



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

IGOR DE LUCENA MARQUES ASSE

**ESTUDOS PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO
EXCLUSIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO GUARANI NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO - SP**

RIBEIRÃO PRETO - SP

2021

Igor de Lucena Marques Asse

**"ESTUDOS PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO
EXCLUSIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO GUARANI NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO-SP"**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite

Ribeirão Preto - SP

2021

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico
da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Asse, Igor de Lucena Marques 1973-
A844e Estudos para a minimização dos impactos do uso exclusivo das
águas subterrâneas do sistema aquífero guarani no município de
Ribeirão Preto - SP / Igor de Lucena Marques Asse. - - Ribeirão
Preto, 2021.
121 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2021.

1. Águas subterrâneas. 2. Perdas na distribuição de água.
3. Aquífero Guarani. 4. Captação de águas superficiais. 5. Controle
de perdas de água. I. Título.

CDD 628

IGOR DE LUCENA MARQUES ASSE

**“ ESTUDOS PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO EXCLUSIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO
MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO - SP”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.
Orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 31 de março de 2021

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

**Wellington Cyro
de Almeida Leite**
Assinado de forma digital por Wellington Cyro de Almeida Leite
Dados: 2021.03.31 22:59:22 -03'00'

Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite
Presidente/Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Valdir Schalch
Assinado de forma digital por Valdir Schalch
Dados: 2021.04.01 13:53:10 -03'00'

Prof. Dr. Valdir Schalch
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

**Rodrigo Eduardo
Córdoba**
Assinado de forma digital por Rodrigo Eduardo Córdoba
Dados: 2021.03.31 23:33:00 -03'00'

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Ribeirão Preto
2021

DEDICATÓRIA

À minha família, pela estrutura e apoio que permitiram a realização de mais essa importante etapa da minha vida.

À minha esposa Karina. Por nosso amor e cumplicidade.

Ao meu filho, pelo brilho que trouxe a nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me conduzido por essa jornada até a sua realização.

Ao meu orientador, pela confiança e competência pelos caminhos para a conclusão deste trabalho, o meu agradecimento.

À divisão de pós-graduação da UNAERP, pelo carinho e ajuda na condução desta etapa da minha vida.

Ao DAERP por me fornecer a possibilidade e os meios necessários à execução deste trabalho.

RESUMO

O município de Ribeirão Preto – SP, atualmente é abastecido em sua totalidade, por águas subterrâneas extraídas do Sistema Aquífero Guarani. Desde que começou a explorá-lo, em 1930, o município já utilizou de aproximadamente 3,2 bilhões de m³ de água desse reservatório. O Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP), concessionária de água do município, está empreendendo estudos para captação de água no Rio Pardo, situado a aproximadamente 20 Km do centro da cidade, que possui disponibilidade hídrica suficiente para complementar o abastecimento público futuro. O presente trabalho tem por objetivo analisar o sistema de abastecimento de água no município de Ribeirão Preto - SP, que hoje é feito exclusivamente por captações de águas subterrâneas, incluindo as perdas reais e aparentes de água nas redes de distribuição e a necessidade de captação de água superficial da bacia do Rio Pardo. Para o desenvolvimento do trabalho foram coletados dados sobre as captações de poços tubulares profundos desde o ano de 2005, suas vazões, níveis estáticos e dinâmicos, em algumas regiões da cidade, analisando suas capacidades de exploração e os rebaixamentos de seus níveis. Também foram determinadas as perdas reais de água no sistema de abastecimento: vazamentos nos transportes hidráulicos (tubulações, peças, conexões, válvulas e demais equipamentos), vazamentos e extravasamentos em estruturas hidráulicas (reservatórios e demais estruturas), e perdas aparentes: submedição dos medidores instalados nas ligações prediais, fraudes, ligações clandestinas e ineficiência do sistema de gestão comercial do prestador de serviço na contabilização dos volumes consumidos pelos usuários ativos. A diferença entre os dados coletados da leitura dos volumes de água dos macromedidores instalados na saída dos poços tubulares, e as leituras dos volumes de água de consumo em medidores residenciais, determina os níveis de perdas totais. Nesta pesquisa, pode-se concluir a necessidade de o município de Ribeirão Preto encontrar outras fontes de captação de água, de preferência superficiais, por serem mais sustentáveis, chegando a uma redução da exploração do Sistema Aquífero Guarani na ordem de 59,88%. Estudos realizados pelo DAERP, tem apontado, como viável, a construção de um sistema de captação de águas superficiais no Rio Pardo, e a construção de uma estação de tratamento de água de abastecimento para o município de Ribeirão Preto – SP.

Palavras-chave: Uso de águas subterrâneas, Perdas na distribuição de água, Controle de perdas de água, Aquífero Guarani, captação de águas superficiais.

ABSTRACT

The municipality of Ribeirão Preto - SP, is currently supplied in its entirety by groundwater extracted from the Guarani Aquifer System. Since it began to explore it in 1930, the municipality has used approximately 3.2 billion m³ of water from this reservoir. The Ribeirão Preto Department of Water and Sewage (DAERP), the municipality's water concessionaire, is undertaking studies to collect water from the Pardo River, located approximately 20 km from the city center, which has sufficient water availability to complement the public supply future. The present work aims to analyze the water supply system in the city of Ribeirão Preto - SP, which today is done exclusively by abstraction of groundwater, including the real and apparent losses of water in the distribution networks and the need to capture water. surface water of the Rio Pardo basin. For the development of the work, data were collected on the capture of deep tubular wells since 2005, their flow rates, static and dynamic levels, in some regions of the city, analyzing their exploitation capacities and the lowering of their levels. The actual water losses in the supply system were also determined: leaks in hydraulic transport (pipes, parts, connections, valves and other equipment), leaks and overflows in hydraulic structures (reservoirs and other structures), and apparent losses: sub-measurement of meters installed in building connections, fraud, clandestine connections and inefficiency of the service provider's commercial management system in accounting for the volumes consumed by active users. The difference between the data collected from the reading of the water volumes of the macro-meters installed at the outlet of the tubular wells, and the readings of the volumes of drinking water in residential meters, determines the levels of total losses. In this research, it is possible to conclude the need for the municipality of Ribeirão Preto to find other sources of water intake, preferably superficial, as they are more sustainable, reaching a reduction in the exploitation of the Guarani Aquifer System in the order of 59.88%. Studies carried out by DAERP have pointed out, as feasible, the construction of a surface water collection system in the Rio Pardo, and the construction of a supply water treatment station for the municipality of Ribeirão Preto - SP.

Keywords: Use of groundwater, Losses in water distribution, Control of water loss, Guarani Aquifer, surface water capture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO PLANETA TERRA	20
FIGURA 2: MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUIFERO GUARANI – ÁREAS DE AFLORAMENTO E CONFINAMENTO	23
FIGURA 3: ÁREA DE RECARGA DO AQUIFERO GUARANI EM RIBEIRÃO PRETO NA ZONA LESTE	24
FIGURA 4: ÁREA DE RECARGA: LAGOA DO SAIBRO EM RIBEIRÃO PRETO NA ZONA LESTE.....	24
FIGURA 5: AQUIFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO – ÁREAS DE CONFINAMENTO E AFLORANTES	25
FIGURA 6: ESPESSURA DOS SEDIMENTOS DO AQUIFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO	26
FIGURA 7: NÍVEL PIEZOMÉTRICO APARENTE DO AQUIFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO	29
FIGURA 8: ÁREA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE TEMPORÁRIO PARA CAPTAÇÃO E USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO - SP	30
FIGURA 9: DETALHES DE FUNCIONAMENTO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO	31
FIGURA 10: POÇO FREÁTICO COMPLETO DURANTE BOMBEAMENTO SOB VAZÃO CONSTANTE ...	32
FIGURA 11: REGIÃO METROPOLITANA DE RIBEIRÃO PRETO	36
FIGURA 12: MODELO DE ABASTECIMENTO EM MARCHA RESERVATÓRIO À JUSANTE	39
FIGURA 13: ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO SEGUNDO REGIÃO E MÉDIA DO BRASIL	41
FIGURA 14: ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DOS 27 PRESTADORES LOCAIS DE MAIOR PORTE	41
FIGURA 15: ASPECTOS TÉCNICOS RELACIONADOS AS PERDAS DE ÁGUA E AS OPORTUNIDADES DE AÇÕES DE REDUÇÃO E CONTROLE	43
FIGURA 16: DIVISÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO EM UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – UGRHIS	45
FIGURA 17: LOCALIZAÇÃO REFERENCIAL DAS SEIS SUB-BACIAS QUE COMPÕEM A UGRHI 04	46
FIGURA 18: PERFIL DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) AO LONGO DO RIO PARDO NA UGRHI 04 RIBEIRÃO PRETO	48
FIGURA 19: MAPA DA UGRHI 4 NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO E A LOCALIZAÇÃO DO RIO PARDO	49
FIGURA 20: VAZÃO OUTORGADA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL DA BACIA DO RIO PARDO.....	50
FIGURA 21: CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO POÇO JARDIM DIVA TARLA	57
FIGURA 22: DELIMITAÇÃO DO SETOR RIBEIRÃO VERDE (SAD006) NA ZONA LESTE DE RIBEIRÃO PRETO	58
FIGURA 23: CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO POÇO JARDIM PAULISTA	59
FIGURA 24: DELIMITAÇÃO DO SETOR JARDIM PAULISTA (SAD028) NA ZONA LESTE DE RIBEIRÃO PRETO	60
FIGURA 25: VISTA AÉREA DO POÇO KAISER	61
FIGURA 26: SETOR VILA TIBÉRIO NA REGIÃO CENTRAL	61
FIGURA 27: DETALHE DO POÇO Nº 206 EM OPERAÇÃO COM VAZÃO DE 70,53 L/S (253,91 M ³ /H) INSTALADO NO PARQUE RIBEIRÃO PRETO	66
FIGURA 28: RESERVATÓRIOS EM CONCRETO ARMADO, APOIADO DE 2.000 M ³ E ELEVADO DE 500 M ³ , NO PARQUE RIBEIRÃO PRETO	67
FIGURA 29: ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA DO POÇO FLAMBOYANT	70
FIGURA 30: ASSENTAMENTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL.....	72
FIGURA 31: MACROMEDIDOR DE VAZÃO INSTALADO NO POÇO SCHIMIDT Nº 124.....	73
FIGURA 32: EQUIPAMENTO SECUNDÁRIO DO MACROMEDIDOR ONDE É FEITO OS DADOS DE LEITURA.....	73

FIGURA 33: RESULTADOS DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO ATÉ O ANO DE 2034	80
FIGURA 34 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PARA FUTURA IMPLANTAÇÃO DA ETA	84
FIGURA 35 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PARA FUTURA IMPLANTAÇÃO DA ETA E CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO RIO PARDO	84
FIGURA 36: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DO SETOR RIBEIRÃO VERDE PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBH PARDO, COMPARANDO COM RAIOS DE INFLUÊNCIA CALCULADO	88
FIGURA 37: PERFIL GEOLÓGICO DO POÇO JD. PAULISTA	94
FIGURA 38: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DO SETOR PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBHPARDO	97
FIGURA 39: CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	103
FIGURA 40: ESPESSURA DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NA ÁREA URBANA DE RIBEIRÃO PRETO	103
FIGURA 41: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DO SETOR PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBH PARDO	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DETALHES DO SETOR RIBEIRÃO VERDE.....	58
TABELA 2: DETALHES DO SETOR JARDIM PAULISTA.....	60
TABELA 3: DETALHES DO SETOR VILA TIBÉRIO.....	62
TABELA 4: RESUMO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO.....	63
TABELA 5: RELAÇÃO DE POÇOS EM OPERAÇÃO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO	64
TABELA 6: RELAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EXISTENTES NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE RIBEIRÃO PRETO	68
TABELA 7: RELAÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA TRATADA EM RIBEIRÃO PRETO..	71
TABELA 8: RELAÇÃO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM RIBEIRÃO PRETO	72
TABELA 9: RESUMO DO DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA PUBLICADO PELO SNIS, REFERENTE AO ANO DE 2019	75
TABELA 10: ESTIMATIVA POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO PELO MÉTODO ARITMÉTICO ATÉ O ANO DE 2034	77
TABELA 11: ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO PELO MÉTODO GEOMÉTRICO ATÉ O ANO DE 2034	78
TABELA 12: ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	79
TABELA 13: NÍVEIS DE REBAIXAMENTO DO POÇO JD. DIVA TARLÁ, DO ANO DE 2005 A 2020..	86
TABELA 14: DADOS COLETADOS DO POÇO JARDIM DIVA TARLA Nº 191	87
TABELA 15: REBAIXAMENTO DO POÇO PARA A VAZÃO INICIAL	90
TABELA 16: REBAIXAMENTO DO POÇO PARA A VAZÃO ATUAL	91
TABELA 17: REBAIXAMENTO DO POÇO PARA A VAZÃO REDUZIDA.....	93
TABELA 18: NÍVEIS DE REBAIXAMENTO DO POÇO JD. DIVA TARLÁ, DO ANO DE 2005 A 2020..	95
TABELA 19: DADOS COLETADOS DO POÇO JARDIM PAULISTA Nº 168	96
TABELA 20: REBAIXAMENTO DO POÇO VAZÃO INICIAL PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS.	99
TABELA 21: REBAIXAMENTO DO POÇO VAZÃO ATUAL PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS.	100
TABELA 22: REBAIXAMENTO DO POÇO COM VAZÃO REDUZIDA PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS..	102
TABELA 23: NÍVEIS DE REBAIXAMENTO DO POÇO KAISER, DO ANO DE 2005 ATÉ 2020.....	105
TABELA 24: DADOS COLETADOS DO POÇO KAISER Nº 09	106
TABELA 25: REBAIXAMENTO DO POÇO VAZÃO INICIAL PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS.	109
TABELA 26: REBAIXAMENTO DO POÇO VAZÃO ATUAL PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS.	110
TABELA 27: REBAIXAMENTO DO POÇO COM VAZÃO REDUZIDA PARA OS PRÓXIMOS 15 ANOS...	112
TABELA 28: VALORES DO REBAIXAMENTO DO NÍVEL E O RAIOS DE INFLUÊNCIA CORRESPONDENTE DOS POÇOS ANALISADOS	112
TABELA 29: QUADRO RESUMO DOS POÇOS ANALISADOS.	113

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI.....	28
QUADRO 2: DISTÂNCIA RADIAL (R) PROPOSTA PARA O PERÍMETRO DE ALERTA EM FUNÇÃO DA VAZÃO DO POÇO PARA DIFERENTES UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	33
QUADRO 3: SUB-BACIAS DA UGRHI 04 E A ÁREA TOTAL DE CADA UMA	45
QUADRO 4: DISPONIBILIDADE HÍDRICA PER CAPITA ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO PARDO	49
QUADRO 5: DISPONIBILIDADE HÍDRICA PER CAPITA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO PARDO	50
QUADRO 6: CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO AQUIFERO GUARANI	55
QUADRO 7: BALANÇO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO PARA O ANO DE 2019	74
QUADRO 8: CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO ENTRE 1960 E 2010	76
QUADRO 9: BALANÇO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO COM A PROJEÇÃO PARA O ANO DE 2025 PARA O AQUIFERO GUARANI.....	82
QUADRO 10: RESUMO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO AQUIFERO GUARANI E DO RIO PARDO PARA O ANO DE 2025	83
QUADRO 11: PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO DO POÇO JD. DIVA TARLÁ.....	85
QUADRO 12: DISTÂNCIA DOS POÇOS DO SETOR RIBEIRÃO VERDE EM RELAÇÃO AO POÇO JARDIM DIVA TARLA, PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBH PARDO.	88
QUADRO 13: PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO DO POÇO JARDIM PAULISTA	93
QUADRO 14: DISTÂNCIA DOS POÇOS DO SETOR JARDIM PAULISTA EM RELAÇÃO AO POÇO JARDIM PAULISTA, PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBH PARDO.	97
QUADRO 15: PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO DO POÇO KAISER.....	102
QUADRO 16: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS DOS AQUIFEROS PRESENTES NA UGRHI 4.....	104
QUADRO 17: DISTÂNCIA DOS POÇOS DO SETOR VILA TIBÉRIO EM RELAÇÃO AO POÇO KAISER, PARA VERIFICAÇÃO DO DISTANCIAMENTO DE 1.000 M IMPOSTO PELO CBH PARDO.	107

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CBHPardo	Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODERP	Companhia de Desenvolvimento de Ribeirão Preto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DAERP	Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto
DMC	Distrito de Medição e Controle
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ETA	Estação de Tratamento de Água
GT	Grupo Técnico
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQA	Índice de Qualidade da Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
NTS	Normas Técnicas SABESP
PMP	Prefeitura Municipal de Porciúncula
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RS	Relatório de Situação
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
StMUVG	Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 A ÁGUA PELO MUNDO.....	19
3.2 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI	20
3.2.1 Descrição do Sistema Aquífero Guarani	21
3.2.2 Características gerais do Sistema Aquífero Guarani	22
3.2.3 Características Hidráulicas do Sistema Aquífero Guarani	28
3.2.4 Zonas de Restrição e Controle para Perfuração de Poços	29
3.3 PARÂMETROS UTILIZADOS NOS ESTUDOS DA HIDRÁULICA DE POÇOS.....	31
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO	34
3.4.1 Descrição do Município	34
3.4.2 Estudo Populacional do Município.....	37
3.5 SISTEMA DE ABASTECIMENTO ATUAL	38
3.6 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS.....	40
3.7 SISTEMA PRODUTOR PARDO	44
4 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO	51
4.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO.....	52
4.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECENDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO	54
4.3.1 Dados Coletados para a Análise dos Poços	54
4.3.2 Poços Analisados nas Zonas de Restrição e Controle	57
4.3.2.1 Zona de Restrição 3	57
4.3.2.2 Zona de Restrição 2	59
4.3.2.3 Zona de Restrição 1	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO	63
5.1.1 Poços Tubulares Profundos	64

5.1.2 Reservatórios	66
5.1.3 Estação Elevatória de Água Tratada.....	70
5.1.4 Redes de Distribuição.....	72
5.1.5 Macromedidores e Micromedidores de Vazão.....	73
5.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO.....	76
5.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECENDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO	85
5.3.1 Poços Analisados nas Zonas de Restrição e Controle	85
5.3.1.1 Zona de Restrição 3: Poço Jardim Diva Tarla nº 191.....	85
5.3.1.1.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço.....	89
5.3.1.1.2 Dados de vazão atual do poço	90
5.3.1.1.3 Dados de vazão reduzida do poço	91
5.3.1.2 Zona de Restrição 2: Poço Jardim Paulista nº 168.....	93
5.3.1.2.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço.....	98
5.3.1.2.2 Dados de vazão atual do poço	99
5.3.1.2.3 Dados de vazão reduzida do poço	101
5.3.1.3 Zona de Restrição 1: Poço Kaiser nº 09	102
5.3.1.3.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço.....	108
5.3.1.3.2 Dados de vazão atual do poço	109
5.3.1.3.3 Dados de vazão reduzida do poço	110
6 CONCLUSÕES.....	114
6.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO	114
6.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO.....	115
6.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECENDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO	115
REFERÊNCIAS	118

1 INTRODUÇÃO

A água é indispensável à manutenção da vida, sendo utilizada para o abastecimento público e industrial, irrigação agrícola, produção de energia elétrica, atividades de lazer e recreação, bem como para a preservação da vida aquática.

A garantia da oferta de água para todos os centros urbanos brasileiros deve ser prioritária, pois trata-se do atendimento à necessidade básica da população, e considerada estratégica, tendo em vista as perspectivas de desenvolvimento do País. Para enfrentar esse desafio, é preciso reconhecer e lidar com a grande diversidade geoclimática, socioeconômica e de distribuição da população no território nacional e com as consequências do intenso processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas (ANA, 2010).

Com a revolução industrial, o homem começou realmente a transformar a face do planeta, a natureza de sua atmosfera e a qualidade de sua água. Hoje, o rápido crescimento da população humana criou uma demanda sem precedentes que o desenvolvimento tecnológico pretende satisfazer, submetendo o meio ambiente a uma agressão que está provocando o declínio, cada vez mais acelerado, de sua qualidade e de sua capacidade para sustentar a vida (FUNASA, 2014).

As águas subterrâneas naturalmente mais protegidas da contaminação do que as águas superficiais, tem experimentado um aumento significativo na sua extração nas últimas décadas. A superexploração já é uma realidade em diversos lugares do mundo e no Brasil. Deve-se ressaltar que a falta de dados científicos prejudica a avaliação sobre qual seria a taxa ideal de exploração e a própria identificação do problema (VILLAR, 2008).

Para reduzir a degradação do meio ambiente e salvar o habitat da humanidade, as sociedades devem reconhecer que o meio ambiente é finito. Os especialistas acreditam que, com o crescimento das populações e suas demandas, a ideia do crescimento continuado deve abrir espaço para o uso mais racional do meio ambiente, ainda que isto só possa ocorrer depois de uma espetacular mudança de atitude por parte da humanidade (FUNASA, 2014).

O impacto da espécie humana sobre o meio ambiente tem sido comparado às grandes catástrofes do passado geológico da Terra. Independentemente da atitude da sociedade em relação ao crescimento contínuo, a humanidade deve reconhecer que agredir o meio ambiente põe em perigo a sobrevivência de sua própria espécie (FUNASA, 2014).

A capacidade de renovação das águas durante o ciclo hidrológico e sua agilidade de autopurificação permitem a relativa conservação, por um longo período, da quantidade e qualidade das águas doces. Esse fato dá a falsa ilusão de inalterabilidade e inexauribilidade

dos recursos hídricos, que são considerados como um bem gratuito do meio ambiente. Sob essas condições, historicamente, a tradição é de descuido com o uso desses recursos (FUNDACIÓN CANAL, 2003)

A sustentabilidade e a segurança hídricas são condicionantes ao desenvolvimento econômico e social do país. Enfrentar os sérios problemas de acesso à água, que atingem mais severamente a população de baixa renda dos pequenos municípios e das periferias dos grandes centros urbanos, é fundamental para que se continue avançando no caminho do crescimento ambientalmente responsável. A sucessão de eventos críticos dos últimos anos, no Brasil e no mundo, realça a gravidade desses problemas. A Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, atualizou o marco legal do saneamento básico no país, alterando a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, aprimorando suas condições estruturais, alterando a denominação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), atribuindo-a competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico.

De fato, a questão a enfrentar não é intransponível, mas tampouco uma tarefa simples. Experiências bem-sucedidas no país vêm indicando caminhos. Para vencer esses desafios, é preciso empenho dos governos no planejamento das ações, na regulação da prestação dos serviços públicos e nas políticas de financiamento necessárias.

Mas, antes de tudo, é preciso conhecer o problema em todas as suas dimensões, obtendo informações detalhadas sobre a situação dos municípios brasileiros, quanto às demandas urbanas, à disponibilidade hídrica dos mananciais, e à capacidade dos sistemas de produção de água.

Nas regiões com maior dinamismo econômico e produtivo, como no caso das regiões metropolitanas, o desafio do abastecimento está relacionado com a frequente utilização de fontes hídricas comuns, que resulta em conflitos pelo uso da água, de ordem quantitativa e qualitativa (ANA, 2010).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), monitora desde 1974, a qualidade das águas superficiais doces no Estado de São Paulo e realiza a cada três anos o relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo, onde possui e opera, há várias décadas, diversas redes de monitoramento ambiental, visando avaliar a qualidade do ar, das águas superficiais e subterrâneas, assim como das praias e águas costeiras do Estado de São Paulo, apresentando periodicamente os Relatórios de Qualidade Ambiental, contendo dados medidos, desconformidades, comparação com valores legais, evolução do comportamento dos poluentes, tendências históricas dos indicadores de qualidade ambiental, dentre outros. Com isso, visa subsidiar o diagnóstico e controle da qualidade das águas doces

utilizadas para o abastecimento público, verificando se suas características são compatíveis com o tratamento existente, bem como para os seus usos múltiplos.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) é o órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Para melhor desenvolver suas atividades, e exercer suas atribuições conferidas por lei, atua de maneira descentralizada, no atendimento aos municípios, usuários e cidadãos, executando a Política de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (CBH Pardo), elabora todos os anos o Relatório de Situação (RS) das Bacias Hidrográficas que é um instrumento de gestão dos recursos hídricos, sendo utilizado para elaboração do Plano de Gestão Hídrica. Ele tem como objetivo avaliar, anualmente, a evolução qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Após estudos realizados pelo CBH Pardo, foi demonstrado fortes indícios de superexploração do Sistema Aquífero Guarani no perímetro urbano de Ribeirão Preto, e com isso, instituiu-se áreas de restrição e controle temporários, divididas em três zonas, cada uma com critérios que disciplinam a perfuração de novos poços.

Este estudo fez análise em três poços tubulares profundos, um em cada Zona de Restrição imposta pelo CBH Pardo, apresentado suas características e resultados. Objetivou-se a análise do sistema existente, que hoje é feito totalmente através de captação subterrânea, avaliou-se a disponibilidade hídrica e a qualidade da água dos mananciais disponíveis, juntamente com a necessidade ou não de uma captação alternativa para um futuro manancial, através de águas superficiais, tornando-se um sistema de manancial misto, garantindo a preservação do Sistema Aquífero Guarani e o abastecimento de água do município.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é promover Estudos para a Avaliação das Perdas e Minimização dos Impactos do Uso Exclusivo das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no Município de Ribeirão Preto - SP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que seja atingido o objetivo geral deste estudo, será necessário fazer o estudo dos seguintes objetivos específicos:

- caracterização do sistema de abastecimento de água de Ribeirão Preto;
- caracterização do programa de Gestão, Controle e Redução das Perdas de água de Ribeirão Preto;
- avaliação de dados reais e teóricos do rebaixamento do nível do Sistema Aquífero Guarani em virtude da captação de águas subterrâneas, estabelecendo uma projeção para seu uso futuro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A ÁGUA PELO MUNDO

Avaliar a exata quantidade de água na Terra envolve processos bastante complexos, porque ela se encontra em permanente movimento e constantemente mudando de estado físico. Portanto, costuma-se estimar apenas a quantidade de água presente na hidrosfera, que é a água livre, nos estados líquido e sólido na superfície da Terra (oceanos e mares, rios, lagos de água doce e salgada, pântanos, nas calotas polares e geleiras, no solo – umidade) e no subsolo (aquíferos) até a profundidade de 2.000 metros (SHIKLOMANOV, 1999).

A área total da superfície da Terra é de aproximadamente 510 milhões de km², sendo que 70,7% desta área está coberta pelas águas, o equivalente a aproximadamente 360,6 milhões de km². Os rios e pântanos possuem uma área de 17,6 milhões km², as calotas polares e geleiras ocupam 16,4 milhões de km² e os lagos de água doce e salgada perfazem um total de 2,1 milhões de km² (SHIKLOMANOV, 1998).

Durante as últimas décadas, as características quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos têm sido afetadas por um complexo sistema de impacto antrópico como irrigação, uso do solo, agrotóxicos, erosão, desmatamentos, poluição industrial, agrícola e doméstica, desperdício, etc (UNESCO, 2003).

