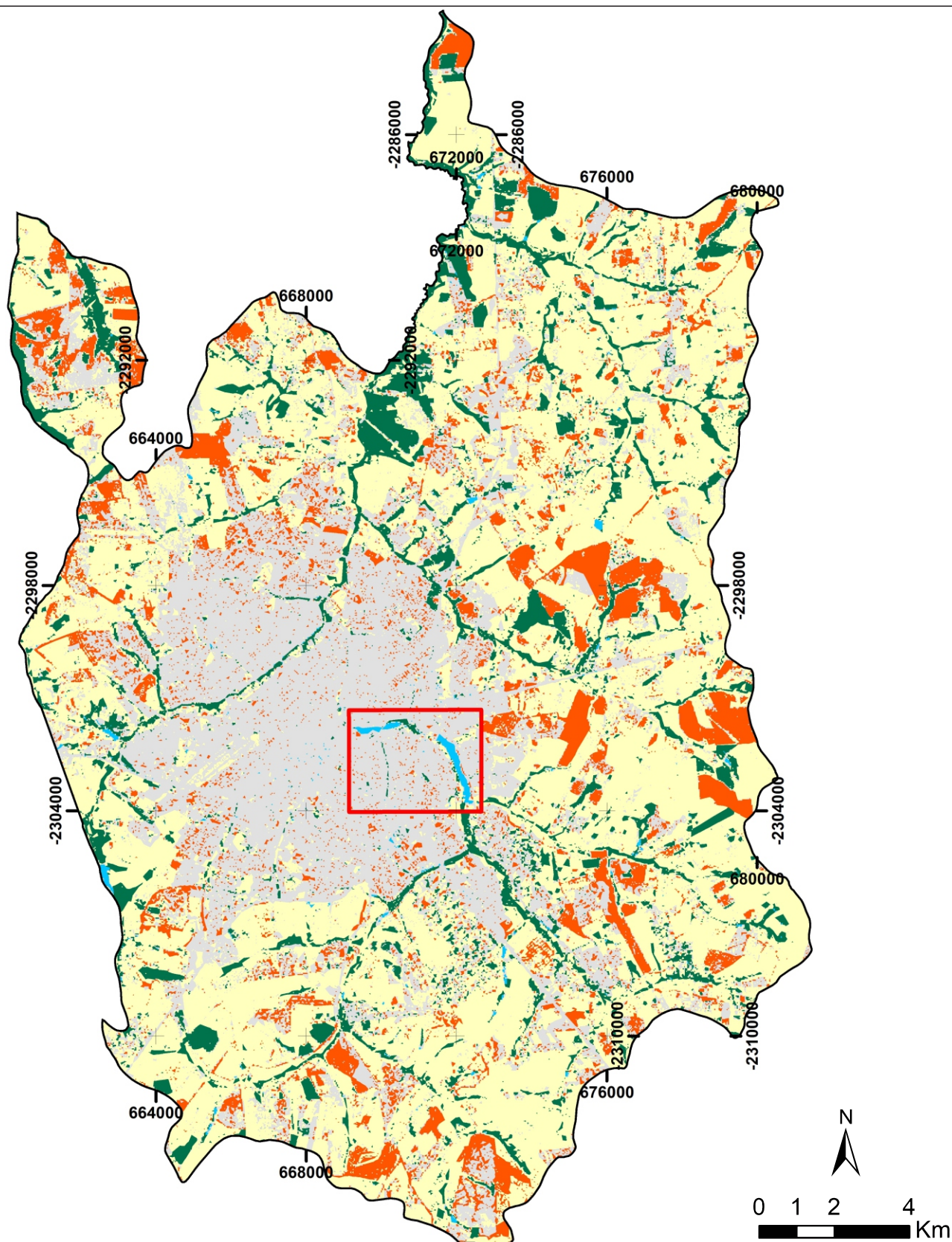
USO DO SOLO EM 2000 NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO/SP

Projeção UTM
Datum: WGS 84
Zona: 22N
Escala = 1:150.000

Autora:
Isabella de
Oliveira Franco

Localização no Estado de SP





LEGENDA

-  Limite Municipal
-  Parque da Represa Municipal
-  Corpo D'água
-  Área Urbana
-  Solo Exposto
-  Vegetação Nativa
-  Agricultura e pastagem

