

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**DIAGNÓSTICO E DELIMITAÇÃO DE USOS PARA OS AQUÍFEROS NO  
MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)**

Gabriela Teixeira Dantas

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans

Co-orientador: Vinicius Mendes Veiga

Rio Claro (SP)

2022

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

GABRIELA TEIXEIRA DANTAS

DIAGNÓSTICO E DELIMITAÇÃO DE USOS PARA OS  
AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)

Trabalho de Formatura 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 Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2022

D192d Dantas, Gabriela Teixeira  
Diagnóstico e delimitação de usos para os aquíferos no município de Rio Claro (SP) / Gabriela Teixeira Dantas. -- Rio Claro, 2022  
39 f. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientador: Didier Gastmans  
Coorientador: Vinicius Mendes Veiga

1. Águas Subterrâneas. 2. Aquíferos. 3. Outorga. 4. Plano Diretor. 5. Gestão de Recursos Hídricos. 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.

GABRIELA TEIXEIRA DANTAS

DIAGNÓSTICO E DELIMITAÇÃO DE USOS PARA OS  
AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)

Trabalho de Formatura 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 Engenheiro  
Ambiental.

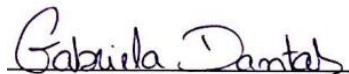
Comissão Examinadora

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)


Msc. Carolina Stager Quaggio

Julia Octaviano Noale

Rio Claro, 18 de fevereiro de 2022.



Assinatura do(a) aluno(a)



Assinatura do(a) orientador(a)



Assinatura do(a) co-orientador(a)

## AGRADECIMENTOS

Eu não poderia iniciar meus agradecimentos, sem deixar registrado bem ao topo dessa página os nomes da minha mãe e do meu pai, **Kátia e Jair**, para mim eles sempre vêm em primeiro lugar. Minha eterna gratidão, por todos os esforços feitos e por todo suporte dado, é por isso que estou aqui hoje e sigo conquistando tanto.

Agradeço minha irmã **Clarice**, meu irmão **Pedro** e minha avó **Cícera** por me acolherem com tanto amor toda vez em que eu retornava para casa, vocês foram minha força todos esses anos.

Agradeço, imensamente, ao meu companheiro de vida e melhor amigo, **Pedro**. Você sempre será o maior presente que a UNESP me deu, nosso amor nos faz melhores e nos leva mais longe.

Agradeço (e muito) à **República Cabeças**, cada uma dessas meninas, que eu tive o maior privilégio da vida em conhecer, serão para sempre minha família.

Agradeço aos meus amigos EA015, **Bruno, Lui, Xablau, Chikun, Kiko, Seidji, Drinkev e Mavis**, sem vocês a faculdade jamais teria sido a mesma. Nossa amizade foi, com certeza, a parte mais legal.

Agradeço toda equipe **BMRC**, em especial minha chefinha **Júlia**, foi um prazer ter trabalhado com vocês e meu estágio foi fundamental para elaboração deste trabalho.

E por fim, mas, sem dúvidas, com certeza, não menos importante, agradeço ao meu orientador **Didier**. Sem você esse trabalho não sairia do plano das ideias, muito obrigada pela paciência, orientação e não ter desistido de mim durante esse longo percurso, rs.

## RESUMO

As águas subterrâneas, de maneira simplificada, consistem em uma parcela da água doce disponível no planeta que permanece no subsolo. Estas possuem papel essencial no ciclo hidrológico, no fluxo das águas superficiais, no abastecimento humano, além de contribuir no crescimento socioeconômico de uma região. Entretanto, as águas subterrâneas possuem um ciclo lento de recarga, fato que, somado ao aumento progressivo de sua exploração, em decorrência do crescimento populacional, evidencia um problema relacionado à sua disponibilidade num futuro próximo. Nesse contexto, é muito importante que os municípios se engajem na temática e elaborem planejamentos urbanos que olhem para os recursos hídricos com responsabilidade a fim de se garantir o abastecimento seguro da população. Dessa forma, o presente trabalho analisou o uso de água subterrânea no município de Rio Claro (SP), sob as óticas de finalidade de uso, aquíferos explorados e volumes explorados, através do levantamento de dados de todos os poços cadastrados, seja por outorga ou dispensa de outorga, junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Sendo possível, ao fim, constatar uma deficiência na gestão das águas subterrâneas no município, uma vez que, por exemplo, mais da metade do volume extraído ocorre em um único sistema e em sua maior parte destinada à finalidade industrial, e a falta de um plano diretor pautado nas informações sobre esses recursos na região, quando verificado que uma considerável concentração de poços ocorre na macrozona urbana da cidade.

**Palavras-chaves:** Águas Subterrâneas. Aquíferos. Outorga. Plano Diretor. Planejamento Urbano. Gestão de Recursos Hídricos.

## **ABSTRACT**

Groundwater, in a simplified way, consists of a portion of the fresh water available on the planet that remains underground. These have an essential role in the hydrological cycle, in the flow of surface water, in human supply and to contributing to a region's socioeconomic growth. However, groundwater has a slow recharge cycle, a fact that, added to the progressive increase in its exploitation, as a result of population growth, highlights a problem related to its availability in the near future. In this context, it is very important that cities engage in the theme and develop urban plans that look at water resources responsibly in order to guarantee the safe supply of the population. In this way, the present work analyzed the use of groundwater in the city of Rio Claro (SP), from the perspective of purpose of use, exploited aquifers and exploited volumes, through data collection of all registered wells, either by grant or waiver of grant, with the Department of Waters and Electric Energy (DAEE). It was possible, in the end, to verify the deficiency in water management in the municipality and the lack of a master plan based on information about the region's water resources.

**Keywords:** Groundwater. Aquifers. Bestowal. Master plan. Urban Planning. Water Resources Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Rio Claro (SP) .....	14
Figura 2. Mapa de Zoneamento do Município de Rio Claro (SP).....	17
Figura 3. Mapa de Áreas Contaminadas do Município de Rio Claro (SP) .....	18
Figura 4. Fluxograma Contendo as Etapas Principais da Metodologia utilizada no Trabalho	19
Figura 5. Gráfico de Porcentagem de Situação dos Poços no Município de Rio Claro (SP)...	22
Figura 6. Gráfico de Quantidade de Tipo de Poço Ativo por Ato Administrativo (Outorga e Dispensa de Outorga) no Município de Rio Claro (SP).....	24
Figura 7. Gráfico de Porcentagem de Poços Ativos Cadastrados em CPF vs. CNPJ no Município de Rio Claro (SP).....	25
Figura 8. Gráfico de Porcentagem de Finalidade Principal de Uso dos Poços Ativos de acordo com a IT 10 no Município de Rio Claro (SP) .....	26
Figura 9. Mapa de Poços por Finalidade de Uso do Município de Rio Claro (SP).....	27
Figura 10. Gráfico de Porcentagem de Poços Ativos por Aquífero no Município de Rio Claro (SP) .....	28
Figura 11. Gráfico da Quantidade de Finalidades de Uso dos Poços Ativos nos Aquíferos Tubarão e Passa Dois no Município de Rio Claro (SP).....	29
Figura 12. Mapa de Poços por Aquífero do Município de Rio Claro (SP).....	30
Figura 13. Gráfico dos Volumes Captados em m <sup>3</sup> /dia por Aquífero e Ato Administrativo (Outorga e Dispensa de Outorga) do Município de Rio Claro (SP) .....	31
Figura 14. Gráfico dos Volumes Captados em m <sup>3</sup> /dia por Finalidade Principal de Uso de acordo com a IT 10 no Município de Rio Claro (SP) .....	32
Figura 15. Mapa de Densidade Kernel da Exploração dos Poços do Município de Rio Claro (SP) .....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Colunas da Planilha de Banco de Dados.....	20
--	----

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 Águas subterrâneas e o ciclo hidrológico.....	10
3.2 Águas subterrâneas e a outorga para uso .....	12
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	13
4.1 Localização.....	13
4.2 Clima.....	14
4.3 Geologia .....	15
4.4 Hidrogeologia .....	15
4.5 Macrozoneamento e aspectos populacionais.....	16
4.6 Áreas contaminadas .....	17
5. MATERIAS E MÉTODOS.....	19
5.1 Levantamento de dados.....	19
5.2 Seleção e tratamento do banco de dados.....	21
5.3 Geração de mapas e gráficos .....	21
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
6.1 Análises gerais.....	22
6.2 Análises de finalidade de uso .....	25
6.3 Análise dos aquíferos explorados .....	27
6.4 Análise do volume explotado .....	30
7. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que dos 2,5% de água doce disponível no planeta, apenas 23% são próprias para consumo humano. Desta última parcela, mais de 95% contemplam as águas subterrâneas, tornando-as um importante manancial de abastecimento por serem, dessa forma, o maior reservatório de água potável do planeta (MIDÕES; FERNANDES; COSTA, 2001).

A gestão dos recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, é um tema extremamente relevante, não só pelo ponto de vista do abastecimento humano, mas também fundamental para desenvolvimento do país, sobretudo na geração de energia, na indústria e na agricultura. Em um contexto de insegurança hídrica, com aumento da demanda e a diminuição da disponibilidade das águas superficiais, as águas subterrâneas passam a ser estratégicas, uma vez que possuem enorme potencial para garantir o abastecimento hídrico de qualidade e em quantidades adequadas para o uso humano. Porém, esse uso deve ser feito de forma racional e coordenada, a fim de não se comprometer esses mananciais para as gerações presentes e futuras (GRANZIERA; GRANZIERA, 2015).

Frente à sua relevância, as águas subterrâneas viraram pauta de grande preocupação, isso porque o volume explorado vem ocorrendo rápida e intensamente, ultrapassando o intervalo de tempo necessário para que os aquíferos possam ser reabastecidos, onde a maioria deles levam milhares de anos para serem preenchidos.

É válido reforçar também que a disponibilidade hídrica subterrânea, sob o ponto de vista de um recurso explorável, pode variar no espaço e no tempo em função das condições hidrogeológicas, do efeito das explorações no regime de fluxo dos aquíferos, da disposição e execução das obras de captação e equipamentos de exploração, dentre outros fatores (PROFILL-RHAMA, 2020).

Por ser um recurso invisível, as águas subterrâneas são pouco compreendidas, muitos não têm a exata noção do que são, do seu funcionamento na natureza, nem da sua dinâmica. Desse modo, o gerenciamento dessas águas se torna um desafio, sendo indispensável o acesso a informações dirigidas que esclareçam pontos primordiais para seu entendimento (CONICELLI; HIRATA, 2017). “A harmonização e interpretação correta dos termos e dos conceitos é base fundamental para que haja consenso, articulação e alcance dos objetivos propostos de gestão das águas” (HAGER *et al.*, 2002, p.16).

Outra problemática verificada é em decorrência do aumento da densidade populacional e o crescimento das cidades sem infraestrutura para fornecimento de água, sendo este um dos

maiores desafios associados com a magnitude e velocidade de mudança da paisagem urbana. Esta falta de planejamento do abastecimento das cidades, pode vir a ocasionar uma maior dependência do uso das águas subterrâneas (GUNERALP, 2008; VO, 2007, LUNDQVIST *et al.*, 2003 apud Mazzuco *et al.*, 2018). Fora isso, sem planejamento urbano, as cidades se expandem incorporando os recursos hídricos ao meio ambiente construído, ocasionando sua poluição e contaminação, afetando sua qualidade e reduzindo seu volume disponível para consumo (GUIMARÃES, 2007, apud SANTIN, CORTE, 2010).