A classificação dos países quanto à riqueza ou pobreza de água não depende apenas das disponibilidades efetivas dos seus recursos hídricos renováveis, mas principalmente, da disponibilidade desses mesmos recursos para o consumo da população. Sendo assim, um país não pode ser considerado mais rico em água que outro apenas por apresentar um potencial de recursos hídricos maior que aquele. A sua riqueza em água será determinada pela disponibilidade hídrica anual per capita, ou seja, quanto maior essa disponibilidade, mais rico é o país em termos de água. E esta depende principalmente da densidade populacional e da distribuição dos recursos por área.

O Brasil, por exemplo, destaca-se por apresentar a maior disponibilidade de recursos hídricos renováveis do planeta (8.233,0 km³ /ano), porém aparece em vigésimo quinto lugar com relação à disponibilidade hídrica social (43.487 m³/hab./ano), decorrente da grande desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no país, com 57% concentrados na Região Norte e parte das regiões Nordeste e Centro-Oeste onde a densidade populacional é muito baixa (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

A água doce representa apenas 2,5% do total de água na natureza. Os restantes 97,5% encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte desta água doce, aproximadamente 1,979% dos 2,5% restantes, está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos (Figura 1). A água é um bem essencial à vida e ao desenvolvimento econômico-social das nações.

Neste sentido, percebe-se a importância das águas subterrâneas que representam aproximadamente 96% do volume total da água doce do planeta, disponível para os seres humanos uma vez que a água das calotas polares não está acessível ao consumo (SHIKLOMANOV; RODDA, 2003).

Figura 1: Distribuição de água no planeta terra



Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/>, 2019

3.2 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Aquíferos são camadas ou formações geológicas de material poroso e permeável que contém água subterrânea, permitem seu movimento através de seu espaço intersticial e podem fornecê-la em volumes apreciáveis (TSUTIYA, 2006).

A definição de águas subterrâneas é toda a água que ocorre abaixo da superfície de uma determinada área, preenchendo os poros ou vazios intragranulares das rochas sedimentares ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas (BORGHETTI, 2004).

De acordo com Villar (2008), as águas subterrâneas foram formadas através da infiltração e percolação no interior do subsolo pelas chuvas durante períodos de tempo extremamente variáveis. Elas constituem a parte oculta e mais lenta do ciclo hidrológico, parte da água que volta à superfície da Terra sob a forma de chuva, se infiltra no solo através da ação da gravidade até atingir os aquíferos.

Os recursos de água subterrânea de um modo geral, excedem em 30 vezes o volume de águas superficiais. O aproveitamento de água subterrânea tem sido prejudicado pelos seguintes fatos negativos: conhecimento insuficiente das formações aquíferas, falta de estudos e levantamentos, ensaios e técnica inadequada na execução de poços (TSUTIYA, 2006).

Atualmente já existem técnicas mais adequadas para perfuração de poços, desde que sejam executados por empresa com elevada capacidade técnica e equipamentos adequados. Porém, ainda há carência de estudos mais aprofundados sobre o assunto, sendo que os projetos são baseados em estudos existentes sobre as características da geologia local, se houver, indicando onde a água pode ser encontrada, em que profundidade, volume e provável qualidade.

3.2.1 Descrição do Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani, principal manancial do município, é composto pelos sedimentos arenosos das formações Pirambóia e Botucatu. No município de Ribeirão Preto, uma parte desta unidade aquífera é confinada pelos derrames basálticos do Aquífero Serra Geral, especificamente na porção oeste e sul. No nordeste do município, o Aquífero Guarani é aflorante. Segundo Sinelli et al. (1980), o Aquífero Guarani apresenta comportamento típico de aquífero confinado em áreas com espessuras de rochas básicas superiores a 70 metros.

O município de Ribeirão Preto encontra-se localizado, hidrogeologicamente, na área de recarga do Aquífero Guarani, onde há uma maior vulnerabilidade natural à poluição e um intenso uso da água subterrânea para o abastecimento público. Segundo a CETESB (1997), o município de Ribeirão Preto é totalmente abastecido por água subterrânea, sendo que parte dos poços explora apenas o Aquífero Guarani e outra parte dos poços possui contribuição do Sistema Aquífero Serra Geral. O fato de Ribeirão Preto ser um polo de desenvolvimento

regional, em constante crescimento, implica em maior demanda de água e também maiores riscos de contaminação dos recursos hídricos.

Segundo o estudo de IG/CETESB/DAEE (1997), a região de Ribeirão Preto é considerada uma das áreas críticas em termos de risco de poluição das águas subterrâneas, em função da alta vulnerabilidade natural dos aquíferos, especialmente o Aquífero Guarani.

O Guarani é um aquífero do tipo poroso (constituído por rochas sedimentares, onde a circulação da água se faz pelos poros de suas rochas) e confinado (constituído por uma formação geológica permeável confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis) por cerca de 90% da sua área total. Ele encontra-se recoberto pelas espessas camadas de rochas basálticas da Formação Serra Geral e, em algumas regiões, pelos sedimentos que constituem os grupos Bauru e Caiuá, como, por exemplo, na cidade de Bauru (São Paulo) e em algumas áreas próximas à zona de afloramento no estado de Mato Grosso do Sul (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

Está localizado na região centro-leste da América do Sul, ocupando uma área de 1,2 milhões de Km². Ainda não existem estudos detalhados sobre toda a área de ocorrência do Aquífero Guarani no Brasil, onde está localizado 840.000 Km², cerca de 70% do total, e nos outros países do Mercosul.

Contudo, pode-se melhor denominá-lo "Sistema Aquífero Guarani", por se tratar de um conjunto heterogêneo de "unidades hidro estratigráficas", que podem conter muita, pouca ou nenhuma água.

3.2.2 Características gerais do Sistema Aquífero Guarani

No Brasil, oito estados abrigam partes do Aquífero Guarani. Estudos realizados em quase todos indicaram grande descontinuidade na estruturação geológica. Isso ocorre, por exemplo, no Arco de Ponta Grossa (Paraná), onde as estruturas geológicas e as intrusões vulcânicas dividem o sistema aquífero em diversos fluxos independentes e limitados ao Brasil (Figura 2).

O estado de São Paulo apresenta excelente conformação estrutural, o que facilita a recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas. (A recarga ocorre principalmente pela penetração das águas de chuva, e a descarga é a saída da água do subsolo, em direção aos rios ou outras estruturas geológicas, após lenta circulação no aquífero). No Brasil, São Paulo está entre os estados mais privilegiados, devido a alta potencialidade de exploração do Aquífero Guarani (Scientific American Brasil, 2020).

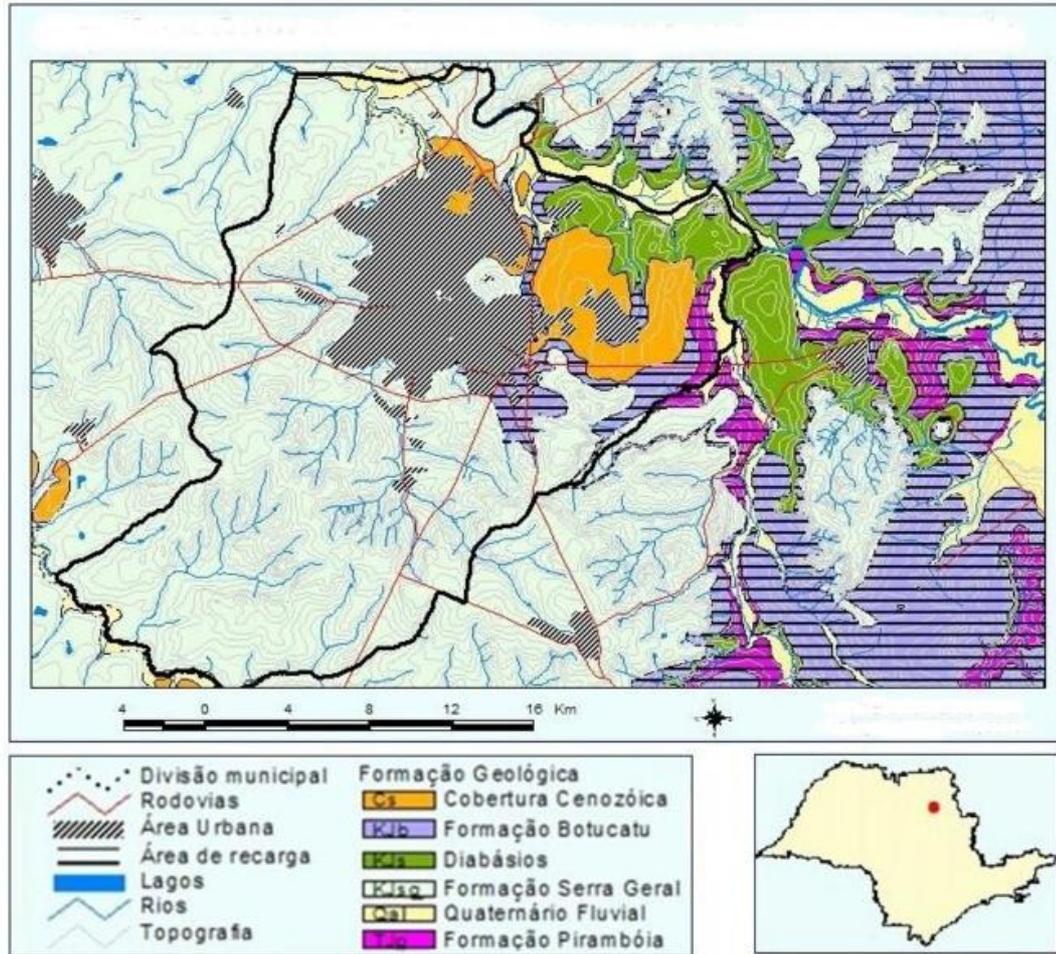
Figura 2: Mapa esquemático do Aquífero Guarani – Áreas de Afloramento e Confinamento



Fonte: ANA, 2001

A Zona de Alimentação ou Recarga (Figura 3 e 4), é a zona por onde o aquífero se alimenta das águas de chuvas, através da infiltração. Depende de alguns fatores como por exemplo, o tipo de condição dos materiais terrestres, porosidade, a cobertura vegetal, topografia e ocupação do solo.

Figura 3: Área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto na Zona Leste



Fonte: Villar, 2008

Figura 4: Área de Recarga: Lagoa do Saibro em Ribeirão Preto na Zona Leste



Fonte: Foto Milena Aurea/A Cidade, 2016

No Estado de São Paulo, o Sistema Aquífero Guarani ocorre na porção oeste do Estado de São Paulo, ocupando cerca de 76% do seu território. A leste está localizada a faixa aflorante (Figura 5).

Figura 5: Aquífero Guarani no Estado de São Paulo – Áreas de Confinamento e Aflorantes

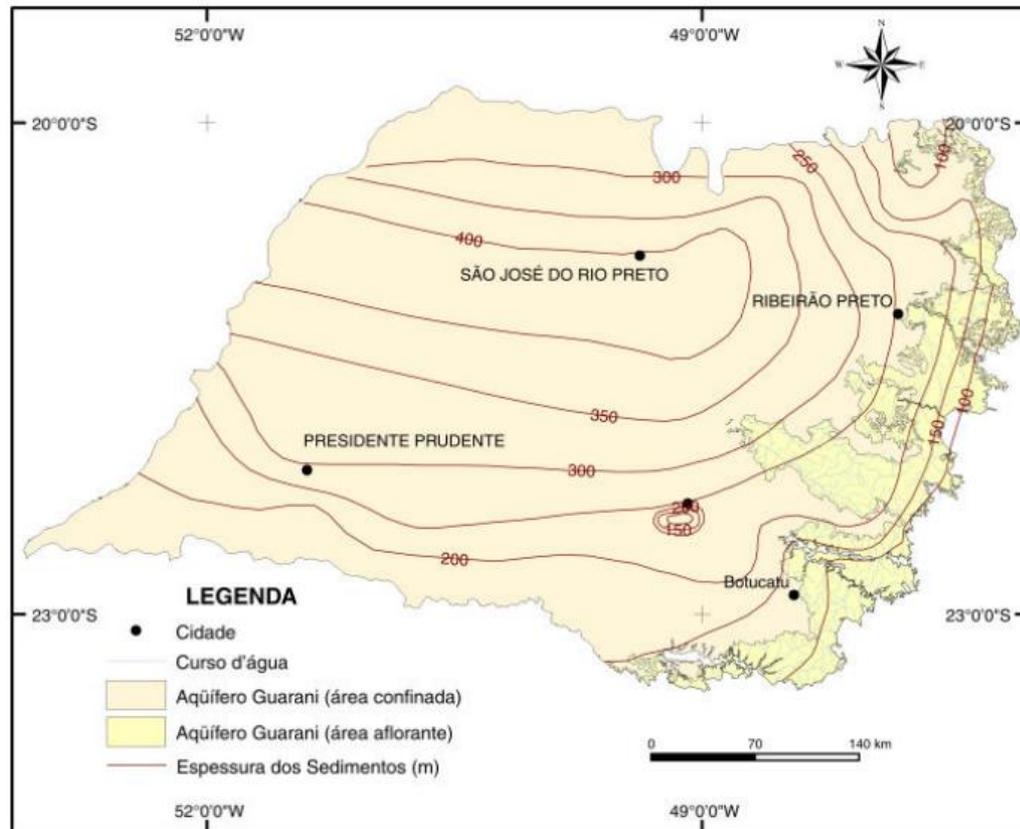


Fonte: DAEE, 2005

O Aquífero Guarani é granular, homogêneo e regionalmente livre ou freático (constituído por uma formação geológica permeável e superficial totalmente aflorante em toda a sua extensão e limitado na base por uma camada impermeável), na sua porção aflorante, a predominantemente confinada, constituindo um pacote contínuo desde sua área de afloramento, a leste, até o extremo oeste de São Paulo, onde extrapola os limites do Estado (Figura 6).

A espessura do aquífero varia de aproximadamente 100 m na área aflorante, até mais de 400 m, a oeste, ao longo da calha do rio Tietê (DAEE, 2005).

Figura 6: Espessura dos sedimentos do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo



Fonte: DAEE, 2005

Caracterizado por qualidades quase únicas no mundo, como a potabilidade das suas águas, onde o confinamento pelos basaltos é baixo, o uso de suas águas torna-se mais econômico, promovendo aplicações múltiplas nas atividades industriais, agroindustriais e no turismo hidrotermal. Além disso, a utilização deste manancial envolve menos recursos financeiros do que normalmente são exigidos para a construção de barragens, e principalmente sem os efeitos negativos ao meio ambiente causados pelas grandes obras, possibilitando a aceleração do desenvolvimento socioeconômico (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

O aproveitamento das reservas exploráveis, armazenadas no Aquífero Guarani, apesar de representar um importante elemento para o desenvolvimento econômico e social da região, requer ainda muitos estudos que disponibilizem informações para que este potencial seja usado de forma sustentável. As zonas de afloramentos do Aquífero Guarani apresentam uma grande sensibilidade às atividades antrópicas nos assentamentos urbanos e industriais. Estudos têm revelado que as águas do Guarani ainda estão livres de contaminação. Contudo, faz-se necessário o constante monitoramento e controle da utilização de agrotóxicos, visando

evitar possíveis contaminações das suas águas nas áreas de recarga onde a atividade agrícola é intensa (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

A discussão sobre esse reservatório despertou, principalmente, o interesse pelas águas subterrâneas até então colocadas equivocadamente num patamar inferior ao das águas superficiais.

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios como, por exemplo: são filtradas e purificadas naturalmente, dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; são passíveis de extração perto do local de uso; necessitam de custos menores como fonte de água e possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade.

Em Ribeirão Preto por exemplo, faz-se apenas a desinfecção, adicionando à água apenas o Hipoclorito de Sódio e Ácido Fluossilícico. Existem vários agentes desinfetantes, mas, em geral, o Hipoclorito de Sódio é o principal produto utilizado para a desinfecção de águas de abastecimento. Esse processo é importante para garantir que a água que chega às residências seja potável, evitando, assim, a contaminação e a proliferação de doenças.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Em seu Artº 15, compete ao responsável pelo fornecimento de água para consumo humano, assegurar que a água fornecida contenha um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo que, pelo Artº 32, no controle do processo de desinfecção da água por meio da cloração, observa-se também os tempos de contato e os valores de concentrações residuais do desinfetante na saída do tanque de contato, expressos nos Anexos 4,5 e 6 do Anexo XX, tendo o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento de 2 mg/L, conforme Artº 39.

A fluoretação da água é reconhecida como um importante fator para o declínio da prevalência da cárie dentária, principalmente na população infantil. Portanto, além de ser mantida, deve ser monitorada, a fim de que o teor de flúor seja mantido dentro dos padrões adequados para o controle da cárie e prevenção da fluorose dentária.

O anexo XXI da Portaria de Consolidação nº 5, determina normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano. De acordo com o Artº 37, no caso de adição de flúor (fluoretação), os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS de 26 de

dezembro de 1975, onde os valores mínimos são determinados com base na média das temperaturas máximas diárias do ar em °C (graus celsius).

Pensando em uma cidade como Ribeirão Preto, o recomendado seria o valor mínimo e ótimo de 0,6 mg/L, não podendo ultrapassar o valor máximo permitido de 1,5 mg/L expresso na Tabela do Anexo 7 do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5.

Apesar de estudos recentes desmistificarem aspectos que foram equivocados e amplamente divulgados, seguramente, em um futuro muito próximo, o Aquífero Guarani deixará de ser apenas um gigantesco reservatório de água de excelente qualidade, escondido sob a crosta terrestre, para se tornar parte integrante e fundamental dos debates e das ações voltadas para o desenvolvimento socioeconômico e para a integração dos países de sua abrangência. A falta de consciência da sociedade com relação à vulnerabilidade dos recursos hídricos, aliada, seguramente, à sua má gestão, dificulta a sua preservação (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

3.2.3 Características Hidráulicas do Sistema Aquífero Guarani

Estudos preliminares de balanço hídrico sugerem uma taxa média de renovação anual de 160 km³/ano, com tempo de renovação em torno de 300 anos, muito superiores a outros aquíferos em condições geográficas semelhantes ao Guarani (REBOUÇAS, 1994).

Analisando os dados do Quadro 1, tem-se algumas características hidráulicas do Sistema Aquífero Guarani. Tais dados são suficientes para afirmar que esse aquífero é um sistema hidrogeológico com capacidade volumétrica expressiva, taxas de recarga e tempo de renovação que possibilitam poços com vazões entre centenas até 1.000 m³/h (Borghetti, Rosa Filho, 2011).

Quadro 1: Características Hidráulicas do Sistema Aquífero Guarani

PARÂMETROS	VALOR MÉDIO
Coefficiente de Permeabilidade	3 m/dia
Coefficiente de Armazenamento	10^{-4} e 10^{-6}
Porosidade	15 a 20% (média 17%)
Transmissividade	entre 150 e 800 m ² /dia
Velocidade de Circulação das águas	muito baixa, variando de 0,75 a 0,50 cm/dia

Fonte: Gualdi (1999), Rocha (1996)

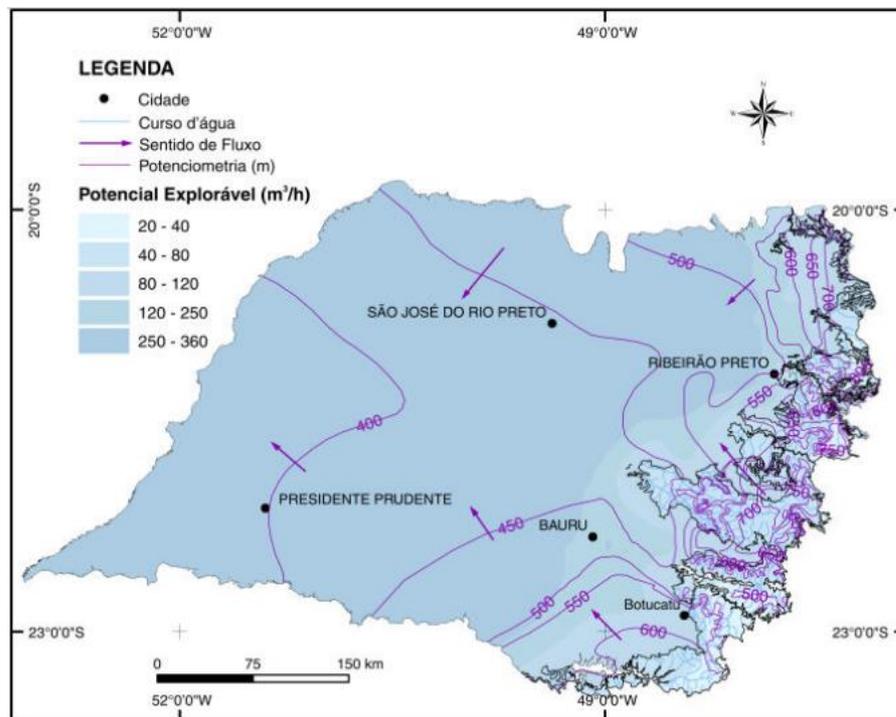
Segundo Chang (2001), a primeira avaliação de reservas na porção brasileira do Aquífero Guarani foi realizada por Rebouças, em 1976, estimando um volume para a reserva permanente desse aquífero de 48.021 km³ (48 quatrilhões de litros).

Um número considerável de poços apresenta vazões entre 150 e 300 m³/h e são utilizados para o abastecimento público das maiores cidades, principalmente no interior do Estado de São Paulo (LEBAC, 2008).

Um exemplo disto são os poços da cidade de Ribeirão Preto-SP, que para sua liberação junto ao DAEE, são apresentadas para outorga, vazões máximas de exploração de 250 m³/h, porém, verificando os 118 poços em funcionamento no município, a média de vazão entre eles é de 125 m³/h, pois nem sempre são conseguidas essas vazões nos poços perfurados no município, ou a capacidade de exploração diminui ao longo do tempo.

Analisando a Figura 7, verifica-se que, na área relacionada ao Aquífero Guarani, a exploração dos poços poderia chegar a 360 m³/h.

Figura 7: Nível piezométrico aparente do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo



Fonte: DAEE, 2005

3.2.4 Zonas de Restrição e Controle para Perfuração de Poços

No ano de 2005, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pardo instituiu um grupo técnico (GT) de águas subterrâneas. Com base nos trabalhos do GT e de estudo realizado pela

Zona 3 - serão permitidas novas perfurações de poços tubulares profundos, destinados ao abastecimento público e particular, respeitando-se o distanciamento mínimo de 1000 (mil) metros de poços existentes.

3.3 PARÂMETROS UTILIZADOS NOS ESTUDOS DA HIDRÁULICA DE POÇOS

O elemento mais importante no estudo de hidrologia subterrânea é o poço (Figura 9), através do qual realizam-se as observações do comportamento dos aquíferos, podendo-se determinar suas características hidrodinâmicas. Todavia, para suas determinações, deve-se conhecer certos parâmetros. A hidráulica de meios porosos é baseada na Lei de Darcy (TSUTIYA, 2006).

$$Q = K A \left(\frac{dh}{dL} \right) \quad (1)$$

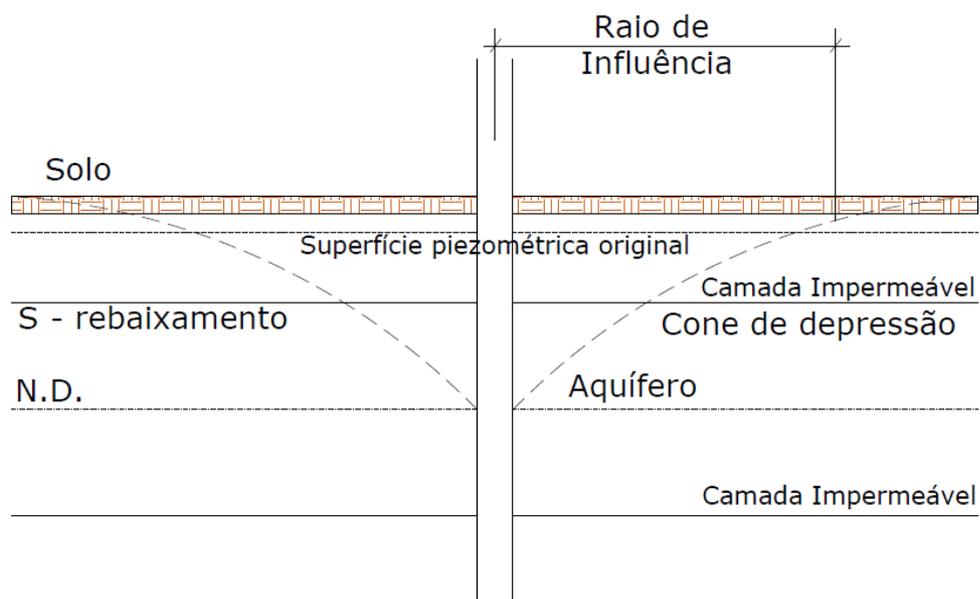
Onde: Q = vazão do fluxo de água (m³/s);

K = condutividade hidráulica (m/s): taxa na qual a água se move através do solo;

A = área (m²);

$\frac{dh}{dL}$ = gradiente hidráulico (perda de carga por espaço percorrido), onde dh (carga hidráulica que dissipa na percolação (m)) e dL (distância a percorrer (m)).

Figura 9: Detalhes de funcionamento de poço tubular profundo



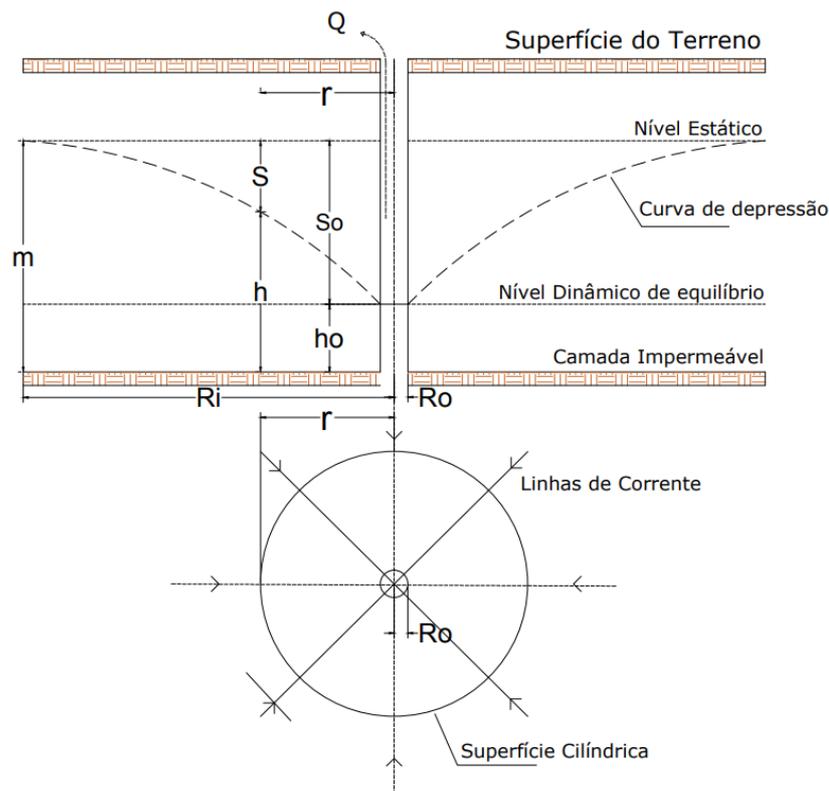
Fonte: Adaptado de TSUTIYA, 2006

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (1998), definem-se alguns parâmetros que influenciam na hidráulica dos poços e devem ser monitoradas durante o bombeamento, bem como algumas terminologias a saber:

- Nível estático (NE): é a distância da superfície do terreno ao nível da água dentro do poço antes de iniciar o bombeamento;
- Nível dinâmico (ND): é a distância entre a superfície do terreno e o nível da água dentro do poço após o início do bombeamento;
- Rebaixamento do nível (s): é a distância entre o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) durante o bombeamento;
- Regime de equilíbrio: é aquele em que o nível dinâmico fica estacionário depois de determinado tempo de bombeamento, por tornar-se a vazão do poço igual à da bomba.