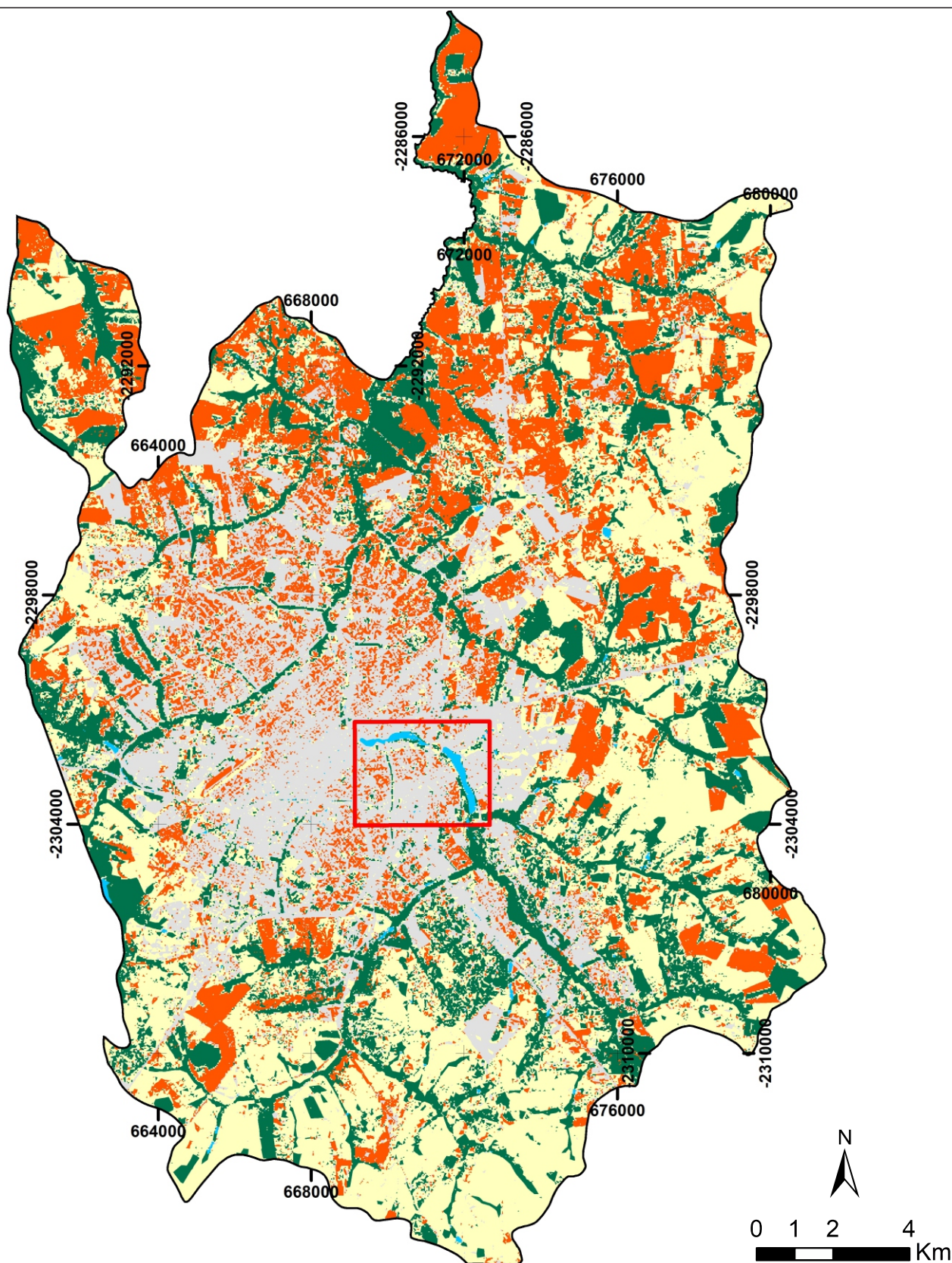
USO DO SOLO EM 2010 NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO/SP

Projeção UTM
Datum: WGS 84
Zona: 22N
Escala = 1:150.000

Autora:
Isabella de
Oliveira Franco

Localização no Estado de SP





LEGENDA

- Limite Municipal
- Parque da Represa Municipal
- Corpo D'água
- Área Urbana
- Solo Exposto
- Vegetação Nativa
- Agricultura e pastagem

USO DO SOLO EM 2020 NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO/SP

Projeção UTM
Datum: WGS 84
Zona: 22N
Escala = 1:150.000

Autora:
Isabella de
Oliveira Franco

Localização no Estado de SP