Neste contexto, é muito importante que os municípios possuam um planejamento urbano consciente das prioridades do meio ambiente, de forma a proteger, garantir, recuperar e gerenciar a qualidade e quantidades de seus recursos hídricos, sendo eles essenciais à vida, ao desenvolvimento socioeconômico e à sustentabilidade (SANTIN, CORTE, 2009).

Dessa forma, o Plano Diretor de um município, instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, deve apresentar como base legal meios suficientes para assegurar a harmonia entre a gestão da água e dos solos, promovendo políticas públicas que visem o planejamento e a utilização dos recursos hídricos de forma integrada a ocupação ordenada e adequada do solo. Entretanto, é preciso destacar, desde já, que o Plano Diretor é um instrumento de gestão dos solos e não, especificamente, de gestão de águas (SANTIN, CORTE, 2009). E que raramente para sua elaboração são consideradas as águas subterrâneas.

“Diante do exposto, para que os recursos hídricos sejam protegidos e utilizados de maneira sustentável é necessário que sejam geridos dentro do espaço em que se encontram, de forma integrada, não isolada ao meio ambiente e ao interesse local” (SANTIN, CORTE, 2009, p.30).

A área de estudo do presente trabalho refere-se ao município de Rio Claro, localizado no interior do estado de São Paulo, pertencente ao Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) ou UGRHI 05 - Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e está inserido na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí. Por fazer parte do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, o principal conglomerado desse setor no país, possui forte presença de atividades industriais em seu território, o que representa impacto direto em seus recursos hídricos, superficiais e subterrâneos (LORETI JUNIOR; SARDOU FILHO; CALTABELOTI, 2014).

Segundo levantamento realizado, até o ano de 2020, existiam 287 poços cadastrados no município, de acordo com registros do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Entretanto, pouco se sabe a respeito dos verdadeiros efeitos dessas captações aos aquíferos da região. A bibliográfica carece de estudos que analisem essa temática com base em dados reais e atuais do município, muito por

conta da dificuldade de acesso a essas informações de forma centralizada, o que acaba por prejudicar a tomada de decisão dos órgãos encarregados, no que se refere ao gerenciamento correto dessas águas.

## **2. OBJETIVOS**

A execução deste trabalho possui como objetivo principal a delimitação do uso das águas subterrâneas armazenadas nos aquíferos localizados no município de Rio Claro (SP), em concordância com as macrozonas definidas no plano diretor do município, a partir do diagnóstico de suas utilizações.

Como objetivos secundários, o levantamento, centralização e análise de dados de todos os registros de poços cadastrados na cidade, seja por outorga ou dispensa de outorga, a fim de se fomentar mecanismos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos baseados em informação e apoiar o DAEE nos processos de avaliação de deferimento de outorga/dispensa de uso.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Águas subterrâneas e o ciclo hidrológico**

Segundo Hirata *et al.* (2019), toda água que se encontra abaixo da superfície do solo é denominada água subterrânea, que ao ocupar os espaços entre os poros das rochas e dos sedimentos constitui um aquífero. Representando 97% de toda disponibilidade de água doce e líquida do planeta, caracteriza-se como o maior reservatório de água potável da humanidade.

“Mais do que um recurso, a água subterrânea é uma característica essencial do ambiente natural. Ela é parte do ciclo hidrológico e, por esse motivo, a compreensão do seu papel nos estudos integrados com águas superficiais em bacias hidrográficas é fundamental.” (FEITOSA *et al.*, 2008, p. 53).

O ciclo hidrológico consiste em um sistema de circulação, superficial e subterrâneo, da água entre o oceano, a atmosfera e o continente. Sua ocorrência no solo e no subsolo é devido, principalmente, à ação da gravidade, mas também pelo tipo de densidade da cobertura vegetal. Já na atmosfera e nas superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceanos), a influência provém dos elementos e fatores climáticos, como a temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar e

a insolação, logo, são responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para atmosfera (FEITOSA *et al.*, 2008).

O fluxo de entrada para o ciclo hidrológico é a precipitação, sua ocorrência se dá sob a forma de chuva ou derretimento da neve (FREEZE; CHERRY, 1979). As águas provenientes desses dois fenômenos, também passíveis de perdas, tanto por evapotranspiração quanto por absorção pela superfície vegetal, ao chegarem no solo podem escoar superficialmente ou infiltrar-se (CASTANY, 1971 apud ZANETTI, 2012).

De acordo com Kobiyama (1999) e Collischonn e Tassi (2008), o escoamento superficial é um processo horizontal dentro do sistema hidrológico, no qual a água percorre um caminho superficial no solo até atingir um curso d'água. E a infiltração é um processo vertical definido pela passagem da água através da superfície do solo, transitando pelos poros até chegar ao interior, ou perfil, do solo.

É válido reforçar a importância da infiltração para o crescimento vegetal e reposição de água dos aquíferos, estando esse último, diretamente ligado ao armazenamento de água que garante a manutenção do fluxo dos rios em períodos de estiagem. Além disso, quanto maior a infiltração, menor o escoamento superficial e conseqüentemente menos surgimento de processos erosivos (TUCCI; BELTRAME, 2000).

Ao infiltrar no solo, a água pode ser dividida em três frações: a mais superficial, acima do nível freático, que permanece na zona não saturada onde os vazios do solo estão parcialmente preenchidos por água e ar; uma fração intermediária, conhecida como interfluxo, onde ainda pode ocorrer o escoamento lateral, em zonas não saturadas, partes pouco permeáveis logo abaixo da superfície do solo, e atingir leitos de cursos d'água; e uma última fração que pode alcançar o nível freático, caracterizando o processo de recarga dos aquíferos (FEITOSA *et al.*, 2008).

Para fechamento do ciclo hidrológico e retorno da água para atmosfera, ocorre a evapotranspiração. Esta consiste na junção da evaporação dos corpos d'água superficiais e das superfícies do solo com a transpiração das plantas (FREEZE; CHERRY, 1979).

Segundo Freezy e Cherry (1979), pode-se argumentar que a parcela do ciclo hidrológico que é subterrânea é mais importante do que a parcela superficial, uma vez que, são os processos subterrâneos que controlam as taxas de infiltração e, portanto, o tempo e distribuição espacial do escoamento superficial.

### 3.2 Águas subterrâneas e a outorga para uso

No Estado de São Paulo, o principal órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos é o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Criado pela Lei nº 1.350, de 12 de dezembro de 1951 do Governo do Estado de São Paulo, possui, dentre outras atribuições, outorgar e fiscalizar o uso de águas subterrâneas.

Os recursos hídricos contam com um relevante instrumento básico, a outorga. Fundamentada em bases técnicas, legais, econômicas e sociais, a outorga de direito de uso trata-se de um dado que compõe fontes de informação e registros de transações de água, independente do mecanismo que tal transação se executa (CEPAL, 1994 apud CRUZ, 2001).

De acordo com a Portaria DAEE nº 1.630, de 30 de maio de 2017 (reti-ratificada no Diário Oficial do Estado (D.O.E.) de 21/03/2018 e alterada pela Portaria DAEE nº 3.280 de 24/06/2020), que dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, considera, no Art. 2º, outorga como:

“Ato administrativo, que pode ser por meio de autorização, de concessão ou de licença, com prazo determinado, mediante o qual o DAEE defere a utilização ou interferência em recursos hídricos, após solicitação formal do requerente, nos termos e nas condições expressas em Portaria específica, considerando aspectos técnicos e legais previstos em regulamento.” (SÃO PAULO, 2017<sup>a</sup>, p.2).

Segundo Silveira (1998), a emissão da outorga para utilização de águas subterrâneas desempenha a função de garantir ao usuário o direito de uso desse recurso, porém condicionando-o à disponibilidade hídrica dos aquíferos a serem explorados, sendo a análise das condições desses aquíferos, quantitativamente e qualitativamente, a fim de se corretamente deferir ou não cada pedido de outorga, de responsabilidade do Departamento de Águas e Energia Elétrica.

Tratando-se apenas das águas subterrâneas, são passíveis de outorga: a execução de obras ou serviços que possam alterar o regime, a quantidade e a qualidade desse recurso, a execução de obras para sua extração e a derivação dessas águas dos seus depósitos para fins de abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros (SÃO PAULO, 2017<sup>a</sup>).

Cada outorga de autorização, concessão ou licença para o uso ou interferência de água subterrâneas possui um prazo fixo, definido em Portaria normativa do DAEE, podendo ser revogada a qualquer tempo em defesa do bem público, ou caso ocorra o descumprimento, pelo usuário, das condições definidas na outorga.

As regras e condições para derivações consideradas insignificantes e, por isso, dispensadas de outorga, são descritas na Portaria DAEE nº 1.631, de 30 de maio de 2017 (reti-ratificada em 21/03/2018). Assim, para todo uso de recursos hídricos subterrâneos que, isoladamente ou em conjunto, ocorra a extração um volume igual ou inferior a 15 metros cúbicos por dia em um mesmo aquífero, portanto considerada insignificante, será necessário realizar uma solicitação de dispensa de outorga, para o DAEE, a fim de se regularizar legalmente o uso (SÃO PAULO, 2017<sup>b</sup>).

Ainda sob a ótica legislativa, todo usuário que possui uma captação de água subterrânea, outorgada ou dispensada de outorga, com exceção de poços escavados (cacimbas e ponteiras) que não possuem obrigatoriedade de outorga, deve instalar, manter e operar, em cada captação por ele utilizada, equipamento hidrométrico de medição de vazão e totalizador de volume, e declarar, conforme frequência definida na outorga/dispensa, ao Departamento de Águas e Energia Elétrica, os dados medidos por meio desses equipamentos, ficando sujeito o usuário à fiscalização, também realizada pelo DAEE, e se verificado o não cumprimento, à penalidade de multa simples (SÃO PAULO, 2018).

De acordo com Cruz (2001), toda informação de volume utilizado por cada captação de água subterrânea é fundamental para o conhecimento da disponibilidade hídrica, uma vez que, esses usos possuem efeito direto nas séries hidrológicas. Dessa forma, destaca-se a importância de uma efetividade das legislações que visam medir e monitorar as vazões exploradas.