O bombeamento de um poço produz depressões do nível d'água do aquífero, constituindo o chamado “cone de depressão”, que é a diferença entre o nível estático e o nível dinâmico do poço. O raio desse cone, denominado raio de influência, é em função da vazão e do tempo de bombeamento sob vazão constante (figura 10).

Figura 10: Poço freático completo durante bombeamento sob vazão constante



Fonte: Adaptado de Barbosa Junior, 2000

Onde: r = raio de influência em determinado tempo de bombeamento (m);

s = rebaixamento em determinado tempo de bombeamento (m);

S_0 = rebaixamento quando em regime de equilíbrio (m);

H_0 = espessura saturada do aquífero (m)

R_i = raio de influência em regime de equilíbrio (m)

R_0 = raio do poço (m)

m = profundidade do aquífero (m).

O raio de influência, cresce com o tempo de bombeamento, até que a capacidade de recarga do aquífero se equilibre com a vazão de bombeamento.

Segundo Feitosa (1997), o raio de influência do poço (r) é a distância para a qual o efeito do bombeamento de um poço é nulo, ou seja, é a distância limite do cone de rebaixamento.

O Decreto nº 32.955/91, dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, estabelece informações sobre as áreas de proteção, conservação e manutenção do equilíbrio das águas subterrâneas.

Dessa forma, no Quadro 2 sugere-se a implantação do Perímetro de Alerta para as unidades hidrogeológicas, em função das vazões dos poços.

Quadro 2: Distância radial (R) proposta para o Perímetro de Alerta em função da vazão do poço para diferentes unidades hidrogeológicas

Unidade Hidrogeológica	Vazão do poço	Distância radial (R) proposta para Perímetro de Alerta
Aquífero Furnas		40 m
Sistema Aquífero Guarani (porção livre, aflorante e porção confinada com até 50 metros de espessura de basalto)	Até 40 m ³ /h	30 m
	Acima de 40 m ³ /h	50 m
Sistema Aquífero Bauru	Até 20 m ³ /h	30 m
	Acima de 20 m ³ /h	60 m
Aquífero Taubaté	Até 40 m ³ /h	30 m
	Acima de 40 m ³ /h	50 m
Aquífero São Paulo	Até 20 m ³ /h	30 m
	Acima de 20 m ³ /h	50 m
Aquífero Litorâneo		30 m
Coberturas Cenozóicas		60 m
Sistema Aquífero Serra Geral e Diabásio	Até 30 m ³ /h	40 m
	Acima de 30 m ³ /h	70 m
Sistema Aquífero Cristalino	Até 15 m ³ /h	30 m
	Acima de 15 m ³ /h	50 m
	Cárstico	100 m

Fonte: DAEE 2005.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

3.4.1 Descrição do Município

O município de Ribeirão Preto está situado no interior do estado de São Paulo, Região Sudeste do país. Pertence à Mesorregião e Microrregião de Ribeirão Preto, localizando-se a noroeste da capital do estado, distando desta cerca de 315 km. Ocupa uma área de 650,916 km², sendo que 127,309 km² estão em perímetro urbano. Sendo a cidade-sede da Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP), sua população foi estimada pelo IBGE em 703.293 habitantes no ano de 2019. Entre os 30 maiores municípios brasileiros, a população ribeirão-pretana foi a sexta com maior taxa de aumento populacional (1,3%). Portanto, cresceu o dobro da capital paulista, maior cidade do país e bem mais que a média (0,86%) do Brasil. Suas coordenadas geográficas são: Latitude - 21° 10' 40" S; Longitude - 47° 48' 36" W (IBGE, 2010).

O histórico de ocupação do município de Ribeirão Preto é vinculado à história da mineração no estado de Minas Gerais, visto que os chamados campos do norte paulista eram, neste período, muito influenciados pelos povoados mineiros, os quais foram responsáveis pela formação das fazendas de criação de gado locais. Aos poucos a localidade passou a atrair mais pessoas, de forma que se tornou necessário a construção de uma capela. Para erguer a mesma, José Mateus dos Reis (proprietário da Fazenda Palmeiras) fez a doação da primeira gleba de terras no ano de 1845, exigindo que a capela fosse construída em homenagem a São Sebastião das Palmeiras (IBGE, 2011).

Gradativamente, o povoado continuou progredindo e posteriormente, em 1870, foi elevado a categoria de Freguesia, ano em que foi finalmente concluída a construção da capela.

Com a Independência do Brasil, as atividades agrícolas foram incentivadas, tendo a Vila de São Sebastião do Ribeirão Preto atraído um significativo número de famílias. Dentre estas, destaca-se a família Pereira Barreto que introduziu a cultura do café tipo "bourbon" (IBGE, 2011).

A fama de prosperidade da localidade acarretou na atração de um número cada vez maior de habitantes, de forma que muitos cafeicultores abandonaram o Vale do Paraíba e se instalaram em Ribeirão Preto, "terra apropriada ao café, grandes fazendas, sob administração dos Pereira Barreto, dos Junqueira, do Coronel Francisco Schmidt - o "Rei do Café", Martinico Prado e Henrique Dumont" (IBGE, 2011).

Portanto, infere-se que o desenvolvimento da agricultura cafeeira provocou a rápida ascensão e progresso da região ribeirão-pretense, associada principalmente à instalação da

linha férrea da Companhia Mogiana de Estrada de Ferro em 1883. Neste período Ribeirão Preto era conhecida como a "Capital do Café" e contava com 10.420 habitantes, sendo que em 1892, Ribeirão Preto já era conhecida como cidade.

No período de 1950 a 2000, o município apresentou taxas de urbanização superiores as do Brasil e as do Estado de São Paulo. Na década de 50, o município contava com uma população de 92.160 habitantes. Em 2000 a população saltou para 504.923 habitantes, demonstrando um crescimento percentual de 447,87 (FERNANDES; ADES, 2004).

Tornou-se um polo de desenvolvimento regional no nordeste paulista, apresentando grande crescimento urbano e desenvolvimento econômico. Em um raio de cerca de 200 km do município encontram-se algumas das principais cidades do interior dos estados de São Paulo e de Minas Gerais, como Araraquara, Bauru, Barretos, Campinas, Franca, Limeira, São Carlos, São José do Rio Preto, Uberaba, Uberlândia, entre outras, sendo o acesso facilitado pela qualidade das rodovias.

A atividade agroindustrial ligada ao açúcar e álcool é uma importante atividade econômica local, sendo que as plantações de cana-de-açúcar dominam o cenário rural. Devido ao desenvolvimento econômico, outras atividades têm crescido no município, como serviços e indústria, como metalurgia.

A área urbana ocupa toda a parte norte do município, com tendências de expansão ao longo das principais rodovias e estradas. No restante da área, devido à ocorrência de tipo de solo favorável, predomina a atividade agrícola.

A maior parte do município encontra-se na bacia hidrográfica do rio Pardo, o qual representa o limite norte da área. O córrego Ribeirão Preto, com direção de sul para norte, é o principal tributário do rio Pardo nessa região, englobando grande parte da área do município. Apenas a porção meridional do município está localizada na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, que corre ao sul de Ribeirão Preto. De acordo com o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, o município de Ribeirão Preto pertence à UGRHI 04.

A Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP), foi institucionalizada em 6 de julho de 2016, por meio da Lei Complementar nº 1.290, a qual reúne 34 municípios, divididos em quatro sub-regiões (Figura 11):

- Sub-Região 1: Barrinha, Brodowski, Cravinhos, Dumont, Guatapará, Jardinópolis, Luís Antônio, Pontal, Pradópolis, Ribeirão Preto, Santa Rita do Passa Quatro, São Simão, Serrana, Serra Azul e Sertãozinho;
- Sub-Região 2: Guariba, Jaboticabal, Monte Alto, Pitangueiras, Taiúva e Taquaral;

quase que integralmente pela regularização junto ao DAEE, pelo Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP), de dezenas de poços profundos.

No Brasil, estima-se que aproximadamente 51% da água potável provem dos aquíferos e no Estado de São Paulo seu uso para abastecimento público cresce gradativamente nos últimos anos, sendo 71,6% de seus municípios abastecidos total ou parcialmente por esse recurso, principalmente, proveniente do Aquífero Guarani (DAEE, 2005).

Dentre estes locais, a maior cidade abastecida pelo Aquífero Guarani é Ribeirão Preto, que se destaca devido ao seu desenvolvimento, possuindo uma economia baseada predominantemente nas atividades agroindustriais e de prestação de serviços, fatores que podem estar afetando a disponibilidade da água do Aquífero Guarani no município, baseado em estudos que apontam pelo seu rebaixamento (IPT, 2000).

Com o desenvolvimento do Município, aumenta-se a demanda de água para abastecimento público. Os aquíferos são fontes subterrâneas de água que necessitam de longos períodos para recarga.

As águas superficiais, por outro lado, estão sempre se renovando dentro do ciclo hidrológico, são recarregadas diretamente pelas chuvas; e nos períodos de estiagem, pelas águas dos lençóis freáticos (PMSB, 2016).

Com isso, pode-se aumentar a oferta de água distribuída em Ribeirão Preto que hoje é proveniente em sua totalidade de manancial subterrâneo, atualmente por meio 118 poços, que nos últimos 40 anos vem sistematicamente demonstrando um rebaixando do seu nível dinâmico.

3.4.2 Estudo Populacional do Município

As projeções populacionais se constituem em uma importante ferramenta de planejamento no que tange às políticas públicas voltadas para o bem-estar social e desenvolvimento econômico, como também para a prospecção de novos padrões de consumo.

Em relação a projetos de saneamento básico, a projeção populacional é indispensável, pois para diferentes projetos dessa área é necessário o conhecimento da população de final de plano (população de projeto), bem como da sua evolução ao longo do tempo, sendo a referência básica para o cálculo das demandas futuras.

A confiabilidade da projeção é um elemento significativo em estudos desta característica. Para tal, faz-se necessária não somente uma análise abrangente e interdisciplinar dos cenários passado, presente e futuro da população em questão, como a

perfeita adequação do conjunto de métodos empregados no cálculo das projeções aos dados disponíveis da população (PMP, 2014).

No entanto, existe certa complexidade na elaboração de tais projeções, em especial por envolver uma análise cuidadosa das variáveis passíveis de interação com a população do espaço geográfico analisado durante o tempo para o qual se projeta esta população. Uma vez que lidam com o futuro, as projeções devem considerar a incerteza, ainda que possuam informações históricas detalhadas e confiáveis da população em estudo (PMP, 2014).

3.5 SISTEMA DE ABASTECIMENTO ATUAL

O Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP), é a autarquia responsável pela distribuição de água potável, coleta e afastamento de esgotos do município.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) é o instrumento de planejamento da prestação dos Serviços de saneamento básico. Entre as alterações introduzidas pela Lei 11.445/2007 está a definição e a distinção entre as atividades de planejamento, prestação, regulação e fiscalização dos serviços de saneamento, além das condições mais claras e objetivas sobre como delegar a prestação dos serviços.

A Lei Complementar 2794/2016, instituiu a política municipal de saneamento básico de Ribeirão Preto, sendo o conjunto de planos, programas e ações promovidos pelo Município, isoladamente ou em cooperação com particulares ou outros entes da Federação, com vistas a assegurar o direito à salubridade ambiental e minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços públicos de saneamento básico, especialmente em relação aos recursos hídricos. Consiste na consolidação do plano setorial de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e gestão integrada de resíduos sólidos.

O Instituto Trata Brasil utiliza dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), para compor o ranking do saneamento. O último a ser publicado refere-se ao ano de 2020, utilizando dados do SNIS de 2018, para os cem maiores municípios brasileiros em termos de habitantes, onde Ribeirão Preto aparece na 21ª colocação caindo 8 posições em relação ao ranking de 2019, onde ficou na 13ª posição.

O sistema de abastecimento de água de Ribeirão Preto é composto, exclusivamente, por meio de 118 poços tubulares profundos com vazões variando de 25 m³/h a 260 m³/h, distribuídos por toda a área do município, não havendo concentração de centros produtores,

sendo que no ano de 2019 foram retirados 127.877.530 m³/ano, o que tem causado um rebaixamento contínuo do nível do aquífero (DAERP, 2019).

O município de Ribeirão Preto é totalmente abastecido por água subterrânea, sendo que parte dos poços explora apenas o Aquífero Guarani e outra parte dos poços possui contribuição do Aquífero Serra Geral.

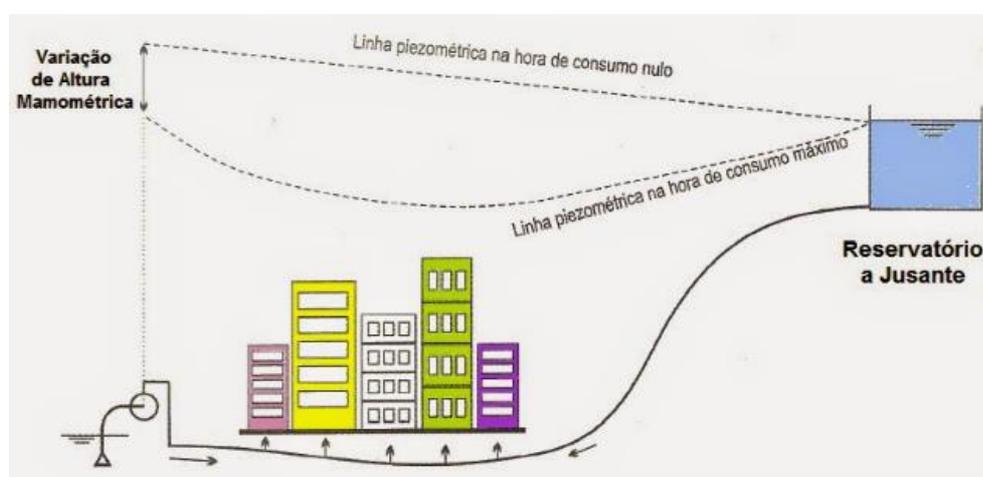
Segundo o estudo de IG/CETESB/DAEE (1997), a região de Ribeirão Preto é considerada uma das áreas críticas em termos de risco de poluição da água subterrânea, em função da alta vulnerabilidade natural dos aquíferos, especialmente o Aquífero Guarani.

Assim, o elevado consumo per capita, combinado ao fato de Ribeirão Preto ser um polo de desenvolvimento regional, em constante crescimento, implica em uma necessidade cada vez maior de produção de água potável para atender a crescente população, colocando em risco a relação de dependência do município da exploração de água do aquífero Guarani.

O consumo elevado per capita de água apresentado no município pode estar refletindo em elevadas perdas de água, tanto físicas como comerciais e uma demanda excessiva decorrente tanto das perdas como das baixas tarifas aplicadas.

Constitui-se de um sistema de abastecimento complexo, uma vez que 70% do abastecimento é realizado por meio de distribuição em marcha, onde poços tubulares profundos injetam água diretamente para a rede de distribuição, possuindo reservatórios setoriais que funcionam como armazenamento de sobras de água, ou seja, como reservatórios de jusante, os quais somente contribuem para o abastecimento em horários de pico (Figura 12).

Figura 12: Modelo de abastecimento em marcha reservatório à jusante



Fonte: TSUTIYA, 2006

Atualmente o sistema contempla 2.350 Km em redes de distribuição, 154.240 m³ de reservação distribuídos em 102 unidades ativas, 118 poços tubulares profundos ativos com macromedidores instalados e 57 Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT).

Possui um laboratório de monitoramento de água que atualmente conta com 938 pontos de coleta da qualidade pré-definidos. As coletas de água das redes são obtidas a partir da implantação de pontos físicos instalados nos cavaletes dos poços para acompanhamento da qualidade da água distribuída. Ao todo existem 20 Sistemas de fornecimento cadastrado no plano de monitoramento, aparentemente definidos com bases geográficas e não por influência do abastecimento de água (PMSB, 2015).

Em função do método de produção de água bruta o tratamento é feito de modo simples, com adição de Hipoclorito de Sódio para desinfecção e Ácido Fluossilícico para fluoretação.

3.6 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS

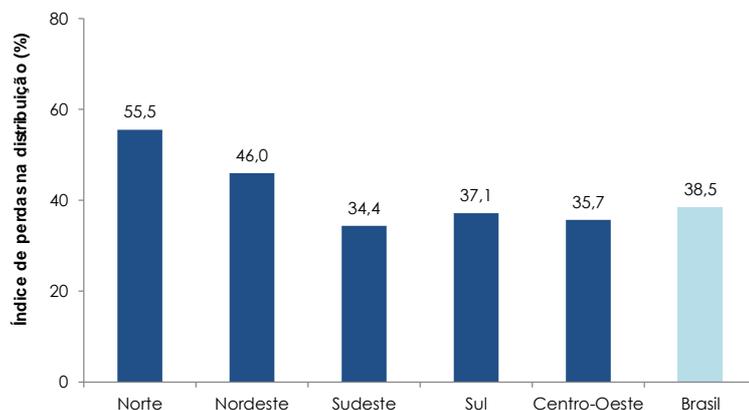
Um dos mais graves problemas a atingir a gestão do abastecimento de água no Brasil e no mundo diz respeito às perdas e aos desperdícios. Como se não bastasse o fato de que o serviço ainda não esteja universalizado para a população, há enormes prejuízos econômicos. As companhias de saneamento estão cada vez mais preocupadas e focadas no controle e redução das perdas de água, como forma de buscar um melhor equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, com o conseqüente aumento das receitas da empresa (por conta da redução de perdas aparentes), redução de custos operacionais e postergação de investimentos (por conta da redução de perdas reais). Somado a isso, está o problema da escassez de água e da preservação do meio ambiente.

O desperdício é a principal ameaça ao abastecimento de água no Brasil, onde 38,50% da água captada no país para abastecimento urbano é perdida. A cada segundo são retirados dos rios e do subsolo no Brasil 840 mil litros de água para consumo humano urbano (PNUD, 2006).

O uso insustentável dos recursos hídricos, a negligência dos governos, principalmente nas grandes cidades, na manutenção das tubulações e adutoras das redes de abastecimento de água para a população, e na identificação e fiscalização de conexões ilegais e contabilidade falha, podem gerar uma perda de água que chega a 75% em alguns países, quando o índice aceitável de perdas, pelo padrão internacional, seria em torno de 20% (DOMINGUES, 2006).

O panorama das perdas de água no cenário brasileiro pode ser expresso pela Figura 13. Pode-se observar que, a média brasileira das perdas totais de água (perda real mais perda aparente) no ano de 2018 estava em 38,5%, considerando o universo de todos os prestadores, quer sejam regionais, microrregionais ou locais de direito público, privado e empresa privada.

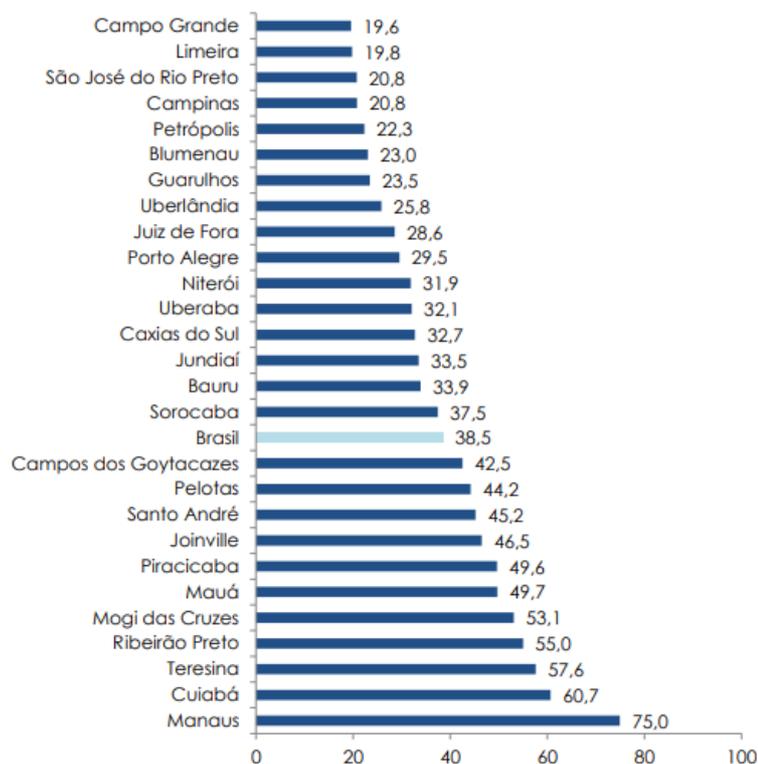
Figura 13: Índice de perdas na distribuição segundo região e média do Brasil



Fonte: SNIS 2018

O indicador de 38,5%, é considerado elevado quando comparado à realidade dos países desenvolvidos ou mesmo em comparação à América Latina, e é a realidade da maioria dos prestadores nacionais (Figura 14).

Figura 14: Índice de perdas na distribuição dos 27 prestadores locais de maior porte



Fonte: SNIS 2018

Dentre os 27 prestadores de serviços de abrangência local de maior porte, para os quais foi possível calcular o índice de perdas na distribuição, 16 situam-se abaixo da média nacional de 38,5%, representando uma população total residente de aproximadamente 10,4 milhões de habitantes. Com índices abaixo de 20%, destacam-se os prestadores dos municípios de Campo Grande/MS (19,6%) e Limeira/SP (19,4%), com população residente de 885.711 e 303.682 habitantes, respectivamente. Em ambos os municípios, o serviço é prestado por empresas privadas, Águas Guariroba S.A. (Campo Grande/MS) e BRK Ambiental – Limeira S.A. (Limeira/SP). Por outro lado, os prestadores com índices maiores que 60% são situados nos municípios de Cuiabá/MS (60,7%) e Manaus/AM (75,0%), com população residente de 607.153 e 2.145.444 habitantes, respectivamente. Os municípios também são atendidos por empresas privadas: Águas Cuiabá S.A. (Cuiabá/MS) e Manaus Ambiental (Manaus/AM) (SNIS, 2018).

O gerenciamento das perdas exige, antes de tudo, o seu conhecimento pleno. Identificar e quantificar corretamente as perdas constitui-se em ferramenta essencial e indispensável para a implementação de ações de combate. Nesse contexto, as inovações tecnológicas facilitam a identificação e possibilitam medições cada vez mais precisas dos volumes de água perdidos. A redução dos custos dos equipamentos, na medida em que se difundem as novas tecnologias, amplia o acesso para um número maior de prestadores de serviço de abastecimento público.

A temática das perdas de águas nos sistemas públicos de abastecimento aflige os prestadores de serviços, uma vez que a água não contabilizada causa impactos, não somente nos aspectos operacionais, mas também, nos aspectos empresariais e de gestão do sistema, refletindo diretamente nos indicadores econômicos financeiros e, portanto, na sustentabilidade de suas atividades. Os sistemas de medição no abastecimento de água se constituem em instrumentos indispensáveis à operação eficaz dos sistemas públicos. O conhecimento adequado das inúmeras variáveis envolvidas permite explorar as melhores formas de operação dos sistemas de abastecimento em todas as suas etapas: captação, adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição.

De forma geral, os sistemas de medição englobam a macromedição – conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição – e a micromedição – medição do consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independentemente de sua categoria ou faixa de consumo (compreende a medição permanente

do volume de água consumido e que é registrado periodicamente por meio da indicação propiciada pelos hidrômetros).

A medição dos consumos de água em cada ponto do sistema de abastecimento de água, a chamada micromedição, possibilita a divisão dos custos de manutenção e implantação deste sistema, da mesma forma que também contribui para preservação do meio ambiente, pois induz à redução do desperdício de água por parte do consumidor. Associado a uma medição ao longo de todas as unidades do sistema, a macromedição ajuda a identificar perdas na distribuição e fornece informações fundamentais ao controle e operação do sistema de abastecimento de água.

Caracterizadas como ineficiências técnicas, as perdas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água. É um tema de alta relevância frente a cenários de escassez hídrica e de altos custos de energia elétrica, além da sua relação direta com a saúde financeira dos prestadores de serviços, uma vez que podem representar desperdício de recursos naturais, operacionais e de receita (SNIS, 2019).

Nesse cenário, são fundamentais ações estruturantes e programas de avaliação, controle e redução de perdas contínuos e efetivos, como observado na Figura 15.

Figura 15: Aspectos técnicos relacionados as perdas de água e as oportunidades de ações de redução e controle

Volumes de Água		Natureza do Volume Consumido	Balanco Financeiro	Ações de redução e controle
Volume Entregue (volume disponibilizado)	Volume Utilizado	Volume autorizado faturado (medido ou estimado) Consumido nas: • Ligações Ativas.	Ganho de Receita operacional.	• Melhoria constante da apuração do consumo (micromedição); e • Fidelização do cliente (exploração de tecnologias e inovação em equipamentos e em metodologias de gestão)
		Volume autorizado não faturados (medidos ou estimado) Consumido nos Usos: • operacionais, • emergenciais e • social.	Gasto operacional controlável.	• Melhoria na utilização, fiscalização e controle destes usos. • Transformar usuários sociais em clientes ativos.
	Volume perdido	Perdas aparentes consumidos em: • Erros de medição; • Fraudes; • Ligações Clandestinas e • Gestão comercial.	Perda de receita operacional.	• Melhoria na gestão comercial; • Redução da submedição do parque de hidrômetros (implantação de tecnologias com micromedidores de maior precisão ao longo de suas vidas úteis a custos reduzidos). Medidores calibrados e dimensionados Observação: As perdas aparentes recuperadas tornam-se volumes autorizados faturados, portanto, estes volumes recuperados adicionarão receitas com base nas tarifas vigentes praticadas.
		Perdas Reais Consumidos em: • Vazamentos em redes, ramais e em peças acessórias; e • Vazamentos e extravasamentos em estruturas hidráulicas (Reservatórios, Elevatórias e Estação de tratamento da Água)	Gasto operacional na produção e distribuição da água.	• Controle ativo de vazamentos: Pesquisa e reparo de vazamentos não visíveis nos menores tempos possíveis. (exploração de melhores tecnologias e inovação na identificação dos vazamentos não visíveis); • Redução da pressão disponível nas redes de distribuição por meio de VRP (exploração de tecnologias e melhores gestão de controles). • Implantação de booster onde necessário para aumento de pressão (tecnologias e inovação na redução de custos); • Controle macro de pressões: Setorização clássicas e subsetorizações • Gestão da rede por meio de DMC (melhores práticas de gestão). • Qualificação de mão de obra, materiais e equipamentos empregados; • Qualificação para melhores projetos; • Substituição de ativos operacionais (tecnologias em processos construtivos, materiais e equipamentos utilizados). Observação: Os volumes recuperados de perdas reais, deixam de impactar os custos operacionais, assim estes volumes de recuperação reduzem os gastos operacionais e portanto, os custos de produção.

Fonte: DAERP, 2019

Analisando os dados do SNIS 2018, Ribeirão Preto apresentava índice de perdas na distribuição de 55%, passando a 52,90% em 2019, apontando uma melhora gradual apenas com algumas melhorias na gestão do sistema.

Com o programa de gestão, controle e redução de perdas que começou a ser implementado a partir do ano de 2019, a meta é chegar a 30% até o ano de 2025.

3.7 SISTEMA PRODUTOR PARDO

Os rios desempenham um papel importante no ciclo hidrológico e representam a principal fonte de água doce para suprir as necessidades e atividades econômicas do homem.

O Rio Pardo nasce no município mineiro de Itapiúna, que em linguagem tupi-guarani significa “Nascentes das Águas Pardas”, de onde originou seu nome.

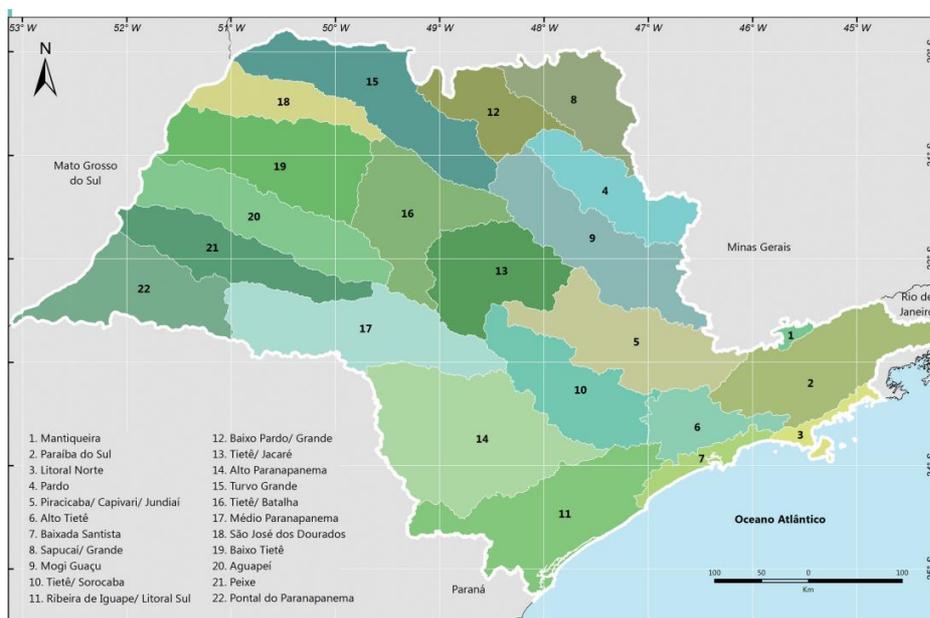
Sua nascente situa-se na Serra do Servo numa altitude de 1380 m, percorrendo 100 km em terras mineiras, em região de topografia acidentada construída por rochas vulcânicas (nos municípios de Caldas, Botelhos, Bandeira do Sul e Poços de Caldas) formadas há 70 milhões de anos. Em terras paulistas percorre cerca de 450 km, desaguardo no Rio Grande, no município de Colômbia, numa altitude de 425 m (CETESB, 2017).

Possui área de drenagem de 35.414 km², sendo que 17.400 km² pertencem ao seu principal afluente, o rio Mogi-Guaçu. A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo abrange diretamente 39 cidades, sendo 9 em Minas Gerais e 30 em São Paulo (CETESB, 2017).

Em 1996, foi criado o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (CBH Pardo), sendo feita a divisão hidrográfica para gestão dos recursos hídricos composta por 22 UGRHIs.

No Estado de São Paulo o Rio Pardo é dividido em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHIs 04 e 12, sendo que a que atende o município é a 04 (Figura 16).

Figura 16: Divisão do Estado de São Paulo em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs



Fonte: DAEE, 2013

Segundo o Relatório Zero (IPT, 2000), a partir de discussões com o Comitê de Bacia Hidrográfica, a Bacia do Pardo foi dividida em seis sub-bacias, as quais foram ordenadas de oeste para leste e de norte para sul, conforme apresentado no Quadro 3 e ilustrado pela Figura 17, a seguir.

Quadro 3: Sub-bacias da UGRHI 04 e a área total de cada uma

SUB-BACIA			
Nº	NOME	ÁREA (km ²)	% da UGRHI
1	Ribeirão São Pedro / Ribeirão da Floresta	1.451,80	16,10
2	Ribeirão da Prata / Ribeirão Tamanduá	1.680,84	18,70
3	Médio Pardo	2.533,78	28,20
4	Rio Canoas	516,8	5,80
5	Rio Tambaú / Rio Verde	1.271,38	14,10
6	Alto Pardo	1.536,42	17,10
TOTAL DA BACIA		8.991,02	100

Fonte: PMRP, 2016

Figura 17: Localização referencial das seis Sub-bacias que compõem a UGRHI 04



Fonte: CBH Pardo, 2008

O interesse maior no presente estudo é dirigido às sub-bacias 01, 02 e 03, descritas resumidamente abaixo:

Sub-bacia 1 — ribeirão São Pedro/Ribeirão da Floresta: Situada no extremo noroeste da UGRHI, é constituída pelas águas do Baixo Rio Pardo e pelos ribeirões São Pedro, da Floresta e Lambari, pelos córregos das Contendas, das Antas e Santa Bárbara, além de outras drenagens de menor porte. Tem seu limite de montante um pouco abaixo da foz do Ribeirão Preto no Rio Pardo, de forma que tende a receber toda a carga de poluição porventura destinada às drenagens da área urbana de Ribeirão Preto. Jardinópolis e Sales Oliveira são os municípios com área urbana nesta sub-bacia.

Sub-bacia 2 — ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá: Localiza-se na porção centro-noroeste da UGRHI e tem como drenagens principais, além do Rio Pardo, os ribeirões da Prata e Tamanduá, respectivamente pela margem direita e esquerda do Pardo. Os municípios de Ribeirão Preto, Cravinhos, São Simão, Brodowski e Jardinópolis (este último no limite com a sub-bacia 1) possuem sede na sub-bacia 2.

Sub-bacia 3 — médio Pardo: Situa-se na porção central e é a de maior expressão em área dentro da UGRHI, representando 28,20%. A extensão do trecho do Rio Pardo nessa sub-

bacia é de aproximadamente 63 km e tem como afluentes principais, pela margem direita, os rios Araraquara e Cubatão e o Ribeirão da Boiada; pela margem esquerda, os ribeirões Quebra Cuia, das Águas Claras e da Prata. É a sub-bacia com o maior número de áreas urbanas: Serrana, Santa Rosa de Viterbo, Cajuru, Serra Azul, Santa Cruz da Esperança e Cássia dos Coqueiros. O município de Altinópolis tem sua área urbana a norte, no limite entre essa sub-bacia com a UGRHI-8.

As sub-bacias 01 e 02 contemplam o município de Ribeirão Preto e a sub-bacia 03 fica anterior ao município, devendo ter especial interesse no sentido de como está sendo utilizada. A CETESB possui pontos de monitoramento na UGRHI 04, fornecendo valores consolidados de variáveis físicas, químicas e biológicas a cada dois meses, gerando subsídios para avaliação da situação das águas quanto à poluição.

Os órgãos gestores têm responsabilidades específicas no tocante à gestão e acompanhamento das questões relativas à qualidade e quantidade das águas: a CETESB é o órgão responsável pelo controle da qualidade, uma vez que faz fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo; e o DAEE, através do planejamento, implantação, operação e monitoramento da infraestrutura hídrica de São Paulo, responde pelo controle da quantidade e disponibilidade das águas.

De acordo com a Resolução CONAMA nº.357 de 2005 e suas alterações, as águas superficiais doces, salobras e salinas são classificadas, segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade, sendo essas definidas a partir de um conjunto de condições e padrões de qualidade necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros.

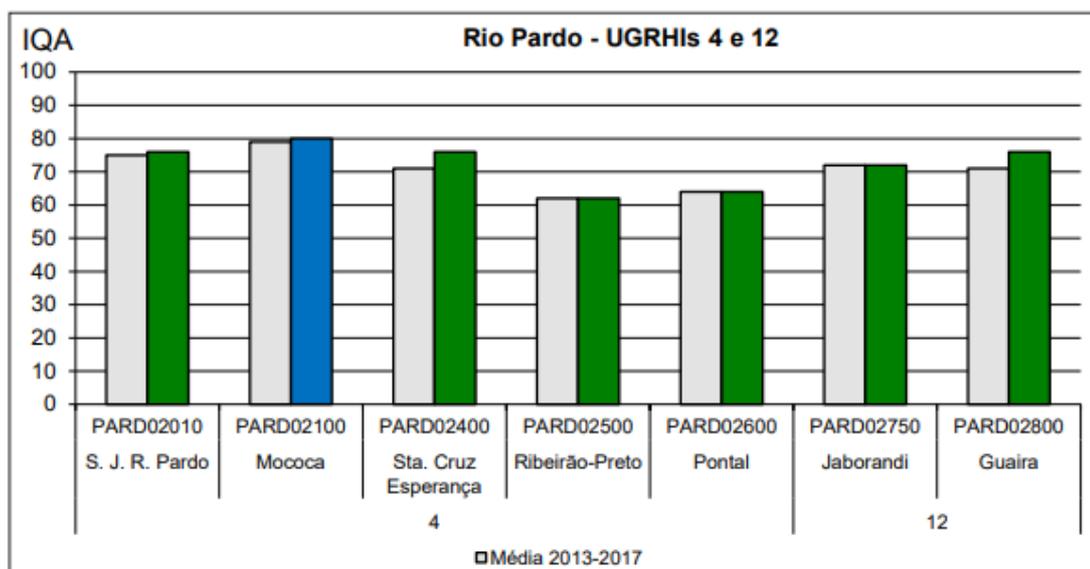
Por meio do Decreto Estadual nº 10.755/77, todos os corpos d'água no Estado de São Paulo foram enquadrados segundo classes de uso (1, 2, 3 e 4). Quanto menor a classe de enquadramento do corpo d'água melhor a qualidade esperada, ou seja, menor deve ser seu grau de perturbação de origem antrópica.

O Rio Pardo enquadra-se na Classe 2, segundo consta no Decreto nº 10.755/1977, que dispõem sobre o enquadramento (CONAMA nº 357, Art. 2º, inciso XX) dos corpos d'água receptores na classificação prevista no Regulamento da Lei nº 997, de 22 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976.

O relatório da qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo da CETESB, relativo ao ano de 2017, possibilita o diagnóstico da qualidade das águas superficiais.

Neste sentido, o IQA - Índice de Qualidade das Águas (Figura 18) para Fins de Abastecimento Público, classificam a qualidade da água no que diz respeito ao abastecimento público. As principais vantagens dos índices são as facilidades de comunicação com o público leigo.

Figura 18: Perfil do Índice de Qualidade das Águas (IQA) ao longo do rio Pardo na UGRHI 04 Ribeirão Preto



Fonte: CETESB, 2018

A maioria dos municípios pertencentes à UGRHI 04 (Figura 19), possui o Índice de Atendimento Urbano de Água superior a 99%, revelando índice classificado como categoria "Bom". Sua média anual do IQA subiu de 59,56 em 2017 para 61,55 (Boa qualidade) em 2018, apontando que os municípios da bacia, de modo geral, estão bem geridos no quesito "abastecimento urbano de água" (CETESB, 2018).

O objetivo de gestão é o de buscar ficar o mais próximo possível da cifra de 100%, condição difícil de ser alcançada dada à expansão urbana nos últimos anos, não só pelo crescimento do setor imobiliário bem como pelas ocupações irregulares, que em Ribeirão Preto alcançaram 70 áreas, com uma população aproximada de 45.000 pessoas.

Figura 19: Mapa da UGRHI 4 no Município de Ribeirão Preto e a localização do Rio Pardo



Fonte: CETESB, 2018

De acordo com o Relatório de Situação do DAEE, verificou-se redução da disponibilidade hídrica superficial per capita da UGRHI 4 no período de 2014 a 2018, de 3.799,86 m³/hab.ano para 3.668,00 m³/hab.ano (Quadro 4) e a disponibilidade hídrica subterrânea de 382,70 m³/hab.ano para 369,40 m³/hab.ano (Quadro 5). Já a população da bacia passou, no mesmo período, de 1.141.626 habitantes para 1.185.180 habitantes (+3,82%).

Quadro 4: Disponibilidade hídrica per capita Águas Superficiais do Rio Pardo

Parâmetros	2014	2015	2016	2017	2018
Disponibilidade "per capita" - Vazão média em relação à população total (m ³ /hab.ano)	3.799,86	3.760,32	3.729,35	3.698,60	3.668,00
> 2500 m ³ /hab.ano	Boa				
> 1500 e ≤ 2500 m ³ /hab.ano	Regular				
< 1500 m ³ /hab.ano	Ruim				

Fonte: RS DAEE, 2018

Quadro 5: Disponibilidade hídrica per capita Águas Subterrâneas da Bacia do Rio Pardo

Parâmetros	2014	2015	2016	2017	2018
Disponibilidade "per capita" - Reserva Explotável em relação à população total (m ³ /hab.ano). (Este indicador não possui valor de referência)	382,70	378,70	375,60	372,50	369,40

Fonte: RS DAEE, 2018

Portanto, a disponibilidade hídrica natural da bacia esteve em constante queda, em função da divisão entre a vazão média de longo período (constante ao longo dos anos) pela população total da UGRHI, que cresceu gradativamente neste período. Pode-se observar que a vazão outorgada cresceu ao longo dos anos, de acordo com a figura 20. A disponibilidade hídrica da UGRHI coloca-se na 8ª posição entre as menores disponibilidades per capita entre as demais UGRHIs estaduais.

Figura 20: Vazão outorgada subterrânea e superficial da Bacia do Rio Pardo

Fonte: RS DAEE, 2018

Com as atuais restrições para o licenciamento de novos poços em Ribeirão Preto e face ao crescimento contínuo de sua população, o Departamento de Águas e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP) requereu e obteve junto à ANA, reserva preventiva no Rio Pardo, já projetando seu uso futuro para atendimento das necessidades hídricas voltadas, principalmente, ao abastecimento público. Portanto, entende-se que a tendência desse indicador é de constante alta. A disponibilidade do Rio Pardo para o município de Ribeirão Preto é suficiente para atender a captação de 2,75 m³/s proposta em projeto, sem comprometer a disponibilidade na bacia. Diante da situação crítica de abastecimento enfrentada atualmente em Ribeirão Preto, onde o sistema produtor encontra-se no limite da sua capacidade, e com a disponibilidade hídrica subterrânea limitada e cada vez mais comprometida, a utilização da água do Rio Pardo é uma possível fonte para atender a futura demanda de água da cidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho baseou-se na coleta de informações em livros disponíveis na literatura, nas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em artigos publicados em periódicos, em trabalhos de especialização realizados, na coleta de dados da concessionária de água do município (DAERP), do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), de estudos do Departamento de Águas e Energia (DAEE), da Agência Nacional de Águas (ANA), da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

Para o estudo coletou-se dados dos componentes do sistema de abastecimento de água existente, de acordo com informações do DAERP:

- Quantidades, tipos e diâmetros das redes de abastecimento de água;
- Estações elevatórias de água tratada;
- Quantidade de reservatórios e volume de reservação;
- Quantidade de poços tubulares em operação e seus volumes de exploração;
- Número de Ligações de água ativas e economias;
- Volume de água produzido e consumido;
- População atendida;
- Funcionamento do sistema existente.

Para o melhor conhecimento do sistema, fez-se medições de pressão em diversos pontos da cidade, sondagens de redes para verificação da qualidade, do tipo de material, da necessidade de troca e complementação do cadastro técnico.

Analisou-se os volumes de reservação, para verificação da suficiência para atendimento da população existente em cada região.

As vazões dos poços foram determinadas através do método "PITOT", utilizando aparelhos de pitometria tipo "Cole" e comparadas com os macromedidores instalados em todos os poços, para resultados com maior precisão.

Através do software GSAN utilizado pela autarquia para inclusão e acompanhamento de serviços diversos, foram gerados relatórios de quantidade de vazamentos, tipos de serviços realizados, tempo de execução de cada serviço, número de pessoas afetadas e custos de manutenção. Para as solicitações de falta d'água, foram avaliadas suas causas, se por baixa

pressão na rede, se por vazamentos, problemas em poços, ou por falta de disponibilidade hídrica em determinada região.

Com os dados coletados, obteve-se um conhecimento melhor de como o sistema existente opera.

4.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

O DAERP, através do Ministério do Desenvolvimento Regional, aprovou no ano de 2020, recursos necessários para o programa de gestão, controle e redução das perdas de água, de toda a área urbana do município,

Inicialmente, fez-se o levantamento dos dados necessários para a elaboração do estudo populacional, através da principal fonte de informações que integram esta área, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Existem diversos métodos para a determinação da projeção populacional, os quais devem ser estudados de maneira a se adotar o mais adequado ao projeto em questão. Os métodos empregados em projetos de saneamento básico são os de formulação matemática, a exemplo dos métodos Aritmético, Geométrico e Mínimos Quadrados, usados neste trabalho, sendo que as projeções foram feitas para os próximos 15 anos, ou seja, até o ano de 2034.

Para o estudo das projeções populacionais, os métodos abordados utilizaram a população dos anos de 1960 a 2010, obtidos dos últimos censos do IBGE.

O Método Aritmético pressupõe a adoção de uma taxa de crescimento constante, sendo a projeção obtida a partir dos dados censitários existentes.

Considerando que P1 é a população do penúltimo censo (ano t1) e P2 a população do último censo (ano t2), tem-se:

$$P_2 = K_a(t_2 - t_1) + P_1 \quad (2)$$

$$k_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Onde:

Ka = Taxa de crescimento anual;

P2 = População no último censo considerado (habitantes);

P1 = População no penúltimo censo considerado (habitantes);

t2 = Ano do último censo considerado;

t1 = Ano do penúltimo censo considerado.

O Método Geométrico pressupõe que o crescimento da população e o crescimento da taxa sejam proporcionais em todos intervalos de tempo e proporcionais à população existente em um determinado período, sendo que a metodologia empregada será definida, a seguir:

$$k_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$\ln P = \ln P_2 + K_g(t_1 - t_2) \quad (5)$$

Onde:

k_g = Taxa de crescimento geométrico.

O Método dos Mínimos Quadrados (Método da Regressão Matemática), utiliza a regressão linear para prever o crescimento da população. A parábola de melhor ajuste do crescimento populacional é dada por:

$$a + bx(t - t_0) + c x (t - t_0)^2 \quad (6)$$

Em que a, b e c podem ser calculados através da solução do seguinte sistema:

$$a * n + b * \sum x + c * (\sum x)^2 = \sum y \quad (7)$$

Onde:

x = diferença t-t₀ dos dados populacionais disponíveis;

y = população do tempo t;

n = número de dados populacionais disponíveis (segundo dados do IBGE).

Com o estudo populacional e os dados coletados do sistema de abastecimento de água existente, elaborou-se o programa de gestão, controle e redução das perdas.

Analisou-se a forma como são executados os serviços de manutenção e operação das redes, como tempo e facilidade de execução.

Definiu-se os setores de abastecimento e os distritos de medição e controle (DMC), de forma que garanta sua estanqueidade, necessários ao funcionamento adequado do sistema. Para garantir a facilidade de execução e operação, a delimitação ocorreu através de avenidas, córregos ou rodovias, funcionando como limitantes naturais.

Considerou-se também a zona de expansão urbana contida no plano diretor do município e as obras a serem realizadas por empreendedores que estão em andamento, ou em fase de estudo, e com isso a população de cada setor.

Para que haja um equilíbrio hídrico na cidade de Ribeirão Preto, estudou-se a proposta de implantação de um sistema de captação e tratamento de água superficial utilizando como manancial de abastecimento o Rio Pardo.

4.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECENDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO

4.3.1 Dados Coletados para a Análise dos Poços

O estudo foi feito analisando três poços tubulares profundos, um em cada zona de restrição de perfuração criadas, da menos para a mais restritiva, imposta pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo, com a finalidade de proteger o Sistema Aquífero Guarani.

Foi descrito também, o setor de abastecimento que cada um está inserido, os bairros que o compõem, a população atendida, o volume consumido, os poços e a reservação existente.

Analisou-se o teste de bombeamento, feito para a aprovação da outorga junto ao DAEE, sendo uma ferramenta usada para conhecer o comportamento hidráulico dos poços tubulares profundos e sua interpretação adequada possibilita o cálculo preciso do equipamento para extração de água dos poços e a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos como o nível estático, os valores de rebaixamento do nível d'água em função do tempo de bombeamento, a vazão e a recuperação do nível d'água depois de cessado o bombeamento.

A partir da interpretação dos dados dos testes de vazão, calculou-se a Capacidade Específica do Poço, Transmissividade, Condutividade Hidráulica, Coeficiente de Armazenamento do aquífero no local do poço e a vazão ótima de exploração.

Foram coletados dados de vazão, pressão, níveis estáticos e dinâmicos, de medições feitas "in loco" pelo DAERP, entre os anos de 2005 a 2020, ou seja, durante 15 anos de funcionamento do poço, estabelecendo uma projeção futura para os próximos 15 anos, ou seja, até o ano de 2034, sendo que, através destes dados verificou-se o rebaixamento do nível de água.

Através de estudo do Aquífero Guarani realizado pelo DAEE, foram obtidos alguns dados utilizados para o trabalho, que estão indicados no Quadro 6.

A condutividade hidráulica (K) foi obtida pelo cálculo da média ponderada dos valores de K das Formações Pirambóia (2,5 m/dia) e Botucatu (3,5 m/ dia) (DAEE 1974). O fator de ponderação correspondeu à somatória das espessuras de cada formação, considerando poços localizados na porção confinada do aquífero e na área de afloramento, obtendo o valor médio de 2,6 m/dia.

Adotando o mesmo procedimento, foi calculada a média ponderada do coeficiente de armazenamento (S) para a porção livre do Aquífero Guarani, considerando um valor médio de

0,15 para a Formação Pirambóia (DAEE 1974) e 0,25 para a Formação Botucatu (SILVA 1983), obtendo-se, nesta área, um valor médio de 0,17.

A transmissividade (T) foi obtida com base no mapa de espessura do aquífero e nos valores de condutividade hidráulica.

Quadro 6: Características Hidráulicas do Aquífero Guarani

CARACTERÍSTICAS DO AQUÍFERO GUARANI			
DADOS DO ESTUDO DO DAEE			
Dados	Sigla	Valor	Unidade
Gradiente Hidráulico	i	0,001	-
Condutividade Hidráulica	K	2,600	m/dia
Coefficiente de Armazenamento	S	0,170	-
Transmissividade	T	260,000	m ² /dia
Porosidade Efetiva	Ne	0,150	-

Fonte: DAEE, 2005

Para a vazão explorável considerou-se os testes de bombeamento dos poços realizados no início de funcionamento e nas aferições in loco ao longo dos anos.

O rebaixamento do nível de água subterrânea foi definido para o aquífero de acordo com as suas características e disponibilidade de dados existentes. Foi utilizada a Fórmula de Theis modificada por Jacob (1940), onde:

$$Q = \frac{s_c H_o 4\pi T}{\ln(2,25 \cdot \frac{Tt}{r^2 S})} \quad (8)$$

Simplificando,

$$Z = \frac{Q}{4\pi * T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 * T * t} \right) \right] \quad (9)$$

Onde,

Q = vazão explorável (m³/h)

Z

= rebaixamento

H₀ = espessura saturada do aquífero (m)

T = transmissividade (m²/h)

S = coeficiente de armazenamento (adimensional)

r = raio do poço (m)

t = tempo de bombeamento, fixado em 15 anos.

Para a aplicação da equação foi adotada a hipótese simplificada de que o aquífero é predominantemente livre e a circulação da água subterrânea obedece aos requisitos da Lei de Darcy aplicada a uma superfície cilíndrica situada a uma distância r do eixo do poço através da qual a água escoava com a vazão igual à de bombeamento (regime de equilíbrio).

No caso do Aquífero Guarani confinado, H_0 corresponde à diferença entre a cota do nível potenciométrico e a cota do topo do aquífero.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da equação foi realizado a comparação com o zoneamento das vazões exploráveis, utilizando como pontos de controle as vazões resultantes de testes de bombeamento de longa duração.

Com o funcionamento contínuo do poço, cria-se uma curva de depressão e com isso pode ocorrer interferência entre dois poços quando, estando ambos submetidos ao bombeamento, suas zonas de influência coincidem parcialmente.

Na prática, para que não haja interferência entre dois poços que funcionarão simultaneamente com a vazão Q, determina-se um perímetro de proteção com a distância mínima entre eles de duas vezes o raio de influência ($2xr$). Para tanto, utilizou-se dois métodos para obter o raio de influência r, adotando o mais restritivo (Barbosa Junior, 2000).

Para a delimitação dos perímetros de proteção dos poços foram utilizados os métodos:

- Raio Fixo Calculado (RFC)

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n_e \cdot b \cdot \pi}} \quad (10)$$

- Método de Wyssling

$$r = \left(\frac{Q}{2 \cdot K \cdot \pi \cdot m \cdot i} \right) \quad (11)$$

Onde,

r = raio do perímetro de proteção (m)

Q = vazão de exploração (m^3/dia)

t = tempo de trânsito (dias)

n_e = porosidade efetiva

b = espessura saturada (m)

K = condutividade hidráulica

m = profundidade do aquífero (m)

i = gradiente hidráulico.

Os cálculos foram feitos, desde o início de operação dos poços até os dias atuais, estabelecendo uma projeção para os próximos 15 anos.

4.3.2 Poços Analisados nas Zonas de Restrição e Controle

4.3.2.1 Zona de Restrição 3

Para a Zona de Restrição 3 foi escolhido o poço Jardim Diva Tarla nº 191, que está inserido no Setor de abastecimento Ribeirão Verde. Situa-se na zona leste, sub-setor L-9, distante 17 Km do centro do município, pertencendo à microbacia do córrego das Palmeiras, à margem esquerda do rio Pardo, na região de afloramento e recarga do aquífero guarani. Foi executado em 15/02/2005 pela empresa Constroli Projetos e Construções Ltda, contratada da Protenco Projetos Técnicos e Construções Ltda, que foi a loteadora da área.

Situa-se na confluência das Ruas José Adriano Miranda Junior e Nair Estrada Trujillo, no Jardim Diva Tarlá de Carvalho, coordenadas UTM: 7660,807 Km N, 215,854 Km E (Figura 21).

Figura 21: Croqui de Localização do Poço Jardim Diva Tarla



Fonte: PMRP, 2016

De acordo com Haroldo Campos (2009), a área de afloramento do Aquífero Guarani, situada em Ribeirão Preto, tem papel fundamental na recarga desse recurso, devendo haver um controle rígido do uso do solo para garantir a manutenção da quantidade e da qualidade da água subterrânea.

Além disso, ele apresenta alta vulnerabilidade natural à poluição em decorrência de seu comportamento hidráulico de aquífero livre, com alta permeabilidade, como identificado em vários estudos.