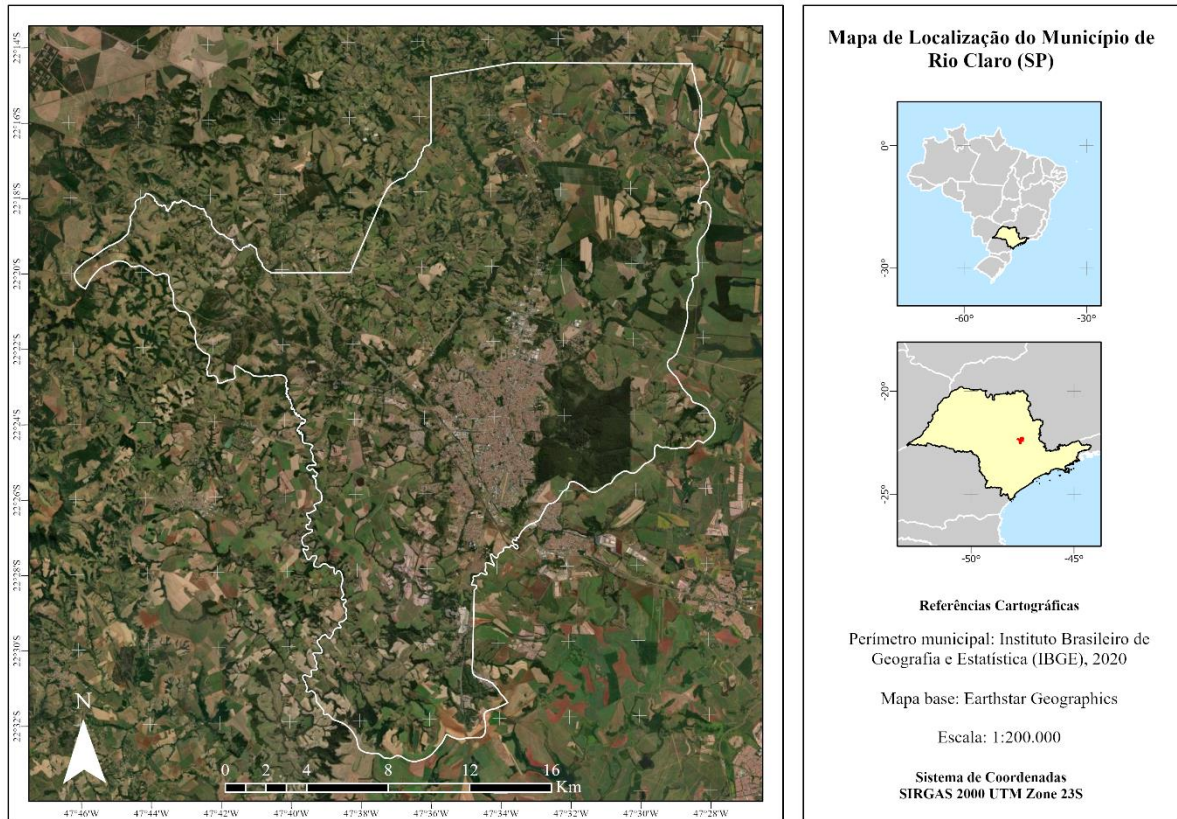
## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 Localização**

Rio Claro é um município localizado no interior do estado de São Paulo, entre as coordenadas 22°14' e 22°33' S; e 47°27' e 47°46' O, a 175 km noroeste da capital, conectando-se via Anhanguera-Bandeirantes e rodovia Washington Luiz (SP310). Possui uma área territorial de 498,422 km<sup>2</sup>, composta por 3 distritos: Rio Claro, Ajapi e Assistência, que faz divisa com municípios de Leme, Araras, Santa Gertrudes, Iracemápolis, Piracicaba, Ipeúna, Itirapina e Corumbataí. E insere-se no Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba,

Capivari e Jundiá (CBH-PCJ), Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) 05, na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

**Figura 1. Mapa de Localização do Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.2 Clima

“O clima na região é do tipo Cwa na classificação de Köppen, onde: C é a média do mês mais frio ( $3^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ); w corresponde à precipitação total média anual (seca no inverno) e a ao mês mais quente com temperatura média superior a  $22^{\circ}\text{C}$  [...]” (TROPMAIR, 1992 apud MALUTA, 2014, p. 19).

O verão apresenta maior presença de chuvas, chegando a precipitar um volume total de 1200 mm, em 55/60 dias, entre os meses de outubro e março, o que representa 80% da precipitação anual. Já o inverno, caracteriza-se como a estação seca, com 180 a 200 mm de chuva em 15/20 dias, nos meses de abril a setembro. Assim, definidas duas estações alternadamente chuvosas. (TROPMAIR, 1978 e 1992 apud ZAINÉ, 2000).

### 4.3 Geologia

Em um contexto geológico regional, o município de Rio Claro localiza-se no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, composta por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Subgrupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (formações Rio Claro e Itaqueri e depósitos recentes).

“A maior parte do Município de Rio Claro está sobre sedimentos da Formação Corumbataí e Formação Rio Claro, e, secundariamente, sobre rochas intrusivas básicas, como, por exemplo, na área do Horto Florestal [...]” (ZAINE, 2000, p. 49).

Segundo Oliva (2006), a Formação Corumbataí, que possui uma variação de espessura entre 60 a 180m, ocorre em extensa faixa da Depressão Periférica do município de Rio Claro e constitui a principal unidade subjacente à Formação Rio Claro.

Para os sedimentos neoceno-zóicos, com espessura máxima de 30 m, situados no patamar inferior (entre 600 e 800 m), sobre o qual se encontra a cidade de Rio Claro, atribuiu a denominação de Formação Rio Claro (OLIVA, 2006)

Já as rochas intrusivas básicas, que sustentam feições mais elevadas, apresentam espessuras médias de 70 a 100 metros e possuem grande importância na caracterização do relevo, sendo um exemplo dessa ocorrência os morros do Horto Florestal (ZAINE, 2000).

### 4.4 Hidrogeologia

“Com base no esboço da distribuição espacial dos sistemas aquíferos definidos pelo DAEE (1981), a cidade de Rio Claro está assentada sobre os grupos Passa Dois e Tubarão, rochas intrusivas básicas e sedimentos da Formação Rio Claro.” (OLIVA, 2006, p. 4).

Entretanto, destacam-se dois aquíferos principais, o Rio Claro e o Tubarão. O primeiro, como o próprio nome já diz, trata-se de um sistema constituído por materiais pouco consolidados da Formação Rio Claro, sendo um aquífero livre, pouco profundo, com nível d'água entre 2m e 25m, vazão entre 5 m<sup>3</sup>/h e 25 m<sup>3</sup>/h e espessura aproximada de 30m. Já o Aquífero Tubarão, composto sedimentos da Formação Tatuí e do Subgrupo Itararé, caracteriza-se como confinado, profundidades que variam em torno de 200 metros e vazão entre 20 m<sup>3</sup>/h e 37 m<sup>3</sup>/h (OLIVA, 2006).

Com relação às outras duas ocorrências, o Aquífero Passa Dois possui espessura aproximada de 220m e vazão de 10 m<sup>3</sup>/h. E o Aquífero Serra Geral, que ocorre nas rochas intrusivas básicas, possui vazão entre 5 m<sup>3</sup>/h e 30 m<sup>3</sup>/h (OLIVA, 2006).

Ainda segunda Oliva (2006), a qualidade das águas desses aquíferos possibilita seu uso para abastecimento público, irrigação, criação de animais e industrial.

#### **4.5 Macrozoneamento e aspectos populacionais**

O Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro em vigor, instituído pela Lei Complementar nº 0128, de 04 de dezembro de 2017, consiste em um instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana e rural, servindo de base para o ordenamento físico e territorial, objetivando a sustentabilidade, função social da cidade e o bem-estar de seus habitantes (RIO CLARO, 2017).

A partir dessa mesma lei, definiu-se o macrozoneamento do município, em concordância com as características ambientais e grau de urbanização em:

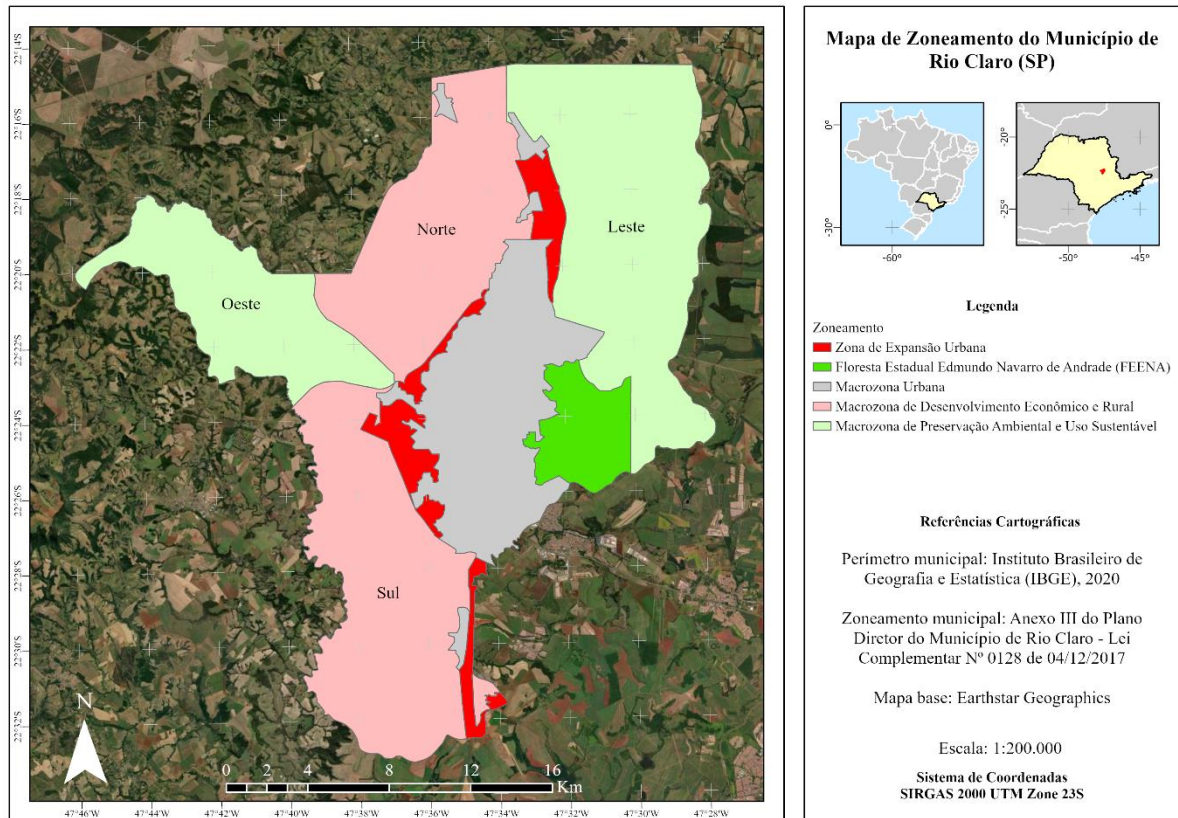
I. Macrozona de Preservação Ambiental e Uso Sustentável: região de vulnerabilidade ambiental das sub-bacias hidrográficas e existência de Áreas de Proteção Ambiental (APAs), além de sua importância na disponibilidade de recursos naturais para o próprio município e os demais de seu entorno;

II. Macrozona de Restrição Ambiental: representa todos os cursos d'água existentes no município e suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP), região de fragilidade ambiental das áreas de várzeas dos rios e córregos e das planícies aluviais formadas por depósitos colúvio-aluvionares;

III. Macrozona Urbana: toda porção do município que seja urbanizada ou venha a ser incorporada pelo processo de urbanização;

IV. Macrozona de Desenvolvimento Econômico: região com grande oportunidade de exploração econômica, principalmente agrícola e minerária.

**Figura 2. Mapa de Zoneamento do Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

Já com relação a sua população, segundo o último censo do IBGE (2010), Rio Claro possui uma população total de 186.253 habitantes, 97,5% deles residentes na área urbana, com densidade demográfica de 373,69 hab/km<sup>2</sup>.