O Setor Ribeirão Verde é abastecido por 04 (quatro) poços tubulares profundos, sendo que 03(três) deles estão em operação (Figura 22) e 01(um) será reativado de acordo com o novo programa do DAERP. O setor está descrito de acordo com a Tabela 1.

Figura 22: Delimitação do Setor Ribeirão Verde (SAD006) na zona Leste de Ribeirão Preto



Fonte DAERP, 2019

Tabela 1: Detalhes do Setor Ribeirão Verde

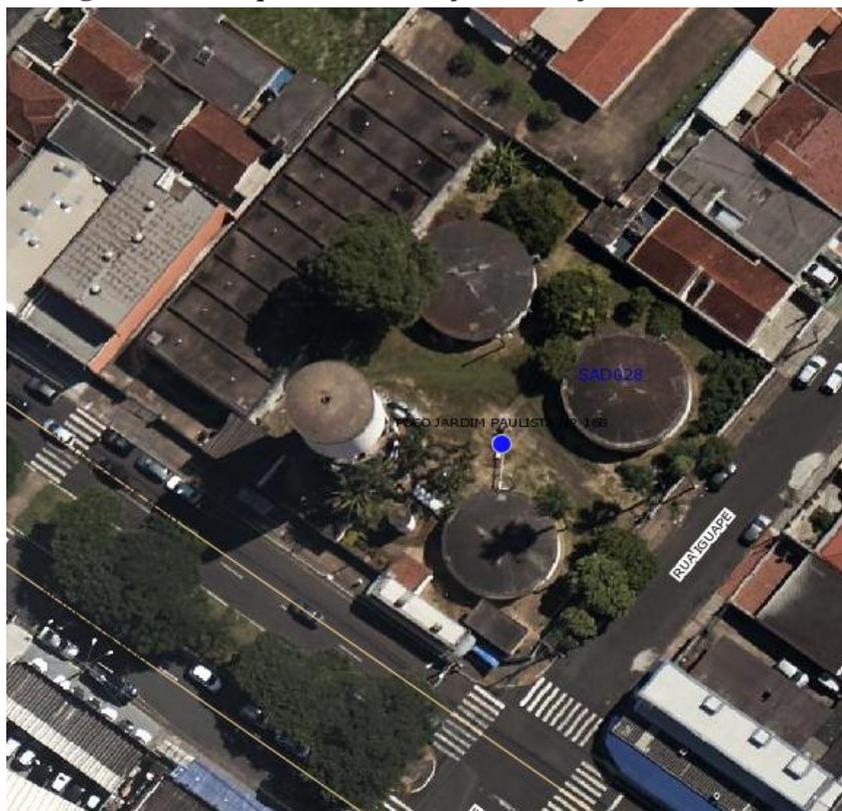
SETOR RIBEIRÃO VERDE							
Bairros	População	Número de Economias	Volume Micromedido (m³/dia)	Poços que Abastecem o Setor	Volume Produzido (m³/h)	Reservatórios do Setor (m³)	
Cj. Hab. Jardim das Palmeiras	27.101	7971	3.971,28	219 Palocci	221,00	2.500	Apoiado
Jardim das Palmeiras				241 Rec. Palmeiras	145,00	1.500	Apoiado
Jardim Diva Tarla de Carvalho				191 Diva Tarla	241,63	2.000	Apoiado
Jardim Florestan Fernandes				167 Ribeirão Verde	110,00	200	Elevado
Jardim Prof. Antonio Palocci							
Jardim Pedra Branca							
Jardim Vilico Cantarelli							
Total	27.101	7971	3.971,28		717,63	6.200	

Fonte: Adaptado de DAERP, 2019

4.3.2.2 Zona de Restrição 2

Para a Zona de Restrição 2, foi analisado o poço Jardim Paulista nº 168, localizado no Setor Jardim Paulista, na Zona Leste, sub-setor L-2, distante 3,30 Km do centro do município. Situa-se na confluência da Avenida Treze de Maio com Rua Iguape, coordenadas UTM: 7655,682 Km N, 210,340 Km E, Jardim Paulista no município de Ribeirão Preto (Figura 23).

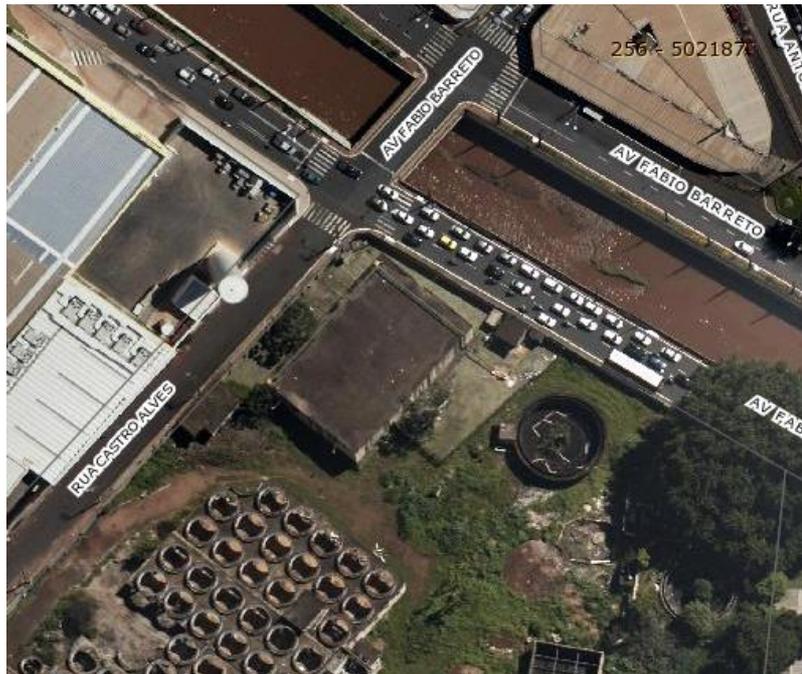
Figura 23: Croqui de Localização do Poço Jardim Paulista



Fonte: PMRP, 2016

O Setor Jardim Paulista é abastecido por 04 (quatro) poços tubulares profundos (Figura 24), sendo que 03(três) deles estão em funcionamento e 01(um), Poço Igrejinha nº 058, será desativado pelo novo programa do DAERP, e está descrito de acordo com a Tabela 2.

Figura 25: Vista aérea do poço Kaiser



Fonte: PMRP, 2016

O Setor Vila Tibério é abastecido por 04 (quatro) poços tubulares profundos (Figura 26), de acordo com o novo programa do DAERP. O setor está descrito de acordo com a Tabela 3.

Figura 26: Setor Vila Tibério na região Central



Fonte: DAERP, 2019

Tabela 3: Detalhes do Setor Vila Tibério

SETOR VILA TIBERIO							
Bairros	População	Número de Economias	Volume Micromedido (m³/dia)	Poços que Abastecem o Setor	Volume Produzido (m³/h)	Reservatórios do Setor (m³)	
Vila Tibério	33.274	10398	4.613,52	09 Kaiser	239,72	500	Elevado
				123 Vila Tibério	100,41	1.000	Apoiado
				147 Via do Café	34,04		
				157 Bandeirantes	208,39		
Total	33.274	10398	4.613,52		582,56	1.500	

Fonte: Adaptado de DAERP, 2019

O poço Kaiser nº 09, foi executado pela empresa Bavaria S/A, e em 10/05/2005 foi outorgado perante o DAEE e cedido o direito de uso ao DAERP, através de um termo de cooperação. Tendo em vista o DAERP não possuir o teste de bombeamento inicial e os dados do perfil geológico do poço, fez-se o uso de mapas geológicos e estudos do município para a determinação do perfil geológico do poço, e os parâmetros necessários ao seu estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

A concepção atual do sistema de abastecimento de água de Ribeirão Preto, apresenta vários problemas de gestão e operação. O sistema vinha sendo construído conforme a implementação de novos loteamentos, ou de acordo com a intensificação das construções de edifícios, que vem sendo executados, no lugar de antigas áreas residenciais, de acordo com a expansão do centro urbano, aumentando consideravelmente o número de habitantes nestas regiões, e com isso a demanda por serviços de saneamento. Porém, isto ocorria sem nenhum tipo de planejamento prévio adequado, tornando o sistema cada vez mais caótico e de difícil controle de operação.

Não existe setorização sistematizada que realize o controle e a otimização do abastecimento nas diferentes regiões, tanto quando se consideram as questões de pressões e vazões disponíveis, quanto se verificam os aspectos de eficiência energética do sistema.

Além disso, como o lançamento das águas captadas dos poços são feitos diretamente nas redes de distribuição, ou seja, distribuição em marcha, possuindo poucos reservatórios de montante, elevando consideravelmente as pressões que geralmente estão muito acima dos valores permitidos em norma, aumentando consideravelmente os vazamentos nas redes, aumentando a demanda por energia elétrica, proporcionando perdas reais elevadas, e ainda com a possibilidade dos reservatórios de sobras, ou de jusante, não adquirirem níveis operacionais, não contribuindo para o abastecimento.

Os equipamentos constituintes do sistema de abastecimento de água existente no município de Ribeirão Preto estão relacionados de acordo com a Tabela 4, tendo um resumo do sistema de abastecimento atual.

Tabela 4: Resumo do Sistema de abastecimento de Água do município de Ribeirão Preto

Sistema de Abastecimento de Água											
Poços Tubulares	Estação Elevatória de Água Tratada - EEAT (unid)	Reservatórios (unid)	Total Reservação (m³)	Redes de Abastecimento (Km)							
				50 mm	75 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	400 mm
118	57	102	154.240	1752,61	118,05	139,53	127,82	117,83	38,29	43,86	12,02

Fonte: DAERP, 2019

5.1.1 Poços Tubulares Profundos

Na Tabela 5, é apresentada a relação dos 118 poços tubulares profundos em operação no sistema de distribuição, que estão localizados em diversas regiões da cidade, sua situação, vazão operacional e potência total das bombas instaladas.

Tabela 5: Relação de poços em operação no sistema de distribuição do município de Ribeirão Preto

RELAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS							
MUNICÍPIO: RIBEIRÃO PRETO							
PRESTADOR: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE RIBEIRÃO PRETO							
CAPTAÇÃO	Nº	NOME	ENDEREÇO	SITUAÇÃO		VAZÃO OPERACIONAL (MÉDIA DOS ÚLTIMOS 12 MESES) (L/S)	BOMBAS POTÊNCIA TOTAL (CV)
				ATIVA	INOOPERANTE		
	1	03 BONFIM PAULISTA	RUA CARLOS RIBEIRO DE SOUZA, FRENTE N.187	X		47,78	175
	2	09 KAISER	AV. FABIO BARRETO C/ RUA CASTRO ALVES	X		68,75	150
	3	50A SESC	RUA TIBIRIÇA N.50	X		6,58	20
	4	58 IGREJINHA	RUA JOÃO BIM N.1769	X		6,39	17
	5	64 TOPÁZIO	RUA TOPAZIO LADO N. 815	X		22,22	50
	6	65 NILZA	RUA CAP. LINO ENGRACIA OLIVEIRA MACIEL	X		8,11	35
	7	68 TAMOIO	AV. MAURILIO BIAGI, FRENTE RUA TAMOIOS	X		21,89	74
	8	72 FREGONESI	RUA LUIZ FREGONESI N.40	X		6,58	32,5
	9	79 PARÁ	RUA PARÁ N.120	X		23,88	74
	10	87 ROTATÓRIA AMIN CALIL	RUA LUIZ GAMA, FRENTE N. 131	X		31,18	60
	11	91 PERI	RUA PERI N.29	X		6,73	22,5
	12	101 PERNAMBUCO	RUA PERNAMBUCO N.175	X		10,10	50
	13	104 SUMARÉ	RUA DR. JOÃO PALMA GUIÃO N.19	X		16,51	60
	14	114 RECREIO INTERNACIONAL	RUA D	X		18,02	35
	15	115 ARNALDO VICTALIANO	RUA ARNALDO VICTALIANO N.1070	X		36,89	160
	16	119 TANQUINHO	RUA TURMALINA, FRENTE N.1140	X		15,69	45
	17	120 UNAERP	RUA PEDRO PEGORARO N.300	X		19,13	50
	18	123 VILA TIBERIO	RUA ALVARES DE AZEVEDO N.1395	X		27,89	120
	19	124 SCHMIDT	RUA MARECHAL DEODORO N.901	X		47,15	185
	20	127 JARDIM CANADA	AV. BRAZ. OLAIA ACOSTA N.870	X		39,03	100
	21	131 PEDREIRA	AV. LUIGI ROSIELLO, PRÓX. AV. DO CAFÉ	X		26,93	120
	22	135 PROCÓPIO	AV. OCTAVIO GOLFETO N.85	X		34,17	185
	23	137 ALEXANDRE BALBO	RUA MANOEL GARCIA, 31	X		69,73	123
	24	140 LAGOINHA II	RUA ANTONIO FERNANDES FIGUEIROA N.905	X		26,13	85
	25	141 VILA ELISA	RUA RIBEIRÃO PRETO, FRENTE N.1111	X		33,82	123
	26	142 ANDRADAS	RUA BRAZILIO MACHADO NETO	X		54,68	170
	27	143 SALDANHA MARINHO	RUA SALDANHA MARINHO	X		24,99	123
	28	147 VIA DO CAFÉ	AV. DO CAFÉ N.1597	X		9,46	27,5
	29	149 PALMARES II	RUA VIRGILIO DE CARVALHO NEVES NETO	X		45,80	175
	30	151 C.D.H.U.	AV. INDEPENDENCIA, S/N	X		61,31	197
	31	152 AV. PORTUGAL	AV. PORTUGAL N.2644	X		20,76	60
	32	153 VILA VIRGINIA	RUA NABUCO DE ARAUJO N.162	X		55,56	185
	33	154 ITAÚ MIRIM	AV. TEREZA PALMEIRA GALLON	X		12,23	60
	34	155 VILA AUGUSTA	RUA RIO FORMOSO C/ RUA MANDAGUARI	X		22,86	74
	35	157 AV. BANDEIRANTES	AV. BANDEIRANTES N. 1351	X		57,89	176
	36	161 JOÃO FIUSA	AV. JOÃO FIUSA C/ RUA CARLOS CONSONI	X		62,28	250
	37	162 AVELINO PALMA I	RUA ARTHUR DE JESUS CAMPOS	X		61,58	150
	38	163 MARIA DAS GRAÇAS	AV. CASPER LIBERO PROX. N. 205	X		59,09	260
	39	165 JARDIM PRES. DUTRA III	RUA AMADEU GIACHETTO N.371	X		68,96	225
	40	166 ROYAL PARK	RUA URIAS JOSÉ DE OLIVEIRA, S/N	X		25,53	100
	41	168 JARDIM PAULISTA	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		63,80	270
	42	169 PARQUE DOS LAGOS	AL. DOMINGOS FERNANDES VILLAS BOAS	X		66,34	195
	43	170 EDUCANDÁRIO	AV. DR. OSCAR DE MOURA LACERDA, S/N	X		54,91	185
	44	171 DOM MIELLE	RUA JOSÉ ROBERTO RODRIGUES N.315	X		63,21	250
	45	172 BRANCA SALLES	AV. ANICETO DOS SANTOS	X		31,80	125

46	173 SÃO JOSÉ II	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		40,48	100
47	174 QUINTINO III	RUA IRIS RICCONI N.185	X		48,91	120
48	175 MONTE ALEGRE II	RUA TENENTE CATÃO ROXO N.2800	X		67,31	260
49	176 FLAMBOYANS	RUA ANTONIO ANDRADE FILHO N.195	X		44,19	100
50	177 VILA TECNOLÓGICA	RUA SABINO BRICHI N.176	X		55,78	125
51	178 PATRIARCA	AV. PATRIARCA N.2391	X		58,33	240
52	179 VILA ALBERTINA	RUA RIO MADEIRA N.474	X		57,24	125
53	180 LAGOINHA III	RUA EDSON SOUTO N.231	X		40,64	150
54	181 ITABIRITE	RUA CAPÃO BONITO N.995	X		57,91	100
55	183 ARLINDO LAGUNA	RUA GEORGES YANNI GUEBALA, FRENTE N.495	X		49,06	250
56	184 ALTO DA BOA VISTA	RUA DR. JOÃO PALMA GUIÃO N.19	X		57,51	350
57	187 PARQUE DAS OLIVEIRAS	ROD. ALEXANDRE BALBO, KM.333	X		68,89	260
58	188 POMPOLO III	RUA DEOLINDA CARVALHO BIM N.456	X		71,54	176
59	189 SANTA TERESA VII	RUA EDUARDO SOARES DE AZEVEDO N.290	X		58,30	170
60	190 JARDIM ZARA - BANANAL III	RUA FRANCISCA MARTINS	X		56,11	200
61	191 DIVA TARLA	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO	X		67,53	150
62	192 SIMIONI II	RUA STELA VERGINIO DOS SANTOS SIMONATO	X		53,54	125
63	193 RIBEIRANIA III	AV. MAURILIO BIAGI, C/ AV. PRES. KENNEDY	X		45,83	150
64	194 JARDIM JANDAIA II	RUA GERALDO GUSMÃO N.920	X		13,59	40
65	195 MONTEIRO LOBATO	AV. MONTEIRO LOBATO N.650	X		61,39	270
66	196 CADACAAAN	RUA OSWALDO ORTOLAN, S/N	X		52,30	176
67	197 CIANE I	AV. EDUARDO ANDREIA MATARAZZO	X		15,10	50
68	198 CIANE II	RUA EDUARDO LEITE, S/N	X		46,12	175
69	199 NOVA ALIANÇA SUL	RUA ANTONIO TUFIC ANTONIO, S/N	X		51,12	176
70	200 JARDIM IRAJA II	RUA THOMAZ NOGUEIRA GAIA, FRENTE N.2021	X		59,84	225
71	202 JARDIM BOTÂNICO	RUA PROF. PAULO DANTAS DA SILVA JUNIOR	X		61,88	290
72	203 JARDIM PAIVA	RUA MARIA APARECIDA RIZZO RUIZ, S/N	X		61,56	250
73	204 DISTRITO EMPRESARIAL	AV. ANTONIO DA COSTA SANTOS N.305	X		67,57	125
74	205 JARDIM INDEPENDÊNCIA	RUA HERCULANO DE FREITAS N.320	X		61,98	250
75	206 PQ. RIBEIRÃO PRETO	RUA MANOEL DE MACEDO N.1836	X		70,53	260
76	207 DELBOUX II	PRAÇA OCTAVIO GOLFETO	X		70,11	185
77	208 RECREIO ANHANGUERA II	RUA GERALDO GERALDI N.135	X		47,45	175
78	209 POMPOLO III	RUA PARANÁ C/ TRAVESSA PALMAS	X		37,97	260
79	210 AVELINO PALMA II	RODOVIA CÂNDIDO PORTINARI	X		53,58	150
80	211 PIRATININGA II	RUA PADRE MANOEL BERNARDES N.1651	X		54,67	325
81	212 SÃO BENTO II	AV. CAPITÃO SALOMÃO N.1850	X		40,38	176
82	213 PQ. SÃO SEBASTIÃO III	RUA PEDRO BARBIERI S/N	X		53,38	170
83	214 JARDIM AMÉRICA II	RUA DOS CATETOS, S/N	X		62,21	175
84	215 BONFIM PAULISTA IV	RUA JOÃO BATISTA MARTINS, S/N	X		49,49	180
85	216 SPLASH PARK	ROD. RIBEIRÃO PRETO - BONFIM PAULISTA	X		44,44	200
86	217 ALPHAVILLE	AV. OTAVIA M. ROMEU, S/N	X		18,48	50
87	218 MABEL III	AV. PRES. CASTELO BRANCO N.1272	X		48,76	250
88	219 ANTONIO PALOCCI II	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO N.715	X		63,29	155
89	220 JARDIM JOSÉ SAMPAIO JUNIOR	RUA FLORINDA BORDIZAN SAMPAIO N.379	X		64,45	200
90	221 JD. HEITOR RIGON	RUA SIND. LUIS ANTONIO CORREA, N.124	X		69,72	150
91	222 RIBEIRANIA IV	RUA AGOSTINHO VEIGA N.1005	X		42,77	160
92	223 ALTO DO CASTELO	AV. DR. CAROLINA MACIEL NOBREGA	X		-	165
93	224 FAZENDA INVERNADA	AV. DR. FILOMENO ALARIO, S/N	X		58,52	240
94	225 QUINTA DA PRIMAVERA	RUA LILIAN S.P. DE PADUA, S/N	X		56,14	270
95	226 FEAPAM II	AV. DR. LUIS AUGUSTO GOMES DE MATOS N. 4732	X		65,05	125
96	227 CORONEL CAMISÃO II	RUA MARQUES DA CRUZ, FRENTE N.1312	X		52,24	228
97	228 MANOEL PENNA II	RUA ARNALDO SEABRA		X	-	-
98	229 QUINTA DO GOLFE I	AV. LUIZ EDUARDO TOLEDO PRADO, S/N	X		66,43	225
99	230 AROEIRA II	AV. JOSE HERBET FALEIROS, N.521	X		66,80	225
100	231 CITY RIBEIRÃO II	RUA JORGE SAID N.120	X		50,99	185
101	234 JARDIM MARCHESI	AV. MANOEL ANTONIO DIAS N.836	X		52,77	260
102	235 JARDIM SANTA MARTHA	RUA JESUINO VICENTE DA SILVA, S/N	X		70,55	210
103	236 BANANAL IV	AV. BARÃO DO BANANAL, N.555	X		31,81	350
104	237 JARDIM JAMIL SEME CURY	AV. DRA. NADIR AGUIAR, S/N	X		58,19	350
105	238 PORTINARI III	AV. PROFA. DINA RIZZI	X		39,91	125
106	239 PORTAL DA MATA	RUA JOSÉ CANASSA	X		6,68	27,5
107	240 JARDIM RECREIO III	RUA GAMELEIRA, S/N	X		38,28	225
108	241 RECANTO DAS PALMEIRAS	AV. VILICO CANTARELI, S/N	X		37,64	200
109	242 QUINTINO IV	RUA ITU C/ RUA SANTA ROSA	X		48,48	185
110	243 PARQUE DOS LAGOS II	RUA MAURICIO SEIVA, 185	X		46,91	200
111	244 BOTAFOGO	AV. COSTABILE ROMANO	X		62,63	240
112	246 COSTA E SILVA II	RUA PINDAMONHANGABA N.905	X		59,13	220
113	249 ELPÍDIO GOMES II	RUA ELPÍDIO GOMES N.155	X		52,14	195
114	250 MAJOR RICARDO II	RUA JOSÉ LAGANA C/ RUA MONTE ALEGRE	X		34,14	220
115	251 PQ. SÃO SEBASTIÃO IV	RUA PEDRO BARBIERI	X		60,64	290
116	252 SAMU	RUA JOÃO NUTTI N. 1066		X	-	165
117	253 CAVA DO BOSQUE II	RUA CAMILO DE MATOS N.620		X	-	150
118	255 SAID SOBRINHO	RUA ISALTINA PRIMO N.907		X	-	150
VAZÃO TOTAL ANUAL (Us)					5.153,57	

Fonte: DAERP, 2019

Esses poços são responsáveis pela produção de 100% da água consumida no município (Figura 27), tornando-o totalmente dependente do Aquífero Guarani, ficando suscetível a eventuais interrupções de fornecimento, em virtude de eventual contaminação do aquífero, ou mesmo a diminuição de sua disponibilidade hídrica, conforme vem sendo observada ao longo do tempo.

Figura 27: Detalhe do Poço nº 206 em operação com vazão de 70,53 l/s (253,91 m³/h) instalado no Parque Ribeirão Preto



Fonte: DAERP, 2019

5.1.2 Reservatórios

A topografia da cidade possibilita a locação de centros de reservação em pontos altos, adequados para a distribuição da água de forma segura e racional.

Em alguns locais, a implantação dos reservatórios se deu sem ter sido reservada área suficiente para expansão, o que tem se mostrado um problema quanto à sua ampliação, demandando a interligação com outros setores de abastecimento para suprir o fornecimento de água em regiões específicas.

Devido às necessidades localizadas de consumo em determinadas regiões, aliada à baixa e má utilização dos reservatórios, aproximadamente 80(oitenta) dos 118 (cento e

dezoito) poços do DAERP, injetam na rede de distribuição. Existem atualmente 113 (cento e treze) reservatórios públicos na cidade, dentre eles, 11 não estão em operação, que armazenam um volume total de 154.240 m³ (Figura 28).

Figura 28: Reservatórios em Concreto Armado, apoiado de 2.000 m³ e elevado de 500 m³, no Parque Ribeirão Preto



Fonte: DAERP, 2019

Na Tabela 6, é apresentado a relação dos 113 reservatórios instalados no sistema de distribuição, que estão localizados em diversas regiões da cidade, sua situação e capacidade de armazenamento.

Tabela 6: Relação dos Reservatórios existentes no Sistema de Abastecimento de Ribeirão Preto

RELAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA POTÁVEL						
MUNICÍPIO: RIBEIRÃO PRETO						
PRESTADOR: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE RIBEIRÃO PRETO						
	Nº	NOME	ENDEREÇO	SITUAÇÃO		VOLUME TOTAL (M³)
				ATIVA	INOPERANTE	
RESERVATÓRIOS	1	BONFIM PAULISTA - APOIADO	RUA JOSÉ DA SILVA	X		500
	2	BONFIM PAULISTA - SEMI ENTERRADO	RUA JOSÉ DA SILVA		X	200
	3	09 KAISER	AV. FABIO BARRETO C/ RUA CASTRO ALVES	X		5.000
	4	104 SUMARÉ - APOIADO	RUA DR. JOÃO PALMA GUIÃO N.19	X		9.000
	5	105 SUMARÉ - ELEVADO	RUA DR. JOÃO PALMA GUIÃO N.19	X		300
	6	114 RECREIO INTERNACIONAL - ELEVADO	RUA D	X		50
	7	123 VILA TIBERIO	RUA VINTE E HUM DE ABRIL		X	500
	8	124 SCHMIDT - APOIADO	RUA MARECHAL DEODORO N.901	X		1000
	9	125 SCHMIDT - ENTERRADO	RUA MARECHAL DEODORO N.901	X		1300
	10	143 SALDANHA MARINHO - APOIADO	RUA SALDANHA MARINHO	X		1300
	11	149 PALMARES II - APOIADO 1	RUA VIRGILIO DE CARVALHO NEVES NETO	X		2000
	12	149 PALMARES II - APOIADO 2	RUA VIRGILIO DE CARVALHO NEVES NETO	X		2000
	13	151 C.D.H.U.	AV. INDEPENDENCIA, S/N	X		2000
	14	161 JOÃO FIUSA - APOIADO	AV. JOÃO FIUSA C/ RUA CARLOS CONSONI	X		2000
	15	161 JOÃO FIUSA - APOIADO	AV. JOÃO FIUSA C/ RUA CARLOS CONSONI	X		2000
	16	161 JOÃO FIUSA - APOIADO	AV. JOÃO FIUSA C/ RUA CARLOS CONSONI	X		2000
	17	161 JOÃO FIUSA - ELEVADO	AV. JOÃO FIUSA C/ RUA CARLOS CONSONI		X	280
	18	163 MARIA DAS GRAÇAS - ELEVADO	AV. CASPER LIBERO PROX. N. 205	X		500
	19	165 JARDIM PRES. DUTRA III - APOIADO	RUA AMADEU GIACHETTO N.371	X		5000
	20	165 JARDIM PRES. DUTRA III - APOIADO	RUA AMADEU GIACHETTO N.371	X		1000
	21	165 JARDIM PRES. DUTRA III - APOIADO	RUA AMADEU GIACHETTO N.371	X		500
	22	166 ROYAL PARK - APOIADO	RUA URIAS JOSÉ DE OLIVEIRA, S/N	X		2000
	23	167 ROYAL PARK - ELEVADO	RUA URIAS JOSÉ DE OLIVEIRA, S/N		X	180
	24	168 JARDIM PAULISTA - APOIADO	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		500
	25	168 JARDIM PAULISTA - APOIADO	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		500
	26	168 JARDIM PAULISTA - APOIADO	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		500
	27	168 JARDIM PAULISTA - APOIADO	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		2000
	28	168 JARDIM PAULISTA - ELEVADO	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		500
	29	169 PARQUE DOS LAGOS - APOIADO	AL. DOMINGOS FERNANDES VILLAS BOAS	X		5000
	30	170 PARQUE DOS LAGOS - APOIADO	AL. DOMINGOS FERNANDES VILLAS BOAS	X		1000
	31	170 EDUCANDÁRIO - APOIADO	AV. DR. OSCAR DE MOURA LACERDA	X		3000
	32	170 EDUCANDÁRIO - APOIADO	AV. DR. OSCAR DE MOURA LACERDA	X		2000
	33	171 DOM MIELLE - APOIADO	RUA JOSÉ ROBERTO RODRIGUES N.315	X		1000
	34	172 DOM MIELLE - APOIADO	RUA JOSÉ ROBERTO RODRIGUES N.316	X		1000
	35	173 SÃO JOSÉ II - APOIADO	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		500
	36	173 SÃO JOSÉ II - APOIADO	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		250
	37	173 SÃO JOSÉ II - ELEVADO	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		250
	38	173 SÃO JOSÉ II - APOIADO	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		5000
	39	175 MONTE ALEGRE II - APOIADO	RUA TENENTE CATÃO ROXO N.2800	X		500
	40	175 MONTE ALEGRE II - APOIADO	RUA TENENTE CATÃO ROXO N.2800	X		500
	41	175 MONTE ALEGRE II - APOIADO	RUA TENENTE CATÃO ROXO N.2800	X		1000
	42	175 MONTE ALEGRE II - APOIADO	RUA TENENTE CATÃO ROXO N.2800	X		2000
	43	176 FLAMBOYANS - APOIADO	RUA ANTONIO ANDRADE FILHO N.195	X		1000
	44	191 DIVA TARLA - APOIADO	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO	X		1500
	45	191 DIVA TARLA - APOIADO	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO	X		2000
	46	191 DIVA TARLA - APOIADO	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO	X		2500
	47	191 DIVA TARLA - ELEVADO	RUA TENENTE ROSANA RIBEIRO RESTINI	X		200
	48	195 MONTEIRO LOBATO - APOIADO	AV. MONTEIRO LOBATO N.650	X		1000
	49	199 NOVA ALIANÇA SUL - APOIADO	RUA ANTONIO TUFIC ANTONIO, S/N	X		1000
	50	199 NOVA ALIANÇA SUL - ELEVADO	RUA ANTONIO TUFIC ANTONIO, S/N	X		200
	51	204 DISTRITO EMPRESARIAL - APOIADO	AV. ANTONIO DA COSTA SANTOS N.305	X		1500
	52	204 DISTRITO EMPRESARIAL - ELEVADO	AV. ANTONIO DA COSTA SANTOS N.305	X		200
	53	206 PQ. RIBEIRÃO PRETO - APOIADO	RUA MANOEL DE MACEDO N.1836	X		2000
	54	206 PQ. RIBEIRÃO PRETO - ELEVADO	RUA MANOEL DE MACEDO N.1836	X		500
	55	207 DELBOUX II - ELEVADO	PRAÇA OCTAVIO GOLFETO	X		700
	56	209 POMPOLO III - ENTERRADO	RUA PARANÁ C/ TRAVESSA PALMAS	X		1800
	57	209 POMPOLO III - APOIADO	RUA PARANÁ C/ TRAVESSA PALMAS	X		2000

RESERVATÓRIOS	58	210 AVELINO PALMA II - APOIADO	RODOVIA CÂNDIDO PORTINARI	X		2000
	59	210 AVELINO PALMA II - APOIADO	RODOVIA CÂNDIDO PORTINARI		X	2000
	60	210 AVELINO PALMA II - APOIADO	RODOVIA CÂNDIDO PORTINARI	X		5000
	61	211 PIRATININGA II - APOIADO	RUA PADRE MANOEL BERNARDES N.1651	X		1000
	62	211 PIRATININGA II - APOIADO	RUA PADRE MANOEL BERNARDES N.1651	X		2000
	63	211 PIRATININGA II - SEMI ENTERRADO	RUA PADRE MANOEL BERNARDES N.1651		X	500
	64	212 SÃO BENTO II - APOIADO	AV. CAPITÃO SALOMÃO N.1850		X	4000
	65	213 PQ. SÃO SEBASTIÃO III - APOIADO	RUA PEDRO BARBIERI S/N		X	80
	66	215 BONFIM PAULISTA IV - APOIADO	RUA JOÃO BATISTA MARTINS, S/N	X		5000
	67	215 BONFIM PAULISTA IV - ELEVADO	RUA JOÃO BATISTA MARTINS, S/N	X		500
	68	217 ALPHAVILLE - APOIADO	AV. OTAVIA M. ROMEU, S/N	X		1000
	69	217 ALPHAVILLE - APOIADO	AV. OTAVIA M. ROMEU, S/N	X		500
	70	217 ALPHAVILLE - APOIADO	RUA ALAOR DE BARROS, S/N	X		500
	71	218 MABEL III - ELEVADO	AV. PRES. CASTELO BRANCO N.1272	X		
	72	220 JARDIM JOSÉ SAMPAIO JUNIOR APOIADO	RUA FLORINDA BORDIZAN SAMPAIO N.379	X		5000
	73	223 ALTO DO CASTELO - APOIADO	RUA AUGUSTO MONTE CASSIANO S/N	X		350
	74	224 FAZENDA INVERNADA - APOIADO	AV. DR. FILOMENO ALARIO, S/N	X		2000
	75	224 FAZENDA INVERNADA - APOIADO	AV. DR. FILOMENO ALARIO, S/N		X	500
	76	225 QUINTA DA PRIMAVERA - APOIADO	AV. HERACLITO FONTOURA SOBRAL PINTO	X		2500
	77	225 QUINTA DA PRIMAVERA - APOIADO	AV. HERACLITO FONTOURA SOBRAL PINTO	X		2500
	78	225 QUINTA DA PRIMAVERA - ELEVADO	AV. HERACLITO FONTOURA SOBRAL PINTO	X		500
	79	SAINT GERARD - APOIADO	RUA PAULO R. DE OLIVEIRA, S/N	X		500
	80	SAINT GERARD - APOIADO	RUA GESSI AMARO DA SILVA MORENO	X		3000
	81	SAINT GERARD - ELEVADO	RUA GESSI AMARO DA SILVA MORENO	X		50
	82	227 CORONEL CAMISÃO II - APOIADO	RUA MARQUES DA CRUZ, FRENTE N.1312	X		2000
	83	227 CORONEL CAMISÃO II - APOIADO	RUA MARQUES DA CRUZ, FRENTE N.1312	X		2000
	84	227 CORONEL CAMISÃO II - APOIADO	RUA MARQUES DA CRUZ, FRENTE N.1312	X		700
	85	MARANHÃO - APOIADO	RUA MARANHÃO C/ RUA CORUMBA	X		2000
	86	229 QUINTA DO GOLFE I - APOIADO	AV. LUIZ EDUARDO TOLEDO PRADO, S/N		X	500
	87	229 QUINTA DO GOLFE I - APOIADO	AV. LUIZ EDUARDO TOLEDO PRADO, S/N	X		1500
	88	231 CITY RIBEIRÃO II - SEMI ENTERRADO	RUA JORGE SAID N.120	X		250
	89	231 CITY RIBEIRÃO II - APOIADO	RUA MARIO AUTUORI	X		2000
	90	231 CITY RIBEIRÃO II - APOIADO	RUA MARIO AUTUORI	X		2000
	91	231 CITY RIBEIRÃO II - ELEVADO	RUA MARIO AUTUORI	X		300
	92	235 JARDIM SANTA MARTHA - APOIADO	RUA JESUINO VICENTE DA SILVA, S/N	X		2000
	93	235 JARDIM SANTA MARTHA - ELEVADO	RUA JESUINO VICENTE DA SILVA, S/N	X		85
	94	237 JARDIM JAMIL SEME CURY - APOIADO	AV. DRA. NADIR AGUIAR N.1965	X		1000
	95	237 JARDIM JAMIL SEME CURY - APOIADO	AV. DRA. NADIR AGUIAR N.1965	X		2500
	96	238 PORTINARI III - APOIADO	RUA ARNALDO COPPEDE N.210		X	500
	97	238 PORTINARI III - ELEVADO	RUA ARNALDO COPPEDE N.210	X		500
	98	239 PORTAL DA MATA - APOIADO	RUA JOSÉ CANASSA	X		250
	99	MARIA CASAGRANDE LOPES - ELEVADO	AV. ETORE E AURORA CORAUCCI	X		200
	100	CASTELO BRANCO NOVO - APOIADO	RUA DOM LUIZ DO AMARAL MOUSINHO	X		1000
	101	CASTELO BRANCO NOVO - APOIADO	RUA DOM LUIZ DO AMARAL MOUSINHO	X		2000
	102	CASTELO BRANCO NOVO - APOIADO	RUA DOM LUIZ DO AMARAL MOUSINHO	X		2000
	103	240 JARDIM RECREIO III - SEMI ENTERRADO	RUA GAMELEIRA, S/N	X		500
	104	240 JARDIM RECREIO III - ELEVADO	RUA GAMELEIRA, S/N	X		80
	105	243 PARQUE DOS LAGOS II - APOIADO	RUA MAURICIO SEIVA, 185	X		1000
	106	243 PARQUE DOS LAGOS II - APOIADO	RUA MAURICIO SEIVA, 185	X		5000
	107	255 SAID SOBRINHO - APOIADO	RUA ISALTINA PRIMO N.907	X		500
	108	255 SAID SOBRINHO - APOIADO	RUA ISALTINA PRIMO N.907	X		2000
	109	255 SAID SOBRINHO - ELEVADO	RUA ISALTINA PRIMO N.907	X		50
	110	SANTA CECILIA - APOIADO	RUA ANA LOPES PRATES, S/N	X		300
	111	SANTA CECILIA - ELEVADO	RUA ANA LOPES PRATES, S/N	X		75
	112	PLANALTO VERDE - APOIADO	RUA OSORIO ZAMBONINI, S/N	X		1000
	113	PLANALTO VERDE - APOIADO	RUA OSORIO ZAMBONINI, S/N	X		1000
			TOTAL DE RESERVAÇÃO			154.240

Fonte: DAERP, 2019

Neste sistema há presença de reservatórios de jusante, ou seja, são reservatórios que enchem somente quando o sistema está pressurizado o suficiente. Estes reservatórios são necessários para manter a pressão da rede em momentos de maior consumo. Na configuração atual do sistema, os reservatórios não funcionam na sua capacidade máxima e os centros de reserva apresentaram problemas de infiltrações e rachaduras que podem comprometer a qualidade da água armazenada. Não existem sistemas de contingenciamento entre centros de reserva e sistemas isolados, ou seja, se um sistema falhar a área de abastecimento ficará comprometida até a conclusão dos reparos.

Com isso, afeta diretamente a distribuição dos outros bairros, desabastecendo outras áreas elevadas. A localização da maioria dos reservatórios se dá nas regiões mais elevadas da cidade e mesmo assim observam-se muitos sistemas de recalque operando com pressões elevadas e sem uma área bem definida. A disposição dos reservatórios facilita o abastecimento por gravidade na maior parte da rede de distribuição, porém o grande desnível entre a parte mais baixa da rede e o reservatório geram pressões elevadas.

5.1.3 Estação Elevatória de Água Tratada

Foram identificados 61 sistemas de bombeamento, sendo que 4 estão inoperantes no momento (Tabela 7). Constituem-se de tanques de reunião que armazenam temporariamente a vazão dos poços e recalcam para distribuição aos setores e centros de reserva. São sistema com bombas reservas para eventuais falhas, porém, ainda não possuem sistema de automação (Figura 29).

Figura 29: Estação Elevatória de Água Tratada do Poço Flamboyant



Fonte: DAERP, 2019

Tabela 7: Relação de Estações Elevatórias de Água Tratada em Ribeirão Preto

RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA TRATADA						
MUNICÍPIO: RIBEIRÃO PRETO						
PRESTADOR: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE RIBEIRÃO PRETO						
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA - EEAT						
	Nº	NOME	ENDEREÇO	SITUAÇÃO		BOMBAS POTÊNCIA TOTAL (CV)
				ATIV	INOOPERANT	
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA	1	09 KAISER	AV. FABIO BARRETO C/ RUA CASTRO ALVES	X		100
	2	58 IGREJINHA	RUA JOÃO BIM N.1769	X		100
	3	MATADOURO	RUA LUIZ GAMA C/ RUA CAPITÃO SALOMÃO	X		150
	4	119 TANQUINHO	RUA TURMALINA, FRENTE N.1140	X		175
	5	BAMBU	AV. DR. FRANCISCO JUNQUEIRA N.1130	X		100
	6	104 SUMARÉ	AV. DR. JOÃO PALMA GUIÃO N.190	X		20
	7	115 ARNALDO VICTALIANO BOOSTER	RUA ARNALDO VICTALIANO N.1070	X		100
	8	120 UNAERP BOOSTER	RUA PEDRO PEGORARO N.300	X		50
	9	124 SCHMIDT	RUA MARECHAL DEODORO N.901	X		100
	10	127 JARDIM CANADA	AV. BRAZ OLAIÁ ACOSTA N.870	X		400
	11	137 ALEXANDRE BALBO	RUA MANOEL GARCIA, 31	X		200
	12	147 VIA DO CAFÉ	AV. DO CAFÉ N.1597	X		200
	13	155 VILA AUGUSTA	RUA RIO FORMOSO C/ RUA MANDAGUARI	X		50
	14	161 JOÃO FIUSA	RUA GIUSEPPE CILENTO N.340	X		50
	15	165 JARDIM PRES. DUTRA III	RUA AMADEU GIACHETTO N.371	X		200
	16	166 ROYAL PARK	RUA URIAS JOSÉ DE OLIVEIRA N.550		X	
	17	168 JARDIM PAULISTA	AV. TREZE DE MAIO N.555	X		75
	18	171 DOM MIELLE	RUA JOSÉ ROBERTO RODRIGUES N.315	X		75
	19	173 SÃO JOSÉ	RUA FRANCISCO LORIA N.83	X		100
	20	174 QUINTINO III	RUA IRIS RICCIONI N.185	X		200
	21	176 FLAMBOYANS	RUA ANTONIO FERREIRA DE ANDRADE FILHO N.600	X		100
	22	180 LAGOINHA III	RUA EDSON SOUTO N.231	X		150
	23	188 POMPOLO III	RUA DEOLINDA CARVALHO BIM N.456	X		200
	24	189 SANTA TERESA VII	RUA EDUARDO SOARES DE AZEVEDO N.291	X		400
	25	193 RIBEIRANIA III BOOSTER	AV. MAURILIO BIAGI, C/ AV. PRES. KENNEDY	X		125
	26	199 NOVA ALIANÇA SUL	RUA ANTONIO TUFIC ANTONIO, S/N	X		7,5
	27	204 DISTRITO EMPRESARIAL ELEVADO	AV. ANTONIO DA COSTA SANTOS N.305	X		7,5
	28	206 PQ. RIBEIRÃO PRETO	RUA MANOEL DE MACEDO N.1836		X	100
	29	PQ. RIBEIRÃO PRETO ELEVADO	RUA MANOEL DE MACEDO N.1836	X		60
	30	207 DELBOUX II	PRAÇA OCTAVIO GOLFETO	X		40
	31	209 POMPOLO III	RUA PARANÁ N.1761	X		20
	32	211 PIRATININGA II	RUA PADRE MANOEL BERNARDES N.1651	X		50
	33	214 JARDIM AMÉRICA I	RUA CEL. ARNOUD ANTUNES MACIEL N.85	X		300
	34	214 JARDIM AMÉRICA II	RUA CEL. ARNOUD ANTUNES MACIEL N.85	X		200
	35	217 ALPHAVILLE 1	AV. OTAVIA M. ROMEU, S/N	X		25
	36	217 ALPHAVILLE 2	AV. OTAVIA M. ROMEU, S/N	X		12,5
	37	ALPHAVILLE 3	R. DR. PAULO ROBERTO CARLUCCI, S/N	X		5
	38	220 JARDIM JOSÉ SAMPAIO JUNIOR	RUA FLORINDA BORDIZAN SAMPAIO N.379	X		125
	39	225 QUINTA DA PRIMAVERA	RUA LILIAN S.P. DE PADUA, S/N		X	15
	40	227 CORONEL CAMISÃO II	RUA MARQUES DA CRUZ N.1311	X		200
	41	231 CITY RIBEIRÃO II	RUA JORGE SAID N.120	X		40
	42	235 JARDIM SANTA MARTHA	RUA JESUINO VICENTE DA SILVA, S/N	X		5
	43	JARDIM SAN PEDRO	RUA JESUINO VICENTE DA SILVA, S/N	X		20
	44	239 PORTAL DA MATA	RUA JOSÉ CANASSA, C/ RUA ELIODORO PARAGUASS	X		4
	45	JARDIM ITAU	RUA GUATAMBÚ N.1050	X		50
	46	240 JARDIM RECREIO III	RUA GAMELEIRA, S/N	X		12,5
	47	243 PARQUE DOS LAGOS II	RUA MAURICIO SEIVA, 185	X		25
	48	255 SAID SOBRINHO ELEVADO	RUA ISALTINA PRIMO N.907	X		10
	49	255 SAID SOBRINHO	RUA ISALTINA PRIMO N.907	X		12,5
	50	JUNQUEIRA	RUA SALDANHA MARINHO N.1171	X		200
	51	SAINT GEHARD	ALAMEDA PAULO RESENDE DE OLIVEIRA	X		30
	52	SANTA CECÍLIA	RUA ANA LOPES PRATES	X		20
	53	SÃO BENTO	RUA CAPITÃO SALOMÃO N.1850	X		30
	54	DIVA TARLA	RUA NAIR ESTRADA TRUIJO, 706	X		75
	55	VILA TECNOLÓGICA BOOSTER	RUA SABINO BRICHI, 176	X		100
	56	BONFIM PAULISTA	RUA JOÃO BATISTA MARTINS, 72	X		50
	57	BRANCA SALES BOOSTER	AVENIDA ANICETO DOS SANTOS, 1143	X		100
	58	LAGOINHA II BOOSTER	RUA MARECHAL MASCARENHAS DE MORAES, 652	X		75
	59	CASAGRANDE	AV. ETORE E AURORA CORAUCCI	X		200
	60	ARLINDO LAGUNA BOOSTER	RUA GEORGES YANNI GUEBALA, FRENTE N.495		X	60
	61	VILA VIRGINIA BOOSTER	RUA NABUCO DE ARAUJO N.162	X		100

Fonte: DAERP, 2019

5.1.4 Redes de Distribuição

A água proveniente dos poços é encaminhada através de adutoras para serem distribuídas. O DAERP possui aproximadamente 2.350 Km (dois mil, trezentos e cinquenta quilômetros) de redes de água potável, distribuídas de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Relação das Redes de Abastecimento de Água Potável em Ribeirão Preto

RELAÇÃO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL									
SETOR	TOTAL DE REDES	DIÂMETRO (POL.)							
		2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"
CENTRAL	50.095,65	25.461,15	6.003,80	2.091,35	7.431,72	3.232,54	406,42	4.479,40	989,27
LESTE	658.783,47	529.643,61	32.414,58	43.360,95	40.651,91	39.707,63	8.314,71	13.796,46	989,27
NORTE	317.976,69	253.635,72	7.847,17	11.583,08	16.821,41	16.994,11	2.836,00	7.667,20	592,00
OESTE	815.064,37	629.508,08	33.408,90	48.131,90	39.108,49	33.642,52	17.452,24	10.290,00	
SUL	508.049,13	339.815,97	44.373,58	36.446,23	31.230,36	27.483,17	9.687,41	12.105,41	6.907,00
TOTAL GERAL	2.349.969,31	1.778.064,53	124.048,03	141.613,51	135.243,89	121.059,97	38.696,78	48.338,47	9.477,54
PORCENTAGEM	100,00%	75,66%	5,28%	6,03%	5,76%	5,15%	1,65%	2,06%	0,40%

Fonte: DAERP, 2019

O sistema de distribuição existente (Figura 30) está dividido em 40 setores, no entanto, não são completamente isolados entre si, sendo que atualmente, devido ao crescimento desordenado, e expansão da rede ao longo do tempo sem o adequado planejamento, verifica-se que em diversos locais, a interligação entre os setores interfere no controle de pressões e vazões nas redes ocasionando rompimentos e vazamentos nas tubulações.

Figura 30: Assentamento de Rede de Distribuição de Água Potável



Fonte: DAERP, 2019

5.1.5 Macromedidores e Micromedidores de Vazão

Atualmente o município possui 203.466 micromedidores instalados nas residências, comércios, indústrias e locais públicos, com idade média útil de 5 anos. No ano de 2019 foram substituídos aproximadamente 80.000 de um total de 137.000 unidades adquiridas, como parte da redução das perdas aparentes, pois com o passar do tempo de utilização do equipamento, ocorrem problemas de submedição, que giram em torno de 20%.

Existem instalados 118 macromedidores de vazão nos poços, sendo que 93% deles estão em operação (Figuras 31 e 32). Atualmente a autarquia criou uma equipe com capacitação para que sejam feitas as manutenções devidas, não dependendo de contratação de empresas terceirizadas para isso.

Figura 31: Macromedidor de Vazão Instalado no Poço Schimidt nº 124



Fonte: DAERP, 2019

Figura 32: Equipamento secundário do macromedidor onde é feito os dados de leitura



Fonte: DAERP, 2019

Para o programa de perdas, será feita a instalação de macromedidores de vazão em todos os reservatórios existentes, e com isso, ter controle melhor sobre possíveis vazamentos.

Com os dados alcançados, fez-se o balanço hídrico do município referente ao ano de 2019, onde obteve-se alguns parâmetros a serem usados para o início da tomada de decisões para controle e redução das perdas de água (Quadro 7).

Quadro 7: Balanço Hídrico do município de Ribeirão Preto para o ano de 2019

SISTEMA: Poços - Águas Subterrâneas		DMC: Ribeirão Preto		Ano: 2019	
ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO (SIMULAÇÕES RÁPIDAS) <small>Estimativa de perdas aparentes para obter as perdas reais DADOS DE ENTRADA NAS CÉLULAS BRANCAS</small>					
População abastecida: 701.297		Número de ligações ativas de água: 203.466			
Vol. Entrada (macro medido) / Pop. Abastecida: ...	(qm) ... Consumo médio "per capita": (L/hab/dia) 500	Consumo efetivo Autorizado: (L/hab/dia) 235	Tempo médio de Fornecimento de água a o dia (horas / dia): 24,00		
Volume de Entrada Anual (VE) 127.877.530 m ³ /ano 1.722 L/lq./dia 600 L/hab/dia 4.056 Lis	CONSUMO AUTORIZADO 60.280.760 m ³ /ano 812 L/lq./dia 236 L/hab/dia 1.811 Lis	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO		Consumo Micro medido	
		55.972.963 m ³ /ano 764 L/lq./dia 218 L/hab/dia		43.743.147 m ³ /ano Consumo Não Medido (estimado) 12.229.816 m ³ /ano	
Volume de Água Faturada 55.972.963 m ³ /ano	VOLUME DE PERDAS DE ÁGUA 67.596.770 m ³ /ano 810 L/lq./dia 284 L/hab/dia 52,9% do VE	CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO		Usos próprios m ³ /ano %do VE:	
		4.307.797 m ³ /ano 68,01 L/lq./dia 18,88 L/hab/dia		3.607.797 2,82%	
		Usos Sociais m ³ /ano %do VE:		Volume de Água Não Faturada (Perdas de Faturamento) 71.904.567 m ³ /ano 888 L/lq./dia 281 L/hab/dia 2.280 Lis 56,2% do VE	
		TOTAL DE PERDAS APARENTES		(% P.A) Submedição m ³ /ano % do Vol. Cons	
		20.279.031 m ³ /ano 30,0%		16.223.225 27,1%	
		33,8% do Consumo Autorizado		(% P.A) Fraudes m ³ /ano % do VE	
		76 L/hab/dia		2.027.903 1,8%	
		278 L/lq./dia		(% P.A) Clandestinos m ³ /ano % do VE	
		15,86% do VE:		2.027.903 1,8%	
		TOTAL DE PERDAS REAIS		Vazamentos em ramais m ³ /ano % de a P. Real	
		47.317.739 m ³ /ano 70,0%		42.822.554 90,5%	
		637 L/lq./dia Q&P		Vazamentos em redes m ³ /ano % de a P. Real	
		2,31 m ³ /km rede.hora Q&P		4.258.597 9,0%	
		37,00% do VE:		Vazamentos em tanques m ³ /ano % de a P. Real	
				236.589 0,5%	
		Compr. Rede (km) 2.338,52			
OBSERVAÇÕES: 1º Perdas aparentes se referem basicamente a submedição de consumos, falhas de cadastro e as fraudes nas ligações e hidrômetros. 2º Nesta abordagem do balanço hídrico, as perdas reais correspondem a vazamentos em reservatórios, redes e ramais nos sistemas de distribuição.					
INDICADORES DE DESEMPENHO					
Índice de Geral Perdas (IP):		52,9%			
Índice de Perdas na Distribuição (IPD):		910,2 L / Ligação x dia			
PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA - PMS (mca):		45,5 ... Medição			
PRAI - PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS (m ³ /ano):		3.402.315			
ILI - ÍNDICE DE VAZAMENTOS NA INFRAESTRUTURA:		13,91			

Fonte: Adaptado de DAERP, 2019

O cálculo do balanço hídrico é o principal modelo aplicado para avaliação, controle e redução das perdas em um sistema de abastecimento.

Os dados coletados de volume sobre o fluxo e usos da água utilizados em diversas situações, como por exemplo, água produzida, consumida e estimada, utilizada para usos próprios, como limpeza de reservatórios e redes, consumo não autorizado como fraudes e

ligações clandestinas e vazamentos, foram inseridos na planilha, permitindo a quantificação e tipificação das perdas, e a geração de indicadores de desempenho operacional apropriados.

Podemos analisar através do Balanço Hídrico, que no ano de 2019, o município possuía 203.466 ligações ativas, sendo formadas por 320.193 economias, com um volume micromedido de 55.972.963 m³/ano.