#### **4.6 Áreas contaminadas**

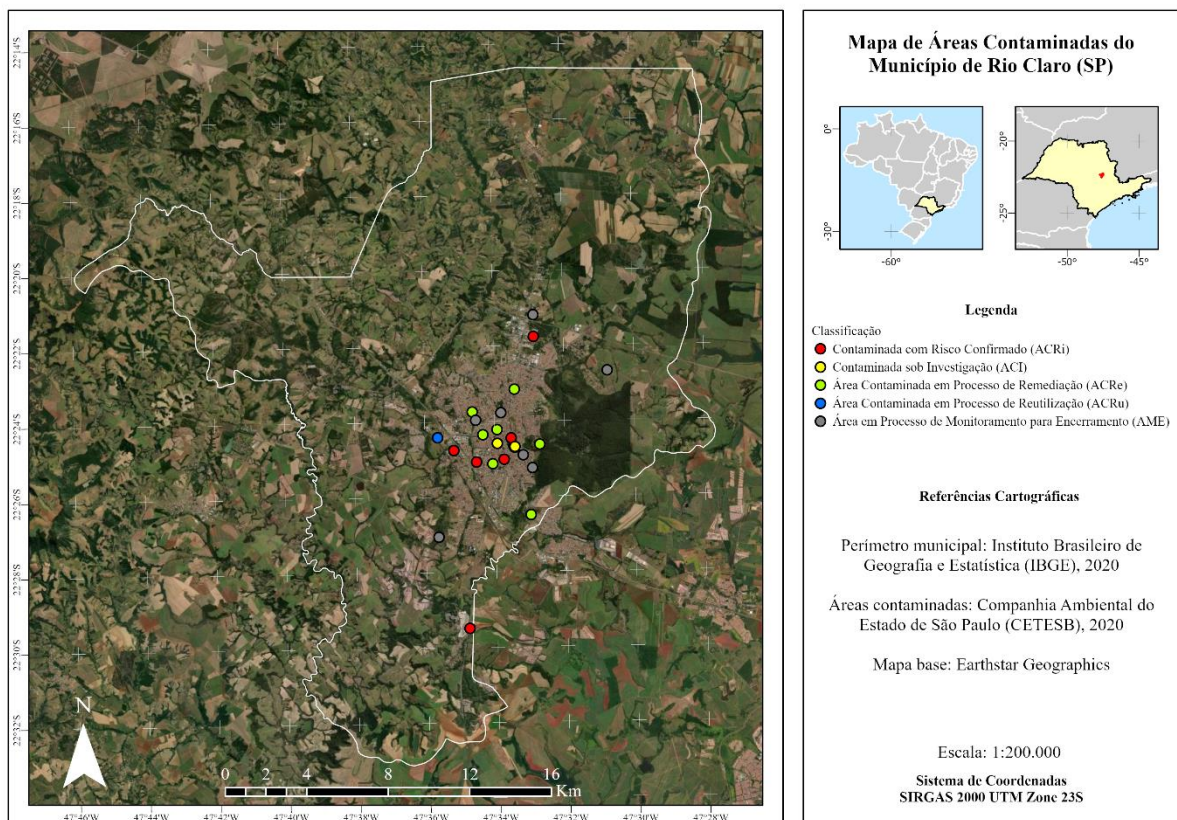
De acordo com a Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, emitida pela CETESB (2020), o município de Rio Claro possui 25 áreas contaminadas, sendo 16 delas provenientes das atividades de postos de combustíveis, 5 de descarte e disposição de resíduos e 4 industriais, distribuídas entre as classificações:

- a. Área Contaminada sob Investigação (ACI): áreas que, após investigação confirmatória, foram constatadas concentrações de contaminantes que expõem, ou podem expor, bens a risco;
- b. Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi): áreas que, após investigação detalhada e avaliação de risco, foram constatadas concentrações de contaminantes,

no solo ou em águas subterrâneas, que apresentam risco ecológico e à saúde ou à vida humana, ou onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis;

- c. Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe): áreas que se encontram sob aplicação de técnicas de remediação a fim de se eliminar, reduzir, conter ou isolar as concentrações de contaminantes presentes, a depender de cada caso.
- d. Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu): áreas onde, após eliminação ou redução a padrões legais das concentrações de contaminantes, que colocam em risco os bens a proteger, objetiva-se um novo uso do solo.
- e. Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME): áreas em que, após implantados processos de remediação até atingimento de padrões legais de concentração, ou sem identificação de riscos, ocorre o monitoramento dos contaminantes.

**Figura 3. Mapa de Áreas Contaminadas do Município de Rio Claro (SP)**

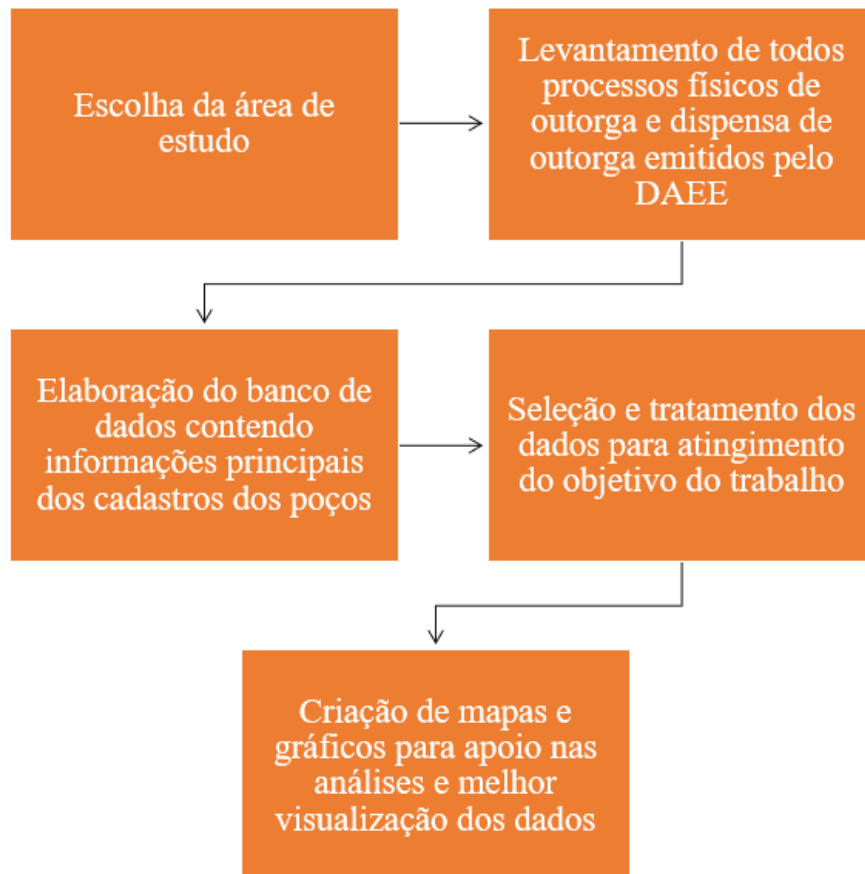


Fonte: Elaborado pela autora.

## 5. MATERIAS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para desenvolvimento do presente projeto teve como etapas principais os itens descritos na figura abaixo.

**Figura 4. Fluxograma Contendo as Etapas Principais da Metodologia utilizada no Trabalho**



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1 Levantamento de dados

Para elaboração deste projeto, primeiro foi delimitada a área de estudo, que compreende todo o município de Rio Claro, e definido que a análise se aplicaria aos poços existentes dentro desse espaço territorial.

Na sequência, para construção do banco de dados, foram utilizados todos os arquivos físicos onde constam os cadastros de cada poço, em sua maioria regularizado, mas em alguns casos

irregulares, que se tinha registro no município até janeiro de 2020, disponibilizados pelo Escritório de Apoio Técnico de Rio Claro (BMRC), pertencente à Diretoria da Bacia do Médio Tietê (BMT), repartição do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. Os dados encontrados foram compilados em uma planilha no Excel, conforme tabela abaixo.

**Tabela 1. Colunas da Planilha de Banco de Dados**

<b>Dados Coletados</b>	
ID POÇO	Longitude
Folha Topográfica	Endereço do uso
Nº do Poço DAEE	Vazão de exploração (m <sup>3</sup> /hora)
Requerimento	Período de bombeamento (hora/dia)
Data de Requerimento	Vazão diária explotada (m <sup>3</sup> /dia)
Município	Período (dia/mês)
Situação	Aquífero
Processo	UGRHI
Usuário	Finalidade principal de acordo com a IT 10
CPF/CNPJ	Relatório Fotográfico do Poço
Tipo de poço	Último ato administrativo
Coordenadas UTM Km N	Número do Ato
Coordenadas UTM Km E	Data de publicação do ato
Datum	Data de validade do ato
Latitude	Data da Reti-ratificada

Fonte: Elaborado pela autora.

Para realizar a caracterização da área, as bibliografias consultadas foram dissertações de mestrado e teses de doutorado que possuíam a mesma área de estudo, o diagnóstico ambiental

do município disponibilizado pela própria prefeitura, o Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo realizado pela CETESB e o Plano Diretor vigente do município.

## 5.2 Seleção e tratamento do banco de dados

Dentre os dados coletados, foram selecionados para elaboração do trabalho apenas aqueles que possuíam relevância para o atingimento do objetivo desejado, portanto, a situação do poço, usuário, CPF/CNPJ, tipo de poço, coordenadas UTM Km N, coordenadas UTM Km E, latitude, longitude, datum, vazão de exploração (m<sup>3</sup>/hora), período de bombeamento (hora/dia), vazão diária explotada (m<sup>3</sup>/dia), aquífero, finalidade principal de uso de acordo com a Instrução Técnica DPO nº 10, de 30 de maio de 2017, atualizada em 02/04/2018, e último ato administrativo.

Com relação aos poços analisados foram utilizados somente os ativos, ou seja, aqueles em que havia captação de água subterrânea até o período estudado, além disso, poços que indicavam captação de água do lençol freático ou Aquífero Cenozóico foram considerados como Aquífero Rio Claro.

## 5.3 Geração de mapas e gráficos

Para auxiliar nas análises pertinentes ao trabalho e apresentar uma visão mais inteligível dos dados, foram utilizados mapas e gráficos construídos nos *softwares* ArcGis, Excel e Power Point. O principal *input* de dados se deu a partir da planilha contendo as colunas descritas no item anterior.

A unidade de vazão selecionada para elaboração dos mapas foi metros cúbicos por dia, de acordo com a unidade referência utilizada nos documentos de outorga e dispensa de outorga e legislação sobre o tema.

Ainda para elaboração dos mapas foram utilizados os seguintes *shapefiles*: Perímetro municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2020; Áreas contaminadas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB 2020; e o Zoneamento municipal - Anexo II do Plano Diretor do Município de Rio Claro – Lei Complementar Nº 0128 de 04/12/2017.

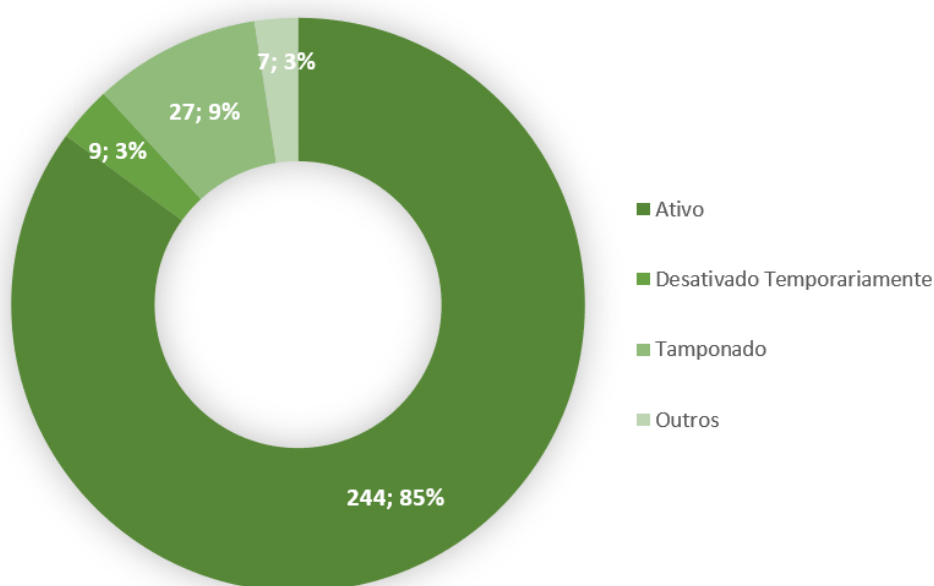
Para análise dos volumes de água subterrânea explorados pelas captações presentes nos aquíferos disponíveis da região, foi utilizado o mapa de densidade Kernel. Esse método consiste na criação de raios de influência a partir de um ponto, sendo possível estimar valores para os pixels através da soma dos valores kernel justapostos, divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN, 1986; MAIOR; CÂNDIDO, 2014).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Análises gerais

Até janeiro de 2020, data de conclusão do levantamento dos dados, 287 poços estavam cadastrados junto ao DAEE dentro dos limites do município de Rio Claro. Dentre eles, 244 encontravam-se ativos.

Figura 5. Gráfico de Porcentagem de Situação dos Poços no Município de Rio Claro (SP)



Fonte: Elaborado pela autora.

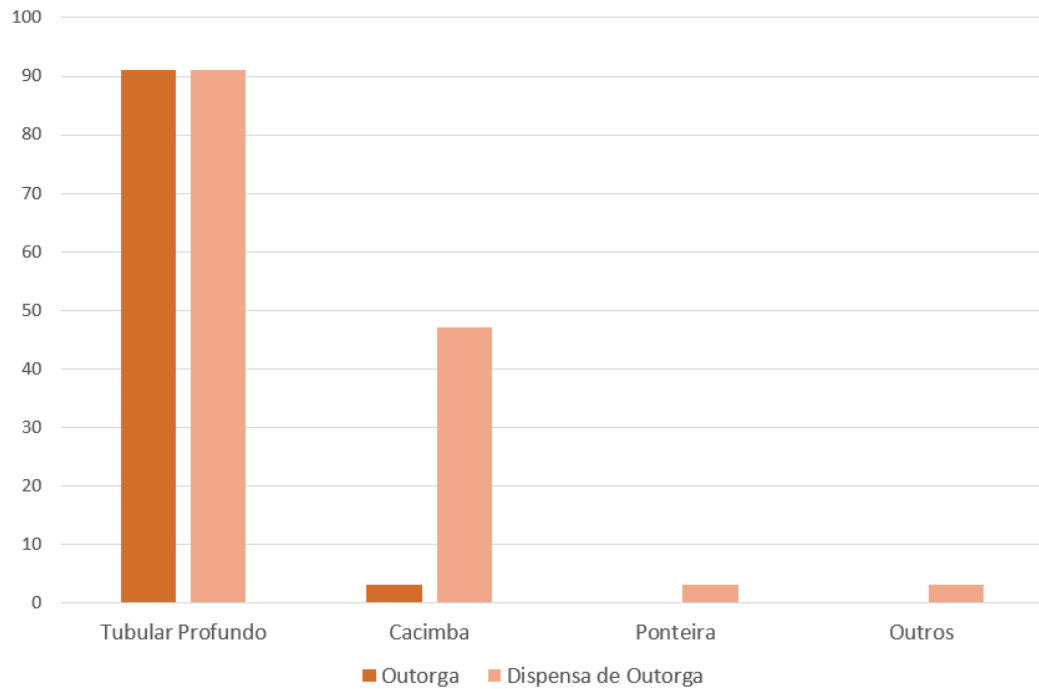
Dos poços ativos analisados, 94 consistiam em poços outorgados e 144 em poços com dispensa de outorga, representando, respectivamente, 39% e 59% do total, os 6 poços restantes caracterizam-se como indeferimento e licença de execução. A partir desse dado, foi possível

perceber, portanto, que a maior quantidade de poços no município é destinada a captações de água de até 15m<sup>3</sup>/dia.

Essa maior ocorrência em números absolutos de dispensas de outorga, pode ser explicada por alguns fatores: o substrato geológico da região corresponde a unidades com baixa capacidade de produção de água, como por exemplo, segundo Oliva (2002), o Aquífero Tubarão, onde a exploração de águas subterrâneas tem sido mais implementada, possui como característica principal sua baixa produtividade. Outro fator importante é com relação à destinação desses usos, a maior parte das dispensas de outorga deferidas, cerca de 43%, são para finalidade de uso doméstico, o que pode ser explicado pela busca do usuário por uma complementação ao abastecimento público oferecido pelo Departamento Autônomo de Águas e Esgoto (DAAE), uma vez que o mesmo é proveniente apenas dos recursos hídricos superficiais, além de uma alternativa mais barata para utilização de água.

Quanto aos tipos de poços, as captações foram classificadas em 4 categorias (Figura 6), conforme definido na Portaria DAEE nº 717, de 12 de dezembro de 1996: poço tubular profundo, poço cacimba, poço ponteira e outros tipos (SÃO PAULO, 1996). De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) [2005], poços tubulares profundos são aqueles que necessitam de obras de engenharia para serem executados e podem ter até 2000 metros de profundidade. Já os poços cacimba, segundo Vasconcelos (2015), são poços pouco profundos, variando de um metro a dezenas de metros, e que não possuem revestimento em suas paredes.

**Figura 6. Gráfico de Quantidade de Tipo de Poço Ativo por Ato Administrativo (Outorga e Dispensa de Outorga) no Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

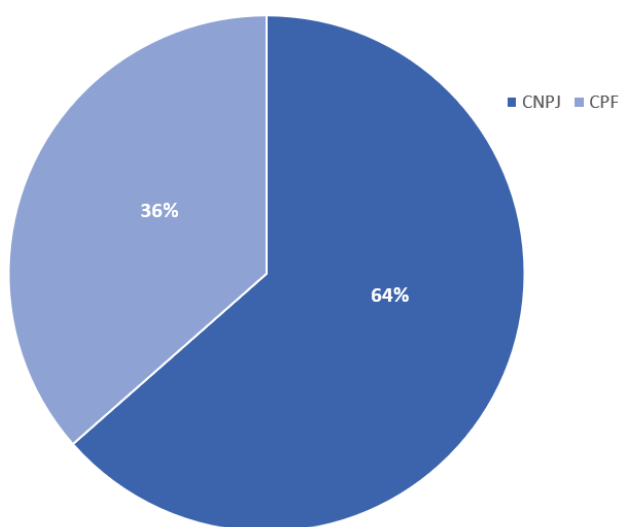
Conforme os dados encontrados e apresentados na figura anterior, a ocorrência de poços tubulares profundos é aproximadamente 77% do total de tipos de poços registrados, assim, vale-se ressaltar que a exploração contínua de água dos aquíferos, através de poços tubulares profundos, em apenas algumas décadas, acaba por suceder em um expressivo rebaixamento do nível d'água. A diminuição da produtividade e do nível d'água acontece de forma lenta e gradual, uma vez que, em captações diárias, geralmente não há tempo suficiente para que o nível d'água se recupere totalmente, caso que já ocorre no Aquífero Tubarão, por exemplo, que em função dos bombeamentos intensivos dos poços tubulares, sua superfície potenciométrica já está abaixo da calha do Rio Capivari. Tudo isso demonstra que inicialmente os poços mais antigos já promoviam a formação de pequenos cones de rebaixamentos, o que foi amplificado com a construção de poços mais novos, que continuam colaborando para o aumento desse fenômeno (PROFILL-RHAMA, 2020).

Além disso, estudos que utilizam como metodologia a datação, conjunto de técnicas isotópicas para caracterização hidrogeológica de aquíferos, com objetivo de determinar seu tempo de residência e condições de recarga, indicam que o Aquífero Tubarão, em porções mais profundas, pode chegar ao tempo de residência de até 20.000 anos e, em porções mais rasas,

até 5.000 anos, evidenciando a necessidade de gerenciamento e monitoramento de suas explorações (EZAKI *et al.*, 2020).

Outro dado a ser destacado, que também contribui para construção do perfil de usuários de água subterrânea no município, é que mais da metade das captações ativas estão cadastradas em nome de pessoas jurídicas (Figura 7). Isso significa que a maior parte dos responsáveis pelos poços são entidades, como indústrias, condomínios residenciais, postos de combustível etc.

**Figura 7. Gráfico de Porcentagem de Poços Ativos Cadastrados em CPF vs. CNPJ no Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

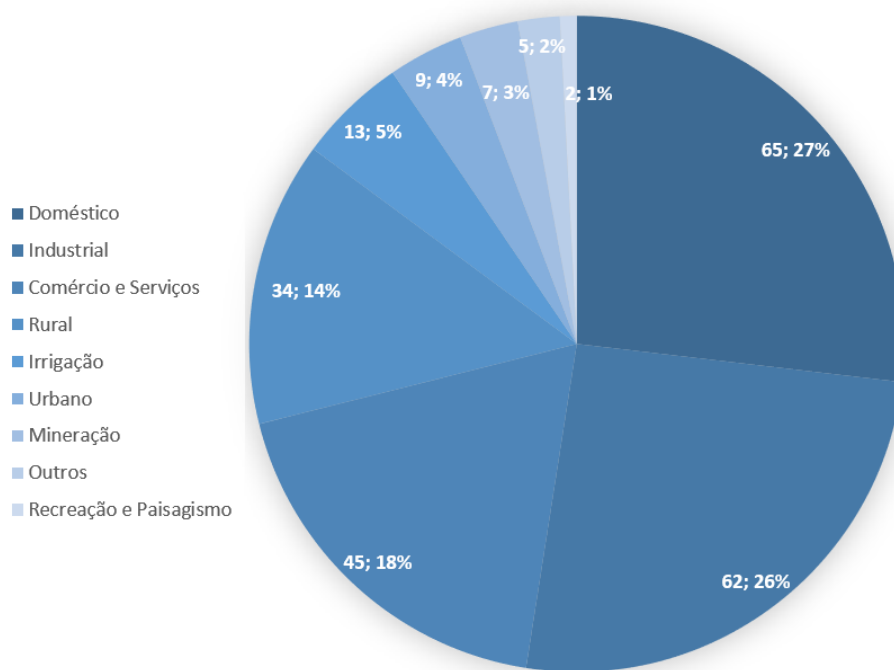
## 6.2 Análises de finalidade de uso

Todos os poços outorgados ou com dispensas de outorga emitidas pelo DAEE possuem suas finalidades de uso classificadas de acordo com a Instrução Técnica DPO nº 10, de 30 de maio de 2017, atualizada em 02/04/2018. Dessa forma, os 4 principais usos identificados no município, que juntos representam 85% do total de poços analisados (Figura 8), são classificados e definidos como:

- Doméstico: uso sanitário e para consumo humano em residências urbanas ou rurais;
- Industrial: uso geral em empreendimentos industriais, seja para execução de seus de processo ou uso sanitário;
- Comércios e Serviços: uso geral em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços para cumprimento de atividades e para uso sanitário;

- d. Rural: uso para atividades rurais, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação (SÃO PAULO, 2017<sup>o</sup>).