Esses dados são enviados pelos prestadores dos serviços de água e esgotos de todo território nacional, anualmente para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

O SNIS é um sistema que reúne informações e indicadores sobre a prestação dos serviços de Água, Esgotos, manejo de Resíduos Sólidos e manejo de Águas Pluviais, provenientes dos prestadores que operam no Brasil.

De acordo com dados do SNIS 2019, o município possui índice de abastecimento total de 99,74%, sendo que 100% da população urbana é atendida.

Possui consumo médio per capita de 230,69 l/hab/dia, valor elevado comparando a outras regiões, sendo que a média brasileira é de 154,90 l/hab/dia e índice de perdas na distribuição de 52,90%, muito alto até mesmo para padrões brasileiros, cuja média é de 38,50% (Tabela 9).

Tabela 9: Resumo do Diagnóstico dos Serviços de Água publicado pelo SNIS, referente ao ano de 2019

Diagnóstico dos Serviços de Água - SNIS									
Ligações de Água	Economias de Água	Economias Residenciais de Água	Volume de Água Produzido (m ³ /ano)	Volume de Água Consumido (m ³ /ano)	Índice de Atendimento Total de Água	Índice de Atendimento Urbano de Água	Consumo Médio Per Capita (l/hab.dia)	Índice de Perdas na Distribuição	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/ligação)
203.466	320.193	284.583	127.877.530	55.972.380	99,74%	100,00%	230,69	52,90%	894,17

Fonte: SNIS, 2019

Com isso, tem-se parâmetros para o embasamento do Programa de Gestão, Controle e Redução das Perdas de água proposto pelo DAERP.

5.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

Primeiramente, precisa-se ter em mente que estimativas de projeção populacional são normalmente bastante complexas, onde há a interação de diversas variáveis, as quais nem todas podem ser quantificáveis. Muitas vezes eventos inesperados podem alterar totalmente a trajetória de crescimento prevista por métodos puramente estatísticos, ainda mais ao se considerar um horizonte de planejamento amplo como o estabelecido aqui.

Com os dados do IBGE, obteve-se o crescimento populacional do município de Ribeirão Preto até o último senso populacional feito no ano de 2010, conforme Quadro 8.

Quadro 8: Crescimento populacional do Município de Ribeirão Preto entre 1960 e 2010

CRESCIMENTO POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO					
Ano	População Total (hab)	Taxa de Cresc. da Pop. Total (% a.a)	População Urbana (hab)	População Urbana (%)	Taxa de Cresc. da Pop. Urbana (% a.a)
1960	147361	-	116153	78,82%	-
1970	212879	3,75%	191472	89,94%	5,13%
1980	318496	4,11%	300828	94,45%	4,62%
1991	456252	3,32%	446619	97,89%	3,66%
2000	504923	1,13%	493665	97,77%	1,12%
2010	604682	1,82%	591472	97,82%	1,82%

Fonte: IBGE 2010

Aplicando os métodos para o cálculo da projeção populacional adotados, juntamente aos dados históricos do município, obteve-se as projeções populacionais urbanas para o ano de 2034.

Utilizando-se o Método Aritmético, calculou-se uma projeção populacional final de 826.209 habitantes, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Estimativa populacional do Município de Ribeirão Preto pelo método aritmético até o ano de 2034

ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO MÉTODO ARITMÉTICO			
Ano	População Urbana (hab)	Consumo Médio Per Capita (L/hab.dia) (1)	Demanda Hídrica (m³/ano) (2)
2011	601253	256,10	73.063.897
2012	611033	291,00	84.371.186
2013	620814	287,44	84.673.009
2014	630595	290,15	86.817.880
2015	640376	278,73	84.694.389
2016	650156	242,29	74.746.251
2017	659937	215,93	67.616.333
2018	669718	225,74	71.735.883
2019	679498	230,69	74.379.518
2020	689279	217,00	70.972.646
2021	699060	217,00	71.979.731
2022	708840	217,00	72.986.815
2023	718621	217,00	73.993.899
2024	728402	217,00	75.000.984
2025	738183	217,00	76.008.068
2026	747963	217,00	77.015.153
2027	757744	217,00	78.022.237
2028	767525	217,00	79.029.322
2029	777305	217,00	80.036.406
2030	787086	217,00	81.043.491
2031	796867	217,00	82.050.575
2032	806647	217,00	83.057.660
2033	816428	217,00	84.064.744
2034	826209	217,00	85.071.828

(1) Consumo médio per capita. A partir do ano de 2020 foi considerado o valor usado para o programa de redução e controle de perdas do DAERP

(2) volume de água necessário para abastecimento incluídas as perdas de 30%

Fonte: Autor, 2020

Utilizando-se o Método Geométrico, calculou-se uma projeção populacional final de 912.722 habitantes, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11: Estimativa populacional de Ribeirão Preto pelo método geométrico até o ano de 2034

ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRÃO PRETO: MÉTODO GEOMÉTRICO			
Ano	População Urbana (hab)	Consumo Médio Per Capita (L/hab.dia) (1)	Demanda Hídrica (m³/ano) (2)
2011	602260	256,10	73.186.364
2012	613246	291,00	84.676.669
2013	624431	287,44	85.166.376
2014	635821	290,15	87.537.416
2015	647419	278,73	85.625.880
2016	659227	242,29	75.789.145
2017	671252	215,93	68.775.648
2018	683496	225,74	73.211.686
2019	695963	230,69	76.181.732
2020	708657	217,00	72.967.924
2021	721583	217,00	74.298.865
2022	734745	217,00	75.654.082
2023	748146	217,00	77.034.018
2024	761793	217,00	78.439.124
2025	775688	217,00	79.869.859
2026	789836	217,00	81.326.692
2027	804243	217,00	82.810.096
2028	818913	217,00	84.320.559
2029	833850	217,00	85.858.572
2030	849059	217,00	87.424.639
2031	864546	217,00	89.019.271
2032	880315	217,00	90.642.989
2033	896372	217,00	92.296.323
2034	912722	217,00	93.979.815

(1) Consumo médio per capita. A partir do ano de 2020 foi considerado o valor usado para o programa de redução e controle de perdas do DAERP

(2) volume de água necessário para abastecimento incluídas as perdas de 30%

Fonte: Autor, 2020

Utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados, calculou-se uma projeção populacional final de 834.674 habitantes, como pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12: Estimativa populacional de Ribeirão Preto pelo método dos mínimos quadrados

ESTIMATIVA POPULACIONAL DE RIBEIRAO PRETO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS			
Ano	População Urbana (hab)	Consumo Médio Per Capita (L/hab.dia) (1)	Demanda Hídrica (m³/ano) (2)
2011	609554	256,10	74.072.649
2012	619342	291,00	85.518.390
2013	629130	287,44	85.807.151
2014	638917	290,15	87.963.697
2015	648705	278,73	85.796.051
2016	658493	242,29	75.704.706
2017	668281	215,93	68.471.244
2018	678069	225,74	72.630.398
2019	687857	230,69	75.294.428
2020	697644	217,00	71.833.997
2021	707432	217,00	72.841.816
2022	717220	217,00	73.849.634
2023	727008	217,00	74.857.453
2024	736796	217,00	75.865.272
2025	746584	217,00	76.873.091
2026	756371	217,00	77.880.910
2027	766159	217,00	78.888.729
2028	775947	217,00	79.896.548
2029	785735	217,00	80.904.367
2030	795523	217,00	81.912.186
2031	805311	217,00	82.920.005
2032	815098	217,00	83.927.823
2033	824886	217,00	84.935.642
2034	834674	217,00	85.943.461

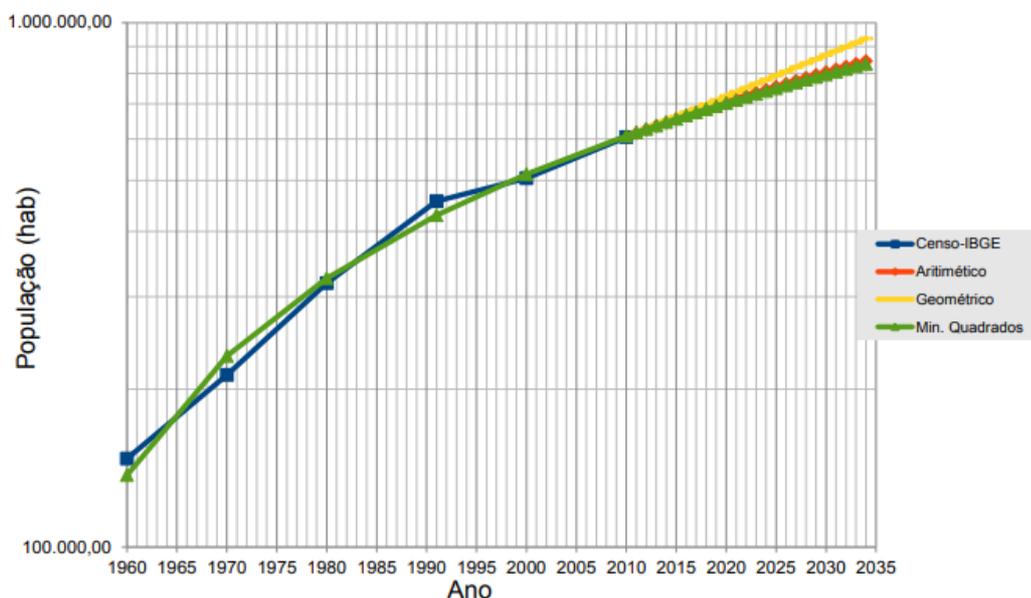
(1) Consumo médio per capita. A partir do ano de 2020 foi considerado o valor usado para o programa de redução e controle de perdas do DAERP

(2) volume de água necessário para abastecimento incluídas as perdas de 30%

Fonte: Autor, 2020

Com o estudo populacional, fez-se uma comparação dos resultados obtidos, tendo como resultado o gráfico da Figura 33.

Figura 33: Resultados dos métodos de estimativa populacional de Ribeirão Preto até o ano de 2034



Fonte: Autor, 2020

Portanto, com base na análise empírica do gráfico comparativo apresentado na Figura 33 e na análise de semelhança com as estimativas divulgadas anualmente pelo IBGE, optou-se pela utilização de uma projeção populacional mais conservadora, no caso, o cálculo feito com base no método Geométrico, para o ano 2034, que foi de 912.722 habitantes. Fez-se também uma projeção da demanda hídrica necessária para abastecimento do município de 93.979.815 m³/ano, utilizando a média de consumo per capita de 217 l/hab/dia, usada para o programa de redução e controle de perdas pelo DAERP.

Com a análise do sistema de abastecimento existente e o estudo do programa de perdas, alterou-se a concepção do sistema atual, passando a ter reservatórios setoriais de montante com os poços tubulares enviando água diretamente para eles, sendo feito posteriormente, o abastecimento por gravidade ou onde for preciso, por meio de estações elevatórias de água tratada (EEAT), normalizando e controlando com isso, as pressões nas redes, tornando-as mais estáveis, reduzindo a quantidade de vazamentos, controlando melhor o consumo de energia elétrica e diminuindo as perdas reais.

Para o sucesso na execução das ações definidas, torna-se necessário que exista uma sustentabilidade econômico-financeira no planejamento proposto. Para tanto, tornou-se importante a identificação dos aspectos sociais e econômicos do município, para orientar as ações propostas bem como permitir a viabilidade das mesmas, e, ao mesmo tempo serem sustentáveis do ponto de vista econômico-financeiro.

Foram determinadas várias ações que estão inclusas no Programa de Redução e Controle das Perdas, para serem executadas até o ano de 2025:

- a) Aplicação de tecnologia da informação para a gestão informatizada das análises, atividades e resultados das ações;
- b) Pesquisa e atualização do cadastro de consumidores;
- c) Ações de adequação e renovação da macromedição e micromedição, dimensionados adequadamente às faixas de consumo;
- d) Pesquisas para detecção e combate às fraudes, com as respectivas regularizações;
- e) Pesquisas para detecção de vazamentos visíveis e não visíveis, com os respectivos reparos, reduzindo o tempo de execução dos mesmos;
- f) Pesquisa e atualização do cadastro de redes, com posterior modelagem hidráulica;
- g) Setorização do município em 56 setores de abastecimento e 120 Distritos de Medição e Controle (DMC), para a otimização operacional da rede de distribuição;
- h) Otimização de procedimentos e processos da autarquia;
- i) Renovação e reabilitação de ativos;
- j) Implantação de Comitê Permanente de Gestão, Controle e Redução das Perdas de Água e Eficiência Energética.
- i) Implantação de 56 Km de redes adutoras de água potável, interligando poços aos reservatórios, revertendo o sistema, sendo que daí será feito o abastecimento;
- j) Implantação de 20.000 m³ de reservação, para atendimento das demandas reprimidas e futuras, sendo divididos em 12 reservatórios setoriais;
- i) Perfuração de 02 novos e substituição de 7 poços tubulares profundos existentes com vazão média de 250 m³/h;

A setorização será de vital importância para o município de Ribeirão Preto, pois com a sua implantação será possível atender as metas a serem cumpridas de redução das perdas e eficiência energética.

No ano de 2019 de acordo com informações do DAERP foram retirados do aquífero guarani 127.877.539 m³ de água para abastecimento público, de forma que, 52,90% deste valor corresponderam a perdas totais de água.

Com a conclusão das ações implementadas pelo Programa de Redução e Controle das Perdas até o ano de 2025, o objetivo é atingir o índice de perdas na distribuição em torno de 30%.

Fazendo uma analogia com o balanço hídrico apresentado no Quadro 9, podemos observar que com a redução do volume de captação em torno de 22,90%, a exploração de água do aquífero diminuiria para 97.954.194 m³, uma redução de 29.923.344 m³ ao ano, onde as perdas totais estariam em torno de 30,00%, uma redução significativa, principalmente para a preservação dos recursos disponíveis existentes no meio ambiente.

Quadro 9: Balanço Hídrico do município de Ribeirão Preto com a projeção para o ano de 2025 para o Aquífero Guarani

SISTEMA: Poços - Águas subterrâneas		DMC: Ribeirão Preto		Linha de Base: 2025		
ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO (SIMULAÇÕES) <small>Estimativa de perdas aparentes para obtenção das perdas reais</small>						
População abastecida: 775.688			Número de ligações ativas de água: 224.653			
Vol. Entrada (macro medido) / Pop. Abastecida	(qm)... Consumo médio "per capita": (L/hab/dia)	346	Consumo efetivo Autorizado: (L/hab/dia)	242	Tempo médio de Fornecimento de água ao dia (horas / dia): 20,00	
Volume de Entrada Anual (VE) 97.954.194 m ³ /ano 1.195 L/lig./dia 346 L/hab/dia 3.106 L/s	CONSUMO AUTORIZADO	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO		Consumo Micro medido		
		68.484.646 m ³ /ano 835 L/lig./dia 242 L/hab/dia		68.434.646 m ³ /ano Consumo Não Medido (estimado) 50.000 m ³ /ano		
	68.543.046 m ³ /ano 836 L/lig./dia 242 L/hab/dia 2.173 L/s		CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO		Usos próprios m ³ /ano % do VE: 54.750 0,06%	
	VOLUME DE PERDAS DE ÁGUA		TOTAL DE PERDAS APARENTES		Usos Sociais m ³ /ano % do VE: 3.650 0,00%	
			12.235.038 m ³ /ano 41,6% 17,9% do Consumo Autorizado 43 L/hab/dia 149 L/lig./dia		(% P.A) Submedição 72,12% % do Vol. Cons m ³ /ano 8.823.344 11,4%	
	29.411.148 m ³ /ano 359 L/lig./dia 104 L/hab/dia 30,0% do VE		TOTAL DE PERDAS REAIS		(% P.A) Fraudas 6,85% % do VE m ³ /ano 838.443 0,9%	
					17.176.110 m ³ /ano 58,4% 251 L/lig./dia QSP 0,98 m ³ /km rede horç:QSP	
	30,1% do VE		17.53% do VE:		Vazamentos em ramais % de a Real P. m ³ /ano 15.544.380 90,5%	
					251 m ³ /ano QSP	
	30,1% do VE		0,98 m³/km rede horç:QSP		Vazamentos em tanques % de a P. Real m ³ /ano 85.881 0,5%	
17,53% do VE:					Compr. Rede (km) 2.395,00	
OBSERVAÇÕES: 1º Perdas aparentes se referem basicamente a submedição de consumos, falhas de cadastro e as fraudas nas ligações e hidrômetros. 2º Nesta abordagem do balanço hídrico, as perdas reais correspondem a vazamentos em reservatórios, redes e ramais nos sistemas de distribuição.						
INDICADORES DE DESEMPENHO						
		Índice de Geral Perdas (IP): 30,0%				
		Índice de Perdas na Distribuição (IPDI): 359 L / Ligação x dia				
		PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA - PMS (mca): 30,0 ... Medição				
		PRAI - PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS (m ³ /ano): 2.440.015				
		LI - ÍNDICE DE VAZAMENTOS NA INFRAESTRUTURA: 7,0				

Fonte: Autor, 2020

A Agência Nacional de Águas (ANA), através de estudo denominado “Atlas do Abastecimento Urbano de Água”, apontou que a cidade deve adotar um novo manancial para o abastecimento, pois o existente não atende à demanda, sendo detectado “o rebaixamento do lençol freático”.

Com a elaboração do Programa de Gestão, Controle e Redução das perdas, uma das ações a ser colocada em prática a partir de 2025, é a captação de água do Rio Pardo, que

possui disponibilidade hídrica suficiente para complementar o abastecimento público do município, atendendo assim a necessidade de adotar um novo manancial.

Com a possibilidade de retirada de água do Rio Pardo, onde o DAERP possui outorga para captação de 2,75 m³/s, tem-se a disposição uma média de 86.724.000 m³ ao ano, sem comprometer a disponibilidade da bacia. O objetivo inicial é a captação de água superficial de 1.5 m³/s, que corresponderia a 47.295.388 m³/ano.

Com isso, poderia haver uma redução de captação de água do aquífero da ordem de 59,88%, somada a redução das perdas totais, passando a ser de 51.298.195 m³/ano, podendo contribuir e muito na redução do rebaixamento do nível do aquífero (Quadro 10).

Quadro 10: Resumo da captação de água do Aquífero Guarani e do Rio Pardo para o ano de 2025

QUADRO RESUMO DA ÁGUA A SER CAPTADA			
Descrição	Vazão (m ³ /ano)	% Volume	Observações
Vazão Total Captada	127.877.539	100,00%	Vazão de exploração de água retirada do Aquífero Guarani no ano de 2019
Vazão com a Redução das Perdas	29.283.956	22,90%	Redução de 22,90% das perdas totais, conforme Programa de Redução e Controle de Perdas do DAERP, até o ano de 2025.
Vazão Total do Rio Pardo	86.724.000	100,00%	Vazão Total de exploração de 2,75 m ³ /s de água superficial que pode ser captada do Rio Pardo
Vazão Parcial do Rio Pardo	47.295.388	54,54%	Vazão de exploração de 1,5 m ³ /s de água superficial a ser captada do Rio Pardo a partir do ano de 2025
Vazão Total a ser Reduzida	76.579.344	59,88%	Redução total de água a ser captada do Aquífero Guarani
Vazão de Captação do Aquífero em 2025	51.298.195	40,12%	Vazão a ser captada do Aquífero Guarani a partir do ano de 2025, considerando a redução das perdas e a captação de 1,5 m ³ /s do Rio Pardo
Potencial de Exploração	116.007.956	90,72%	Volume de reserva para captação, considerando o volume de 1,25 m ³ /s restante do Rio Pardo, somado a uma possível captação da água subterrânea que deixou de ser explorada do SAG.

Fonte: Autor, 2020

A partir daí o DAERP fez estudo para determinação do melhor local para a instalação da Estação de Tratamento de Água (ETA), onde será feita a captação das águas do Rio Pardo para a complementação do abastecimento de água do município de Ribeirão Preto (Figuras 34 e 35).

Local da Instalação da Estação de Tratamento de Água:

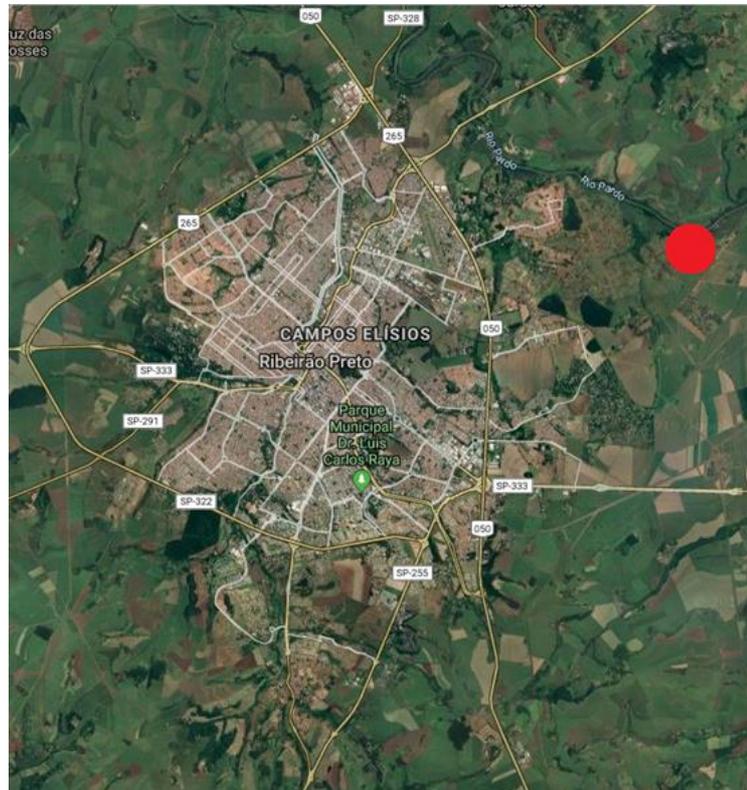
Fazenda São João

Prolongamento da Avenida Alfredo Ravaneli, s/n

Ribeirão Preto – SP

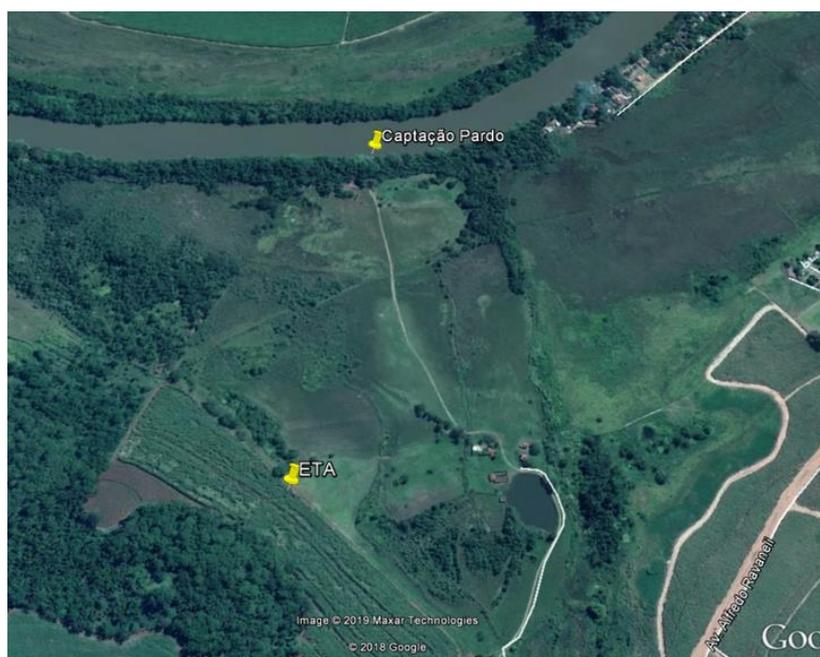
Latitude: 21° 07' 56,36'' ; Longitude: 47° 41' 26,11''

Figura 34 – Localização da área para futura implantação da ETA



Fonte: DAERP, 2019

Figura 35 – Localização da área para futura implantação da ETA e captação de água no Rio Pardo



Fonte: DAERP, 2019

O estudo partiu da premissa do princípio sanitário, pois, as águas superficiais estão naturalmente sujeitas a possíveis processos de poluição e contaminação. É básico, sob o ponto de vista operacional do sistema, captar águas de melhor qualidade possível, localizando adequadamente a tomada e efetivando-se medidas de proteção sanitária desta tomada, como por exemplo, instalar a captação à montante de descargas poluidoras. No caso de Ribeirão Preto, o ponto de tomada escolhido fica anterior à ETE Ribeirão Preto. Outro fator importante é possibilitar o menor percurso de adução, compatibilizado com menores alturas de transposição pela mesma adutora no seu caminhamento.

5.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECENDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO

5.3.1 Poços Analisados nas Zonas de Restrição e Controle

5.3.1.1 Zona de Restrição 3: Poço Jardim Diva Tarla nº 191

Para a análise do poço, inicialmente coletou-se dados sobre seu perfil geológico, tendo a sua profundidade total, o tipo de formação geológica e a litologia, nas várias camadas que o compõe (Quadro 11).

Quadro 11: Perfil Geológico / Estratigráfico do Poço Jd. Diva Tarlá

POÇO JD. DIVA TARLÁ nº 191			
PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO			
Profundidade (m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
0,00 a 30,00	Solo	Areia argilosa avermelhada - solo	Confinado
30,00 a 61,00	FM Serra Geral	Diabásio cinza-escuro, compacto	Confinado
61,00 a 193,00	FM Botucatu	Arenito friável, bem selecionado, subarredondado a arredondado	Confinado
193,00 a 216,00	Diabásio	Diabásio cinza-escuro, compacto	Confinado
216 a 250,00	FM Botucatu	Arenito friável, bem selecionado	Confinado
250,00 a 250,50	Diabásio	Diabásio cinza-escuro, compacto	Confinado

Fonte: DAERP, 2019

Após, observando a Tabela 13, composta por dados aferidos “in loco”, pode-se analisar alguns itens importantes para entender a evolução do poço desde sua implantação até os dias atuais. Foram coletados dados de vazão, pressão, níveis estáticos e dinâmicos, feito o cálculo

de seu rebaixamento no decorrer de um período de 15 anos, entre 2005 e 2020. A vazão sofreu algumas oscilações ao longo do tempo, porém sem alterações significativas. Constatou-se o rebaixamento de 13,71 metros ao longo de 15 anos de operação do poço, de acordo com dados coletados e informados pelo setor operacional do DAERP.

Tabela 13: Níveis de Rebaixamento do Poço Jd. Diva Tarlá, do ano de 2005 a 2020

POÇO JD. DIVA TARLÁ nº 191					
DADOS DO POÇO					
Data	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Rebaixamento Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento Nível Dinâmico (m)
12/02/2005	177,00	58,40	0,00	78,15	0,00
25/02/2007	223,97	-	-	82,60	4,45
11/04/2008	238,95	-	-	90,76	12,61
23/01/2009	253,23	-	-	88,77	10,62
04/02/2010	249,81	63,14	4,74	89,43	11,28
31/01/2011	245,10	-	-	88,87	10,72
23/01/2012	249,36	-	-	90,20	12,05
12/03/2013	251,72	-	-	92,74	14,59
10/04/2014	227,62	-	-	92,42	14,27
09/01/2015	224,02	-	-	91,02	12,87
20/07/2016	203,86	68,47	10,07	87,79	9,64
26/01/2017	241,11	-	-	91,23	13,08
15/10/2018	241,63	69,42	11,02	94,88	16,73
18/01/2019	231,60	72,79	14,39	94,71	16,56
04/03/2020	214,08	72,13	13,73	91,86	13,71

Fonte: DAERP, 2020

A partir destas informações e dos dados coletados com o DAERP, ao longo do funcionamento do poço, desde o momento da outorga, início de operação, vazão atual, e vazão reduzida ao final da implantação do programa de perdas, tem-se os dados da Tabela 14.