**Figura 8. Gráfico de Porcentagem de Finalidade Principal de Uso dos Poços Ativos de Acordo com a IT 10 no Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

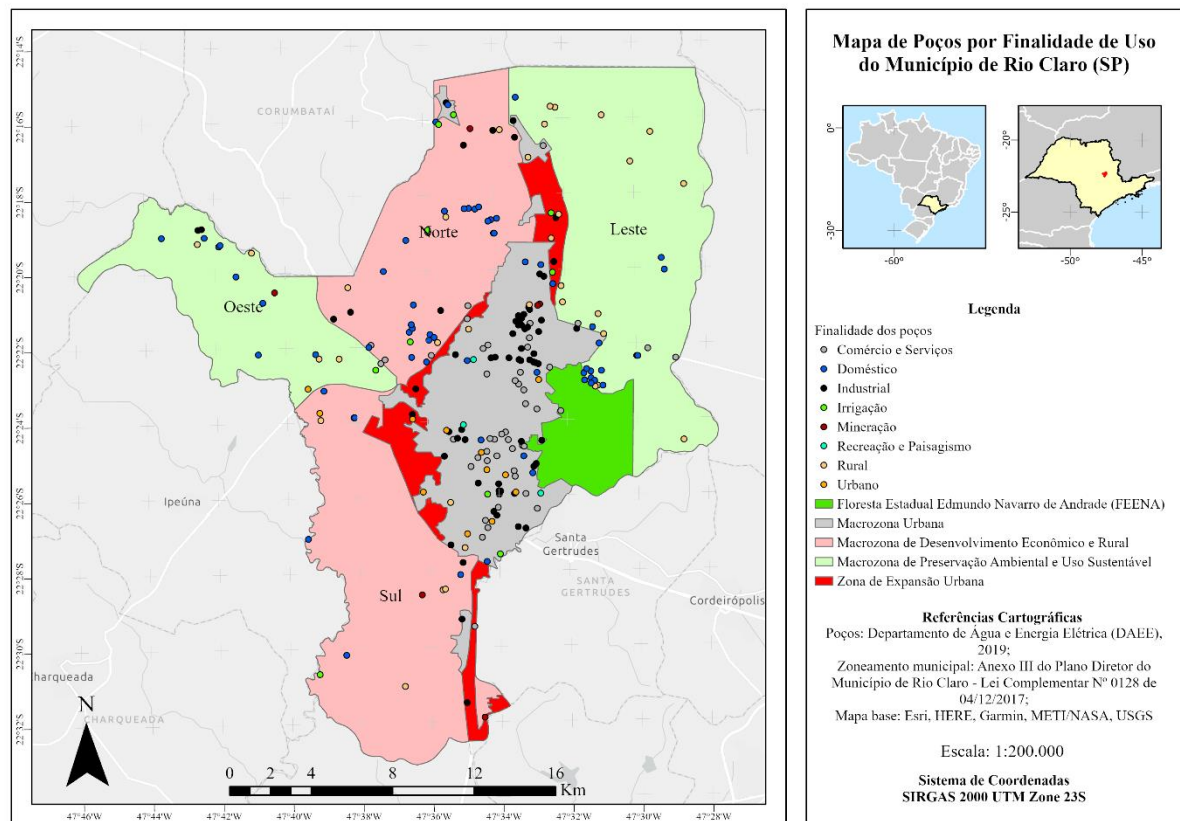
É importante se ressaltar que a posição de destaque ocupada pelas principais finalidades de uso pode ser explicada por alguns pontos em comum entre todas elas, como, o baixo custo para utilização desse recurso e a necessidade de suplementação da água oferecida pelo município. Além disso, as águas subterrâneas da região possuem boa qualidade, o que possibilita seu uso sem a necessidade de tratamentos prévios, se tornando uma opção alternativa de abastecimento bastante viável.

Outra informação relevante, apontada pelo Profill-Rhama (2020), é com relação ao abastecimento de água nas áreas rurais pertencentes às Bacias PCJ, 64% das propriedades rurais são abastecidas através de poços individuais ou nascentes próximas. Tratando-se de Rio Claro, o sistema de abastecimento fornecido pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE) não atende toda sua zona rural, sendo necessária a utilização de águas subterrâneas para atendimento dessa população.

Ainda realizando as análises sob a perspectiva de finalidade de uso, mas incorporando também a distribuição espacial das captações no município (Figura 9), é possível perceber que,

os usos destacados anteriormente, em sua grande maioria, estão instalados na Macrozona Urbana de Rio Claro, com exceção da finalidade de uso doméstico, que também possui notável presença na Macrozona de Desenvolvimento Econômico e Rural. A distribuição concentrada dos poços na área urbana evidencia que o Plano Diretor do município não considera as águas subterrâneas em suas diretrizes. Segundo Lundqvist *et al.* (2003), a água subterrânea para abastecimento adicional da população deve ser organizada a partir de fontes situadas fora dos limites geográficos das cidades. Dessa forma, evitando, por exemplo, a poluição e contaminação desses mananciais.

**Figura 9. Mapa de Poços por Finalidade de Uso do Município de Rio Claro (SP)**

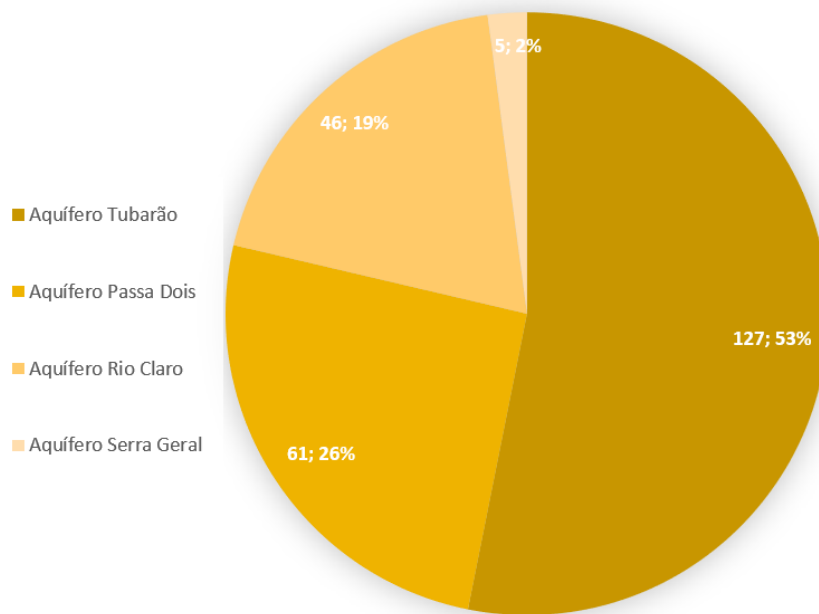


Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.3 Análise dos aquíferos explorados

Dentre os aquíferos presentes na área estudada, as captações de águas subterrâneas concentram-se principalmente em dois: o Tubarão e o Passa Dois (Figura 10). Em números absolutos isso representa 127 poços no sistema Tubarão e 61 poços no sistema Passa Dois, o que torna notável a discrepância entre as alocações das captações nos aquíferos do município.

**Figura 10. Gráfico de Porcentagem de Poços Ativos por Aquífero no Município de Rio Claro (SP)**

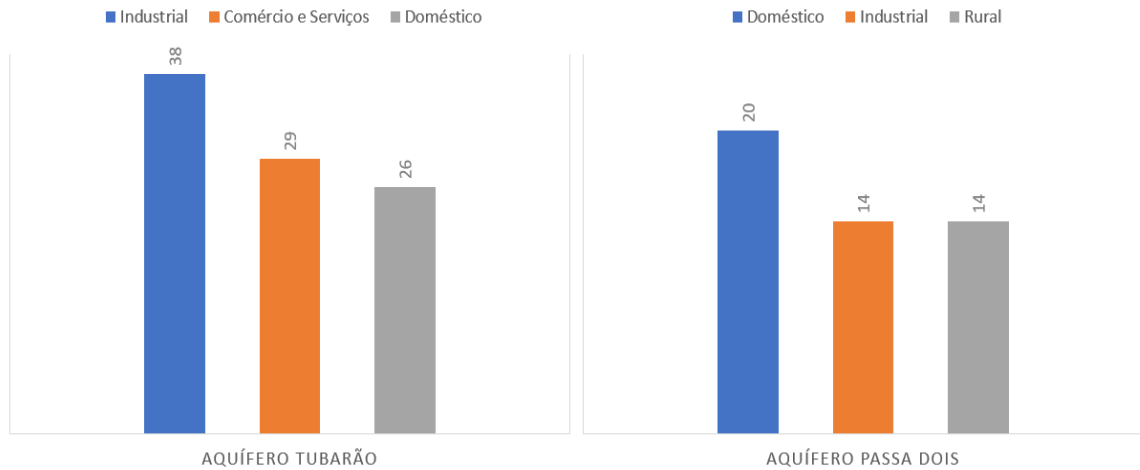


Fonte: Elaborado pela autora.

O Aquífero Tubarão é a segunda maior unidade em extensão nas Bacias PCJ e se constitui como uma importante fonte de abastecimento, porém, além de ser um sistema confinado, ele possui baixo potencial produtivo de água. Segundo Profill-Rhama (2020), as regiões de maior demanda, industrial e urbana coincidem com as áreas de ocorrência do Aquífero Tubarão, sendo necessária uma atenção e cuidado maiores sobre ele. Conforme citado anteriormente, segundo estudos do Profill-Rhama (2020), já possível perceber seu rebaixamento como efeito da alta exploração.

Quanto as diferentes finalidades de uso para as captações de água subterrânea desses aquíferos, destacam-se as mesmas classificações, ou seja, doméstico, industrial, comércio e serviços e rural, com ênfase no uso industrial no Aquífero Tubarão, conforme mostra a figura 11.

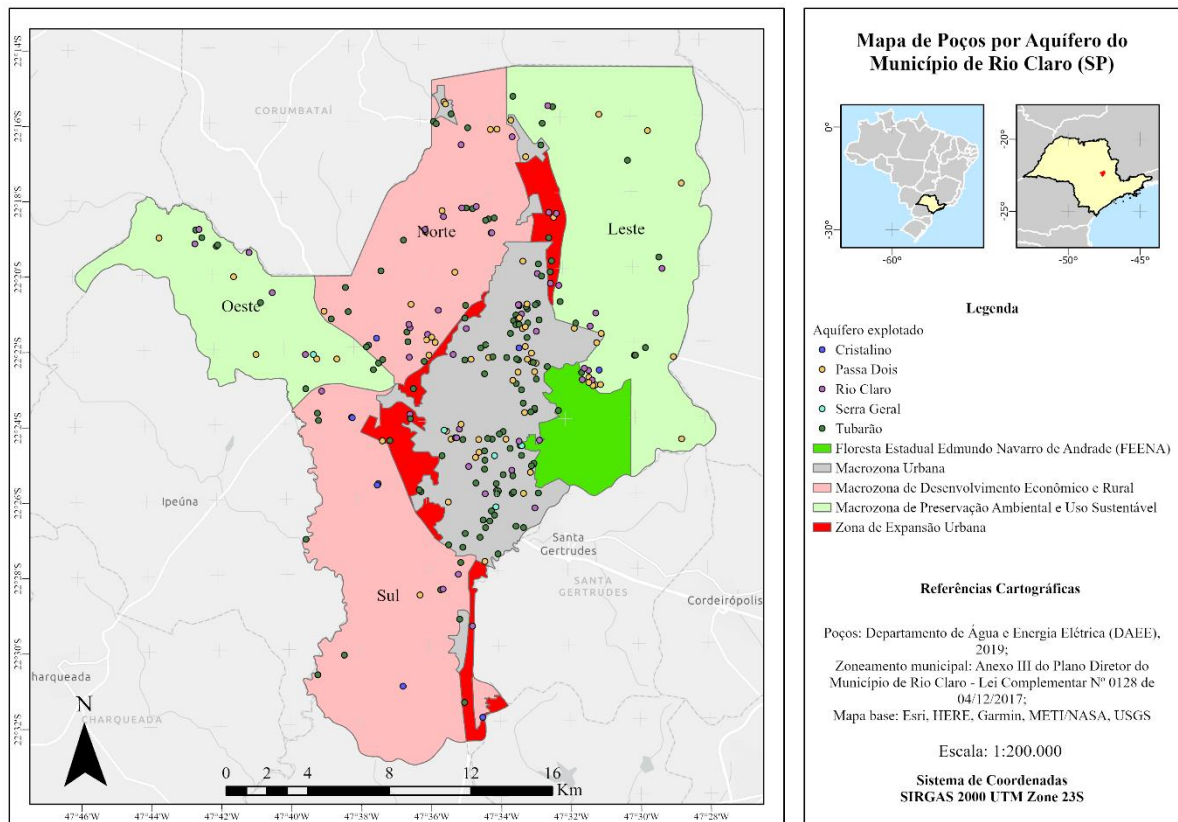
**Figura 11. Gráfico da Quantidade de Finalidades de Uso dos Poços Ativos nos Aquíferos Tubarão e Passa Dois no Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a distribuição espacial é possível perceber um padrão, já que a exploração desses aquíferos também se concentra na Macrozona Urbana. Ademais nota-se algumas ocorrências na Macrozona de Preservação Ambiental e Uso Sustentável, lembrando que, segundo o Plano Direto do município, esta última se trata de uma região com características como a sensibilidade das sub-bacias hidrográficas e existência de Áreas de Proteção Ambiental (APA), requerendo maior cuidado.

**Figura 12. Mapa de Poços por Aquífero do Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 6.4 Análise do volume explorado

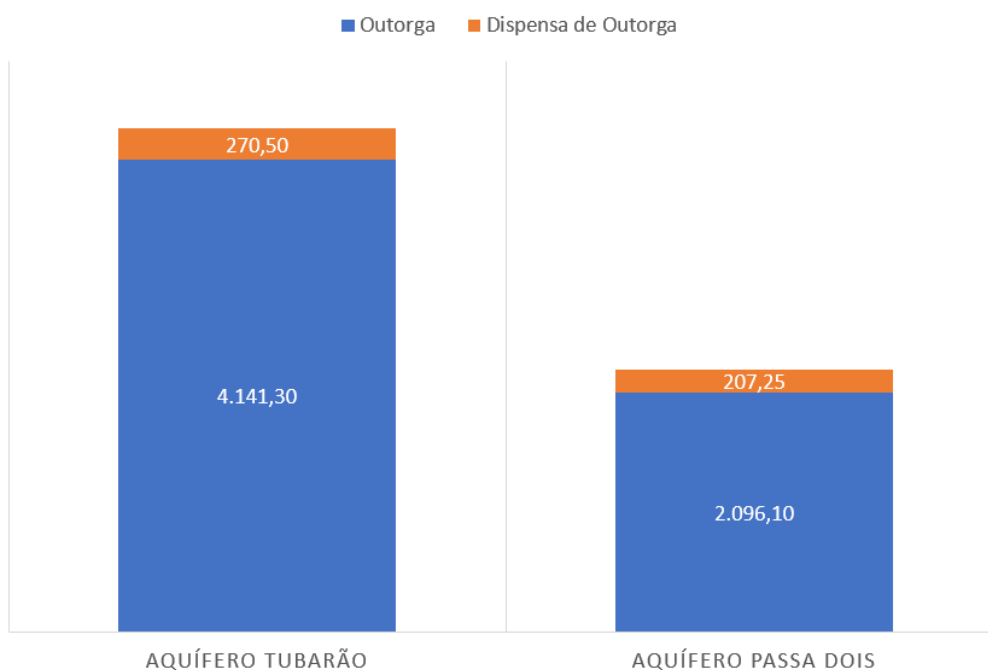
Dos 244 poços ativos analisados, 236 possuem informação do volume de água subterrânea explorada. Segundo a vazão de exploração registrada nos atos de outorga e dispensa de outorga, esses poços, juntos, são responsáveis pela captação de 7.183,30 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 7.183.300,00 litros por dia, em média 2.621.904,5 m<sup>3</sup>/ano. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2021), a população de Rio Claro consome em média 46.030,14 m<sup>3</sup>/dia de água, proveniente de sistemas superficiais, fornecida pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE), isso quer dizer que o volume subterrâneo captado representa aproximadamente 16% desse consumo.

Entretanto, o volume captado não ocorre de forma bem distribuída entre os aquíferos, finalidades de uso, atos administrativos (outorga ou dispensa) e tampouco distribuição espacial no município.

Tratando-se dos aquíferos (Figura 13), a extração ocorre predominantemente no Aquífero Tubarão, cerca de 61,43% do volume total utilizado é proveniente deste sistema, provavelmente por conta de sua maior ocorrência coincidir com as áreas urbanas do município. Quando analisamos o segundo maior volume explorado, referente ao Aquífero Passa Dois, o valor cai para 32,06%, logo, observa-se a disparidade entre as vazões totais exploradas. Para os demais sistemas, explora-se 3,95% do Aquífero Rio Claro; 1,21% do Aquífero Serra Geral e 1,33% no Aquífero Cristalino.

Além disso, analisando os volumes divididos em outorgas e dispensas de outorga, apesar da dispensa de outorga ser atribuída a 59% dos poços, ela representa apenas 9% do total de volume extraído. Dessa forma, as outorgas constituem um ponto de atenção para gestão das águas subterrâneas e seu uso sustentável.

**Figura 13. Gráfico dos Volumes Captados em m<sup>3</sup>/dia por Aquífero e Ato Administrativo (Outorga e Dispensa de Outorga) do Município de Rio Claro (SP)**

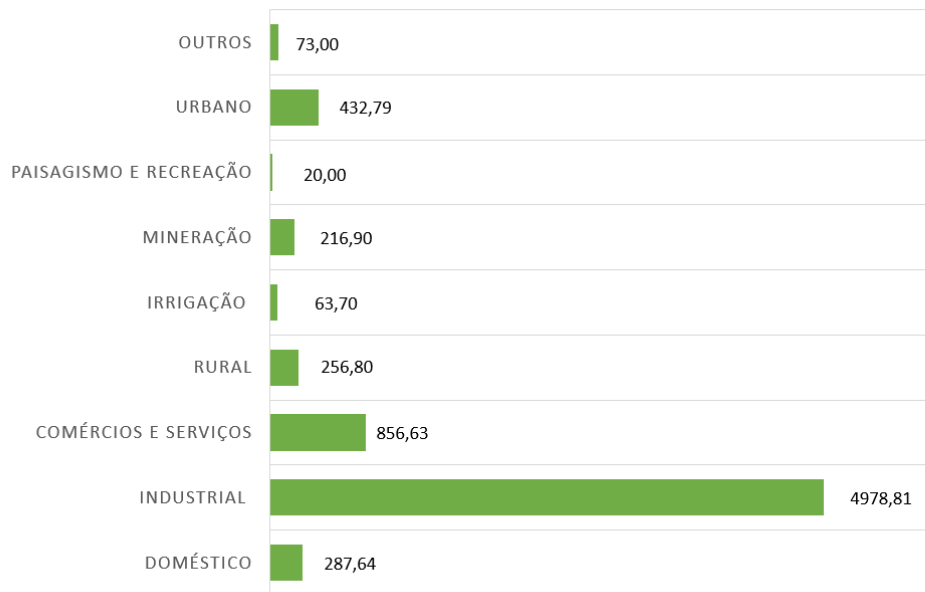


Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação às finalidades de uso, o mais significativo é o industrial. Responsável pela exploração de 4978,01 m<sup>3</sup>/dia, esse uso sozinho corresponde a 69,3% do volume total de água subterrânea utilizada (Figura 14) no município. A preocupação em cima deste uso ocorre por conta do seu potencial de impacto ambiental, seja pelo volume de água explorada, ou pela capacidade nociva dos resíduos gerados por suas atividades, que, em muitos casos, têm como

destino final os mesmos aquíferos (MIRLEAN *et al.*, 2005). Os poluentes gerados em processos industriais são complexos e podem causar problemas sérios à saúde da população, através do seu consumo e uso na higiene pessoal (GUIMARÃES, 2020).

**Figura 14. Gráfico dos Volumes Captados em m<sup>3</sup>/dia por Finalidade Principal de Uso de Acordo com a IT 10 no Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

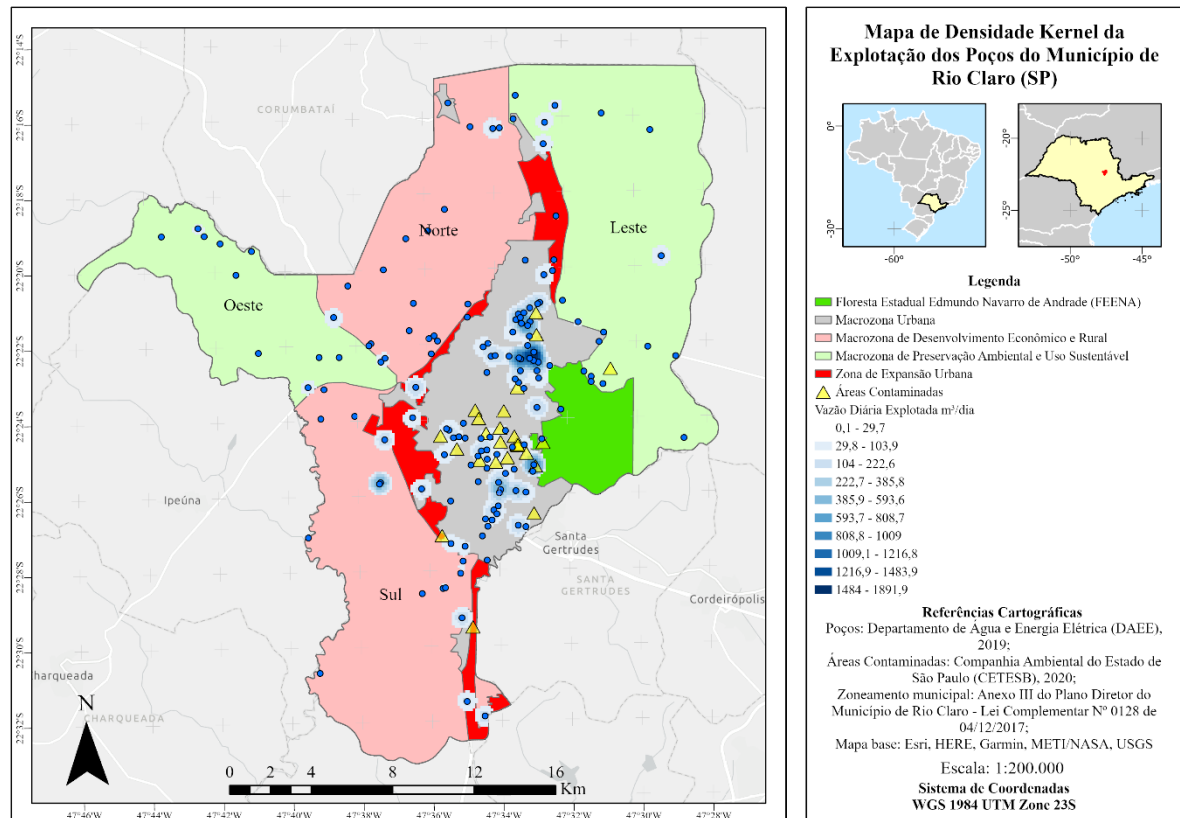
Quanto à distribuição territorial desses volumes (Figura 15), do mesmo modo que os demais elementos analisados, os maiores números também se encontram na Macrozona Urbana da cidade, o que demonstra os riscos da ausência de uma gestão das águas subterrâneas no município, uma vez que uma alta concentração de poços em uma única região contribui diretamente para o rebaixamento do aquífero e que nesse caso, acaba por ser o Aquífero Tubarão, já afetado por sua captação intensa.

Vale salientar que se a exploração de águas subterrâneas ocorrer além de suas reservas explotáveis, ou seja, a parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente das reservas sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem, pode acarretar em danos econômicos, através da exaustão e rebaixamento excessivo dos níveis do aquífero, inviabilizando o uso da água; danos hidrogeológico, através da inviabilização do uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento, pelo acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável, ou recalques no terreno prejudicando estradas, prédios, tubulações, etc.; e danos sociais, à medida que prejudicam os usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas,

prejudica o equilíbrio do meio ambiente que depende dessas descargas e ao uso econômico da natureza (PROFILL-RHAMA, 2020).

Ademais, ressalta-se que a região da Macrozona Urbana também apresenta a maior incidência de áreas contaminadas que acabam se sobrepondo às captações, oferecendo mais um risco aos aquíferos, o de contaminação de suas águas.

**Figura 15. Mapa de Densidade Kernel da Exploração dos Poços do Município de Rio Claro (SP)**



Fonte: Elaborado pela autora.

## 7. CONCLUSÃO

As águas subterrâneas possuem importância inquestionável, elas são parte fundamental do ciclo hidrológico, constituem abastecimento humano seguro e promovem desenvolvimento social e econômico. Entretanto, sua relevância contrasta com a falta de políticas públicas e planejamentos urbanos pautados em seu uso sustentável.

Com o aumento populacional e crescente demanda pela água, fica cada vez mais evidente a necessidade de uma maior conexão entre a gestão urbana e a gestão da água.

Conforme dados expostos, o município de Rio Claro é um exemplo dos efeitos da falta de um olhar cuidadoso aos recursos hídricos subterrâneos na elaboração do plano diretor do município. Em sua maior parte, as captações concentram-se na Macrozona Urbana, tanto em números de ocorrência, quanto em volume explorado, além do seu maior uso ser destinado ao desempenho de atividades industriais, fatores que somados apresentam grandes riscos ambientais, como contaminação e poluição desses mananciais e seu rebaixamento, uma vez que os aquíferos da região apresentam baixo potencial produtivo. Tudo isso agravando-se ao fato de que a água subterrânea possui um importante papel de suplementação do abastecimento da cidade, equivalendo a 16% do montante concedido pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE).

É nesse contexto que se faz válida a orientação da construção do plano diretor pautado na informação disponível sobre os recursos hídricos subterrâneos, observando as especificidades de cada região, além de permitir a participação ativa da população nessa gestão, ampliando os conhecimentos sobre a temática e contribuindo para preservação desses importantes reservatórios.

## REFERÊNCIAS

ABAS. Poços para Captação de Água. [2005]. Disponível em: <https://www.abas.org/pocos-para-captacao-de-agua/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

CETESB. Relação de áreas contaminadas. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. Introduzindo hidrologia. 5. ed. Blumenau: Iph Ufrgs, 2008.

CONICELLI, Bruno Pirilo; HIRATA, Ricardo. NOVOS PARADIGMAS NA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28712>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CRUZ, Jussara Cabral. Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. 2001. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DAEE. Portaria nº 1630, de 30 de maio de 2017. SÃO PAULO<sup>a</sup>. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DAEE. Portaria nº 1631, de 30 de maio de 2017. SÃO PAULO<sup>b</sup>. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DAEE. Instrução Técnica Dpo nº 10, de 30 de maio de 2017<sup>c</sup>, atualizada em 02/04/2018. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 12 fev. 2022.

DAEE. Portaria nº 3280, de 24 de junho de 2020. SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

DAEE. Portaria nº 5578, de 05 de outubro de 2018. SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DAEE. Portaria nº 717, de 12 de dezembro de 1996. SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

EZAKI, Sibebe et al. Geochemical evolution, residence times and recharge conditions of the multilayered Tubarão aquifer system (State of São Paulo – Brazil) as indicated by hydrochemical, stable isotope and <sup>14</sup>C data. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10256016.2020.1797714>. Acesso em: 14 dez. 2022.

FEITOSA, Fernando A. C. et al. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológicos do Brasil (CPRM / SGB), 2008.

FREEZE, R. A; CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey: Prentice Hall, 1979.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 1350, de 12 de dezembro de 1951. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/site/legislacaoinstitucional/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado; GRANZIERA, Beatriz Machado. DESAFIOS NA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28330>. Acesso em: 12 fev. 2022.

GUIMARÃES, Patrícia Borba Vilar et al. Aspectos institucionais e outorga de águas subterrâneas para uso industrial no baixo curso do Rio Paraíba. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/250377822\\_Aspectos\\_institucionais\\_e\\_outorga\\_de\\_aguas\\_subterraneas\\_para\\_uso\\_industrial\\_no\\_baixo\\_curso\\_do\\_Rio\\_Paraiba\\_estado\\_da\\_Paraiba\\_a\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/250377822_Aspectos_institucionais_e_outorga_de_aguas_subterraneas_para_uso_industrial_no_baixo_curso_do_Rio_Paraiba_estado_da_Paraiba_a_Brasil). Acesso em: 12 fev. 2022.

HAGER, Francis Priscilla Vargas et al. A PROBLEMÁTICA DA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL. 2002. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ20210605741>. Acesso em: 12 fev. 2022.

HIRATA, Ricardo et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, 2019.

IBGE. Panorama. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>. Acesso em: 14 dez. 2021.

KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Apostila, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.

LORETI JUNIOR, Roberto; SARDOU FILHO, Ruben; CALTABELOTI, Fabrizio Prior. Projeto polo cerâmico de Santa Gertrudes – SP, Rochas e minerais industriais; n.11, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17799>. Acesso em: 08 mar. 2022.

LUNDQVIST, J.; APPASAMY, P.; NELLIYAT, P. Dimensions and approaches for Third World city water security. *Biological Sciences*, v.358, n.1440, 2003. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14728793>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

MAIOR, M. M.; CÂNDIDO, G. A. Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil. *Cadernos Metrópole*, v. 16 n. 31, p. 241-264, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2014-3111>.

MALUTA, Marcella Cipolla. ESTIMATIVA DA RECARGA NATURAL DO AQUÍFERO RIO CLARO: UMA ABORDAGEM DA REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA ATRAVÉS DA VAZÃO DE PERMANÊNCIA. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, A Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2014.

MAZZUCO, Giulia Guillen et al. Avaliação da efetividade das políticas públicas voltadas para a proteção das áreas de captação de água: estudo de caso no município de São Carlos-SP, 2018. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i1.28977>

MIDÕES, Carla; FERNANDES, Judite; COSTA, Cristina Gomes da - Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar. IGM, 2001

MIRLEAN, Nicolai et al. O IMPACTO INDUSTRIAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM ENFOQUE DE CONSUMO HUMANO (RIO GRANDE, RS. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/hP7DYVkmRrLfdQZPN88qBNN/?lang=pt#:~:text=Conclui%20Dse%20pela%20altera%C3%A7%C3%A3o%20encontrada,qualidade%20da%20%C3%A1gua%20subterr%C3%A2nea%20desta>. Acesso em: 12 fev. 2022.

MUNICÍPIO DE RIO CLARO. Lei Complementar nº 0128, de 07 de dezembro de 2017. Rio Claro, 07 dez. 2017. Disponível em: <https://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/index.php>. Acesso em: 14 dez. 2021.

OLIVA, Andresa. ESTUDO HIDROFACIOLÓGICO DO AQUÍFERO RIO CLARO NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP. 2006. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2006.

OLIVA, Andresa. Estudo Hidrogeológico da Formação Rio Claro no Município de Rio Claro – SP. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2002.

PROFILL-RHAMA. Relatório Final - Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2020 a 2035. Revisão 06. Piracicaba: 2020. Disponível em: <https://plano.agencia.baciaspcj.org.br/o-plano/documentos/relat%C3%B3rio-final>. Acesso em: 02 fev. 2022.

SANTIN, Janaína Rigo; CORTE, Thaís dalla. PLANEJAMENTO URBANO E ÁGUAS: O PLANO DIRETOR E A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. 2010. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/fortaleza/3163.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

SANTIN, Janaína Rigo; CORTE, Thais dalla. Planejamento urbano e direito das águas: o plano diretor do Município de Passo Fundo-RS e a gestão dos recursos hídricos. 2009. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/direito/article/view/1188>. Acesso em: 12 fev. 2022.

SILVEIRA, Elcio Linhares. A OUTORGA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS COMO OBJETO DE GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO. 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22252>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SILVERMAN, B. W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Nova York: Chapman and Hall, 1986.

SNIS. Série Histórica. 2021. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 14 fev. 2021.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. Infiltração e armazenamento no solo. In: Tucci, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Ed. Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372, 2000.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE CONCEITOS E PROPOSTA DE NOMENCLATURA. 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28288>. Acesso em: 10 fev. 2022.

ZAINE, José Eduardo. MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO: ENSAIO DE APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP). 2000. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2000.

ZANETTI, Natália. ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO LIVRE NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO/SP. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2012.