Tabela 14 Dados coletados do Poço Jardim Diva Tarla nº 191

Poço Jardim Diva Tarla nº 191				
Execução: 15/02/2005 Rua José Adriano Miranda Junior - Jardim Diva Tarla Coordenadas UTM: 7660,807 Km N, 215,854 Km E				
DADOS	Outorga de Licença de Operação	Início de Operação	Vazão Atual	Vazão Reduzida (-59,88%)
Vazão de Exploração (m ³ /h)	234,10	177,00	233,49	93,68
Cota Altimétrica (m)	576,70	576,70	576,70	576,70
Profundidade do Poço (m)	250,50	250,50	250,50	250,50
Nível Dinâmico (m)	78,40	78,40	91,86	-
Nível Estático (m)	58,40	58,40	72,13	-
Diâmetro do Poço (mm)	300,00	300,00	300,00	300,00
Profundidade Aquífero (m)	192,10	192,10	178,37	-
Espessura Saturada (m)	192,10	192,10	178,37	-
Raio do Poço (m)	0,15	0,15	0,15	0,15
Rebaixamento (m)	20,00	20,00	19,73	-

Fonte: Autor, 2020

Devido ao funcionamento contínuo do poço, criou-se uma curva de depressão que foi calculada para verificar a ocorrência ou não de interferência entre poços submetidos ao bombeamento constante. Determinou-se a distância mínima que deve existir entre eles, utilizando o raio de influência r calculado. Para que um poço não esteja localizado na região de influência do outro, a distância mínima entre eles será de $2 \times r$. A figura 36, representa os círculos de diâmetro de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo e o raio de influência calculado do poço em questão, sendo que a Figura 37 representa a distância real entre os poços, a nível de comparação.

Figura 36: Localização dos poços do Setor Ribeirão Verde para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo, comparando com raio de influência calculado.



Fonte: DAERP, 2019

Quadro 12: Distância dos poços do Setor Ribeirão Verde em relação ao poço Jardim Diva Tarla, para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo.

POÇOS DO SETOR RIBEIRÃO VERDE	
Poços	Distância em Função do Poço Jd. Diva Tarla (m)
191 Jd. Diva Tarla	0
241 Recanto das Palmeiras	1.135
219 Palocci	1.137
167 Ribeirão Verde	1.063

Fonte: DAERP, 2019

5.3.1.1.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço

$$Q = 177,00 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,50 - 58,40\text{m} = 192,10 \text{ m};$$

r = raio;

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 150 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 78,40 - 58,40 = 20,00 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 56,37 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 48,44 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 56,37 m.

Considerando os estudos do DAEE, e os outros poços do setor, que estão a no mínimo 1.000 metros de distância entre eles e de acordo com o raio de interferência calculado, para que não haja interferência entre eles, fez-se o cálculo de $2 \times r$, tendo-se o valor de 112,74 m, bem abaixo do valor real, atendendo a deliberação do CBH Pardo.

Determinado o raio do perímetro de proteção do poço, utilizou-se a fórmula de Theis para calcular o rebaixamento do nível do Aquífero (Tabela 15):

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 \cdot \frac{S}{4 \cdot T \cdot t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{4248}{4 \cdot \pi \cdot 271,10} \left[-0,5772 - \ln \left(57,65^2 \cdot \frac{0,001}{4 \cdot 271,10 \cdot t} \right) \right]$$

$$Z = \left[0,67 - \ln \left(\frac{3,32}{1084,4 \cdot t} \right) \right]$$

Tabela 15: Rebaixamento do Poço para a vazão inicial

POÇO JD. DIVA TARLÁ nº 191					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO INICIAL					
$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T \cdot t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
177,00	271,10	56,37	0,001	1,00	6,50
177,00	271,10	56,37	0,001	10,00	8,80
177,00	271,10	56,37	0,001	365,00	12,40
177,00	271,10	56,37	0,001	5475,00	15,11

Fonte: AUTOR, 2020

Com isso, o rebaixamento do poço durante os 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, seria de 15,11 m, ante ao detectado pelo DAERP para o poço que é aproximadamente de 13,71 metros, ou seja, 1,40 m abaixo do previsto em teoria.

5.3.1.1.2 Dados de vazão atual do poço

$$Q = 233,49 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m}/\text{dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,50 - 72,13 \text{ m} = 178,37 \text{ m};$$

$$r = \text{raio};$$

$$\frac{dh}{dL} = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 150 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 91,86 - 72,13 = 19,73 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 80,24 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 57,74 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 80,24 m. A distância radial e a vazão do poço, estão de acordo com os estudos do DAEE, propostos para os aquíferos do Estado de São Paulo.

Considerando os outros poços do setor, que estão a no mínimo 1.000 metros de distância entre eles e de acordo com o raio de interferência calculado, fazendo-se $2 \times r$, tem-se o valor de 160,48 m, bem abaixo do valor real, atendendo a deliberação do CBH Pardo.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 16):

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{5604}{4 \cdot \pi * 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(80,24^2 * \frac{0,001}{4 * 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = \left[1,65 - \ln \left(\frac{6,44}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 16: Rebaixamento do Poço para a vazão atual

POÇO JD. DIVA TARLÁ nº 191					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO ATUAL					
$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$					
Vazão Q (m ³ /h)	Transmissividade T (m ² /dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coeficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
233,49	271,10	80,24	0,001	1,00	6,78
233,49	271,10	80,24	0,001	10,00	9,08
233,49	271,10	80,24	0,001	365,00	12,68
233,49	271,10	80,24	0,001	5475,00	15,38

Fonte: AUTOR, 2020

Com isso, o rebaixamento do poço durante os 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, será de 15,38 m, sendo estável comparado com os valores até o momento.

5.3.1.1.3 Dados de vazão reduzida do poço

Utilizando os valores de estudos do DAEE e dados do poço com a vazão reduzida, considerando a redução das perdas e a captação de água do Rio Pardo, tem-se os parâmetros para serem usados:

$$Q = 93,68 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (redução de 59,88\%);}$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia;}$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,50 - 72,13 \text{ m} = 178,37 \text{ m;}$$

$$r = \text{raio;}$$

$$\frac{dh}{dL} = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 150 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 91,86 - 72,13 = 19,73 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 41,96 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 41,78 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 41,96 m. A distância radial e a vazão do poço, estão de acordo com os estudos do DAEE, propostos para os aquíferos do Estado de São Paulo.

Considerando os outros poços do setor, que estão a no mínimo 1.000 metros de distância entre eles e de acordo com o raio de interferência calculado, fazendo $2 \times r$, tem-se o valor de 83,92 m, bem abaixo do valor real, atendendo a deliberação do CBH Pardo.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 17).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 \cdot \frac{S}{4 \cdot T \cdot t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{2248,32}{4 \cdot \pi \cdot 271,10} \cdot \left[-0,5772 - \ln \left(41,96^2 \cdot \frac{0,001}{4 \cdot 271,10 \cdot t} \right) \right]$$

$$Z = 0,66 \cdot \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{1,76}{1084,4 \cdot t} \right) \right]$$

Tabela 17: Rebaixamento do Poço para a vazão reduzida

POÇO JD. DIVA TARLÁ nº 191					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO REDUZIDA					
$Z = \frac{Q}{4\pi r T} \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4Tt} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
93,68	271,10	41,96	0,001	1,00	3,86
93,68	271,10	41,96	0,001	10,00	5,38
93,68	271,10	41,96	0,001	365,00	7,75
93,68	271,10	41,96	0,001	5475,00	9,54

Fonte: AUTOR 2020

Com isso, a projeção do rebaixamento do poço durante os próximos 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, será de 9,54 m, ante o valor de 15,38 m do DAERP, ou seja, 5,84 m a menos.

5.3.1.2 Zona de Restrição 2: Poço Jardim Paulista nº 168

Para a análise do poço, inicialmente coletou-se dados sobre seu perfil geológico, tendo a sua profundidade total, o tipo de formação geológica e a litologia, nas várias camadas que o compõe (Quadro 13).

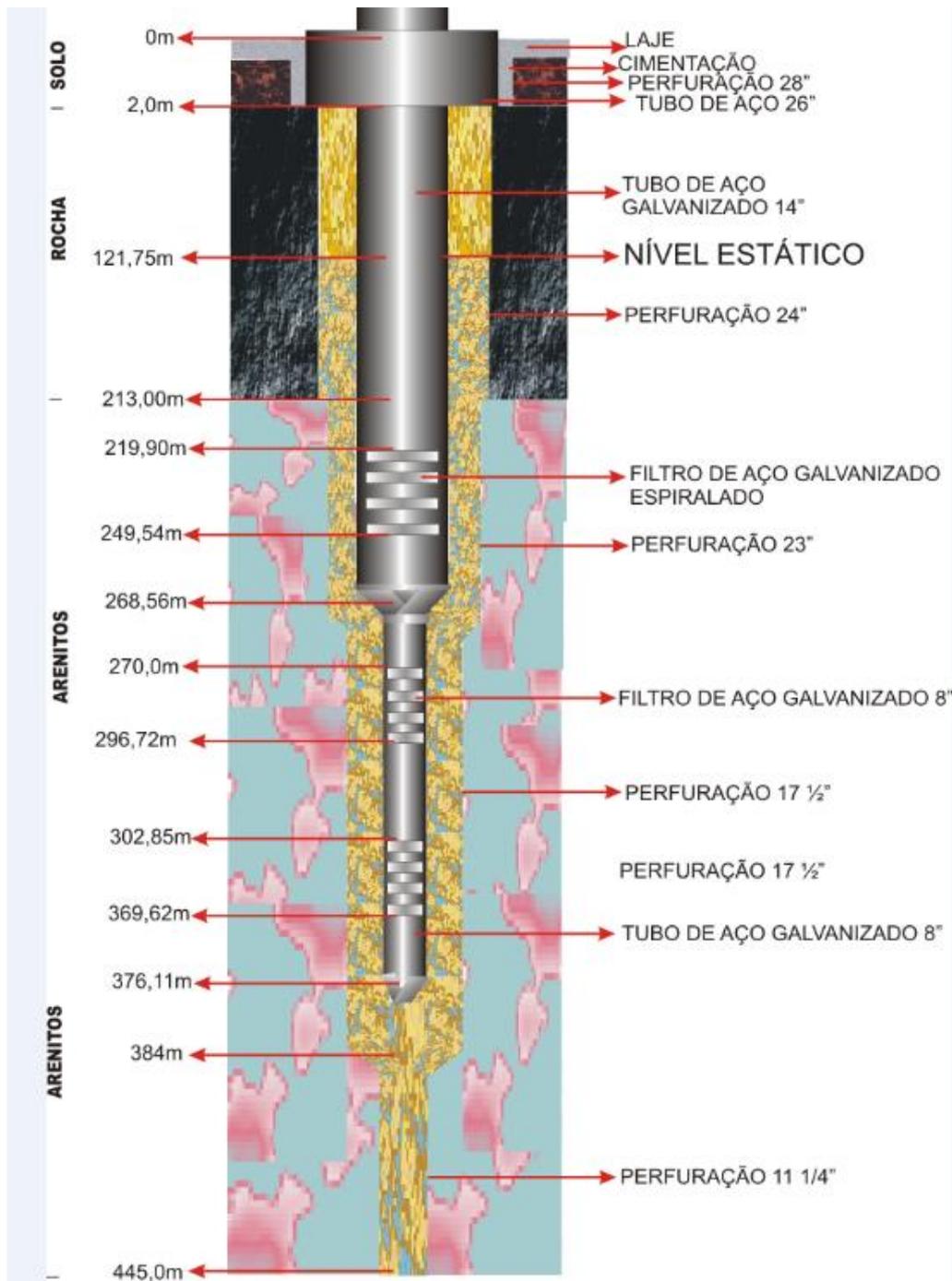
Quadro 13: Perfil Geológico / Estratigráfico do Poço Jardim Paulista

POÇO JD. PAULISTA nº 168			
PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO			
Profundidade (m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
0,00 a 2,00	Solo	Areia argilosa avermelhada - solo	Confinado
2,00 a 213,00	FM Serra Geral	Diabásio cinza-escuro, compacto	Confinado
213,00 a 445,00	FM Botucatu / Pirambóia	Arenito friável, bem selecionado, subarredondado a arredondado	Confinado

Fonte: DAERP, 2019

A partir daí, montou-se o perfil geológico do poço, de acordo com a Figura 37.

Figura 37: Perfil geológico do Poço Jd. Paulista



Fonte: DAERP, 2019

Observando a Tabela 18, composta por dados aferidos “in loco”, pode-se analisar alguns itens importantes para entender a evolução do poço desde sua implantação até os dias atuais.

Foram coletados dados de vazão, pressão, níveis estáticos e dinâmicos e feito o cálculo de seu rebaixamento no decorrer de um período de 15 anos, entre 2005 e 2020.

A vazão sofreu algumas oscilações ao longo do tempo, com alterações significativas, da ordem de 40,00 m³/h, o que pode ser explicado pelo tempo de uso do mesmo, superior ao tempo médio de expectativa para o funcionamento de um poço, que é de 20 anos. Com relação ao rebaixamento, foi de 17,54 metros ao longo de 15 anos de existência do poço, de acordo com dados coletados e informados pelo setor operacional do DAERP.

Tabela 18: Níveis de Rebaixamento do Poço Jd. Diva Tarlá, do ano de 2005 a 2020

POÇO JD. PAULISTA nº 168					
DADOS DO POÇO					
Data	Vazão (m ³ /h)	Nível Estático (m)	Rebaixamento Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento Nível Dinâmico (m)
30/03/2005	213,67	-	-	185,56	-0,30
01/08/2006	206,54	-	-	188,89	3,03
04/04/2008	239,83	-	-	194,26	8,40
14/09/2011	237,95	-	-	202,80	16,94
05/01/2012	211,69	-	-	199,41	13,55
16/03/2013	254,99	-	-	199,41	13,55
14/03/2014	249,89	-	-	199,41	13,55
20/03/2015	249,38	-	-	199,41	13,55
06/05/2016	252,50	-	-	199,41	13,55
30/04/2017	241,21	-	-	199,41	13,55
26/10/2018	226,34	150,70	28,12	199,41	13,55
07/05/2019	194,40	164,55	41,97	203,40	17,54
19/03/2020	174,68	164,55	41,97	203,40	17,54

Fonte: DAERP, 2020

A partir destas informações e dos dados coletados com o DAERP, ao longo do funcionamento do poço, desde o momento da outorga, início de operação, vazão atual, e vazão reduzida ao final da implantação do programa de perdas. Com isso, tem-se a Tabela 19.

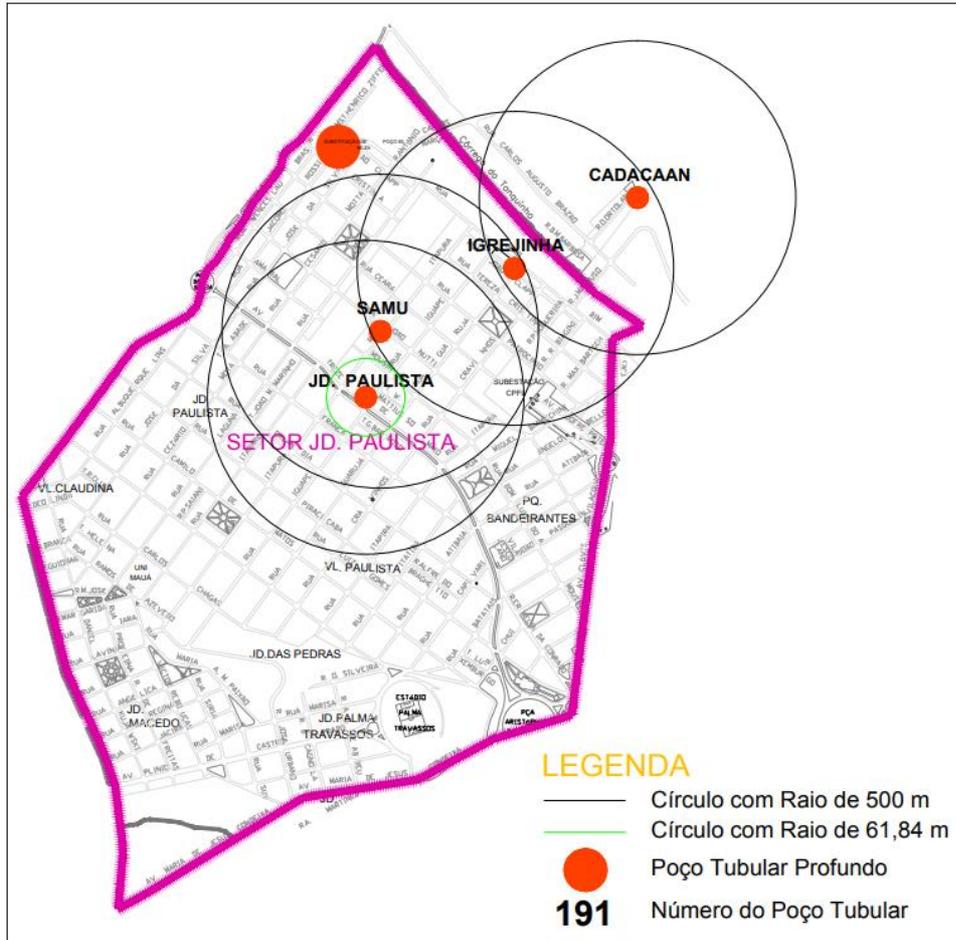
Tabela 19: Dados coletados do Poço Jardim Paulista nº 168

Poço Jardim Paulista nº 168				
Execução: 27/04/1998				
Av. Treze de Maio c/ Rua Iguape				
Coordenadas UTM: 7655,682 Km N, 210,340 Km E				
DADOS	Outorga de Licença de Operação	Início de Operação	Vazão Atual	Vazão Reduzida (-59,88%)
Vazão de Exploração (m ³ /h)	218,54	234,35	181,95	73,00
Cota Altimétrica (m)	594,20	594,20	594,20	594,20
Profundidade do Poço (m)	445,00	445,00	445,00	445,00
Nível Dinâmico (m)	192,00	187,05	203,40	-
Nível Estático (m)	121,75	122,58	164,55	-
Diâmetro do Poço (mm)	350,00	350,00	350,00	350,00
Profundidade Aquífero (m)	232,00	232,00	232,00	-
Espessura Saturada (m)	232,00	232,00	232,00	-
Raio do Poço (m)	0,175	0,15	0,15	0,15
Rebaixamento (m)	70,25	64,47	38,85	-

Fonte: Autor, 2020

Devido ao funcionamento contínuo do poço, criou-se uma curva de depressão que foi calculada para verificar a ocorrência ou não de interferência entre poços submetidos ao bombeamento constante. Determinou-se a distância mínima que deve existir entre eles, através do cálculo do raio de influência r . Para que um poço não esteja localizado na região de influência do outro, a distância mínima entre eles será de $2 \times r$. A figura 38, representa os círculos de diâmetro de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo e o raio de influência calculado do poço em questão, sendo que o Quadro 14, representa a distância real entre os poços, a nível de comparação.

Figura 38: Localização dos poços do Setor para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBHPardo.



Fonte: DAERP, 2019

Quadro 14: Distância dos poços do Setor Jardim Paulista em relação ao poço Jardim Paulista, para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo.

POÇOS DO SETOR JARDIM PAULISTA	
Poços	Distância em Função do Poço Jd. Paulista (m)
168 Jardim Paulista	0,00
252 Samu	234,06
196 Cadacaan	1066,76
58 Igrejinha	666,56

Fonte: DAERP, 2019

5.3.1.2.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço

$$Q = 234,35 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 445,00 - 213,00 \text{ m} = 232,00 \text{ m};$$

$$r = \text{raio};$$

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 175 \text{ mm} - 0,175 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 187,05 - 122,58 = 64,47 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 61,84 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 50,72 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 61,84 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que dois deles estão em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposta pelo DAEE. Mesmo assim, levando em consideração o raio de interferência calculado, fazendo $2 \times r$, resultará o valor de 123,68 m, ainda estando abaixo das distâncias reais em que se encontram.

Pode-se, a partir dos cálculos dos raios dos perímetros de proteção, calcular o rebaixamento do nível do Aquífero (Tabela 20).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{5624,40}{4 \cdot \pi \cdot 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(61,84^2 * \frac{0,001}{4 \cdot 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 1,65 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{3,82}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 20: rebaixamento do poço vazão inicial para os próximos 15 anos.

POÇO JARDIM PAULISTA nº 168					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO INICIAL					
$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 \cdot \frac{S}{4 \cdot T \cdot t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
218,54	271,10	61,84	0,001	1	8,37
218,54	271,10	61,84	0,001	10	12,17
218,54	271,10	61,84	0,001	365	18,10
218,54	271,10	61,84	0,001	5475	22,57

Fonte: AUTOR 2020

Com isso, o rebaixamento do poço durante os 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, seria de 22,57 m, ante ao detectado pelo DAERP para o poço que é aproximadamente de 17,54 metros, ou seja, 5,03 m abaixo do previsto em teoria.

5.3.1.2.2 Dados de vazão atual do poço

Utilizando os valores de estudos do DAEE e dados do poço atual fornecidos pelo DAERP, teremos alguns parâmetros para serem usados:

$$Q = 181,95 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 445,00 - 213,00 \text{ m} = 232,00 \text{ m};$$

r = raio;

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 175 \text{ mm} - 0,175 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 203,40 - 164,55 = 38,85 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 48,01 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 43,79 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 48,01 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que dois deles estão em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposta pelo DAEE. Mesmo assim, levando em consideração o raio de interferência calculado, fazendo $2 \times r$, resultará no valor de 96,02 m, ainda estando abaixo das distâncias em que se encontram.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção e dos dados atuais, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 21).

$$Z = \frac{Q}{4\pi T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{4192,32}{4\pi * 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(48,01^2 * \frac{0,001}{4 * 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 1,23 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{2,31}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 21: rebaixamento do poço vazão atual para os próximos 15 anos.

POÇO JARDIM PAULISTA nº 168					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO ATUAL					
$Z = \frac{Q}{4\pi T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4T * t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
181,95	271,10	48,01	0,001	1	6,85
181,95	271,10	48,01	0,001	10	9,69
181,95	271,10	48,01	0,001	365	14,11
181,95	271,10	48,01	0,001	5475	17,44

Fonte: AUTOR, 2020

Com isso, a projeção do rebaixamento do poço durante os próximos 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, será de 17,44 m, ante ao detectado pelo DAERP para o poço que é aproximadamente de 17,54 metros, mantendo-se estável.

5.3.1.2.3 Dados de vazão reduzida do poço

Utilizando os valores de estudos do DAEE e dados do poço com a vazão reduzida, e, considerando a redução das perdas juntamente com a captação de água do Rio Pardo, têm-se os seguintes parâmetros para serem usados:

$$Q = 73,00 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (redução de 59,88\%);}$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia;}$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 445,00 - 213,00 \text{ m} = 232,00 \text{ m;}$$

$$r = \text{raio;}$$

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 175 \text{ mm} - 0,175 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 203,40 - 164,55 = 38,85 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 32,51 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 36,78 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 36,78 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que dois deles estão em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposta pelo DAEE. Mesmo assim, levando-se em consideração o raio de interferência calculado, tem-se para $2 \times r$, o valor de 73,56 m, estando abaixo das distâncias em que se encontram.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção e dos dados atuais, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 22).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{1752}{4 \cdot \pi * 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(36,78^2 * \frac{0,001}{4 * 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 0,52 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{1,35}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 22: rebaixamento do poço com vazão reduzida para os próximos 15 anos.

POÇO JARDIM PAULISTA nº 168					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO REDUZIDA					
$Z = \frac{Q}{4\pi r T} \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4\pi T t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
73,00	271,10	36,78	0,001	1	3,18
73,00	271,10	36,78	0,001	10	4,38
73,00	271,10	36,78	0,001	365	6,25
73,00	271,10	36,78	0,001	5475	7,65

Fonte: AUTOR, 2020

Com isso, a projeção do rebaixamento do poço durante os próximos 15 anos de funcionamento, com a vazão reduzida, de acordo com a Fórmula de Theis, será de 7,65 m, ante o valor de 17,44 m, ou seja, 9,79 m a menos.

5.3.1.3 Zona de Restrição 1: Poço Kaiser nº 09

Para a análise do poço, inicialmente coletou-se dados sobre seu perfil geológico, tendo a sua profundidade total, o tipo de formação geológica e a litologia, nas várias camadas que o compõe (Quadro 15).

Quadro 15: Perfil Geológico / Estratigráfico do Poço Kaiser

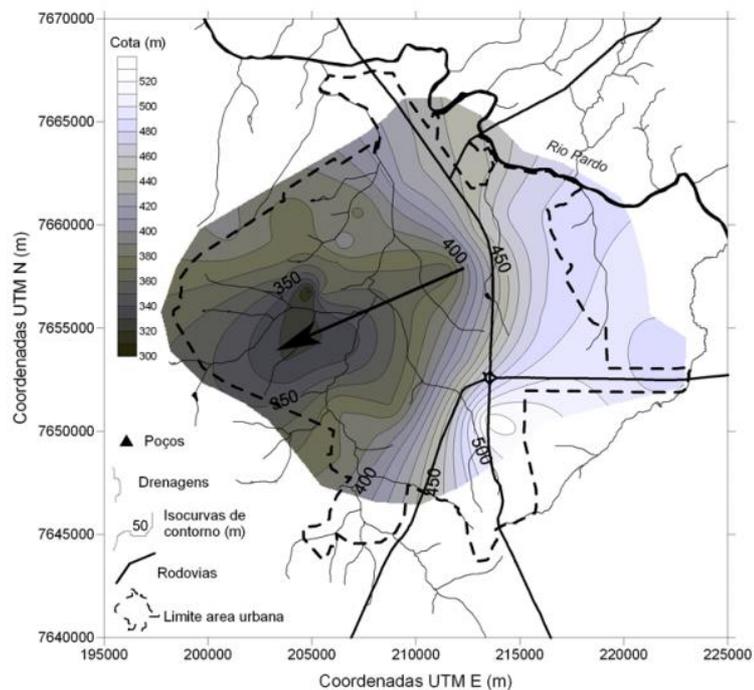
POÇO KAISER nº 09			
PERFIL GEOLÓGICO / ESTRATIGRÁFICO			
Profundidade (m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
0,00 a 2,00	Solo	Areia argilosa avermelhada - solo	Confinado
2,00 a 220,00	FM Serra Geral	Diabásio cinza-escuro, compacto	Confinado
220,00 a 232,00	FM Botucatu / Pirambóia	Arenito friável, bem selecionado, subarredondado a arredondado	Confinado

Fonte: Mapas Geológicos do município, 2019

Através da análise das Figuras 39 e 40 e do Quadro 16, pode-se verificar que a espessura média do aquífero para este poço está em torno de 250 m, portanto adotou-se este

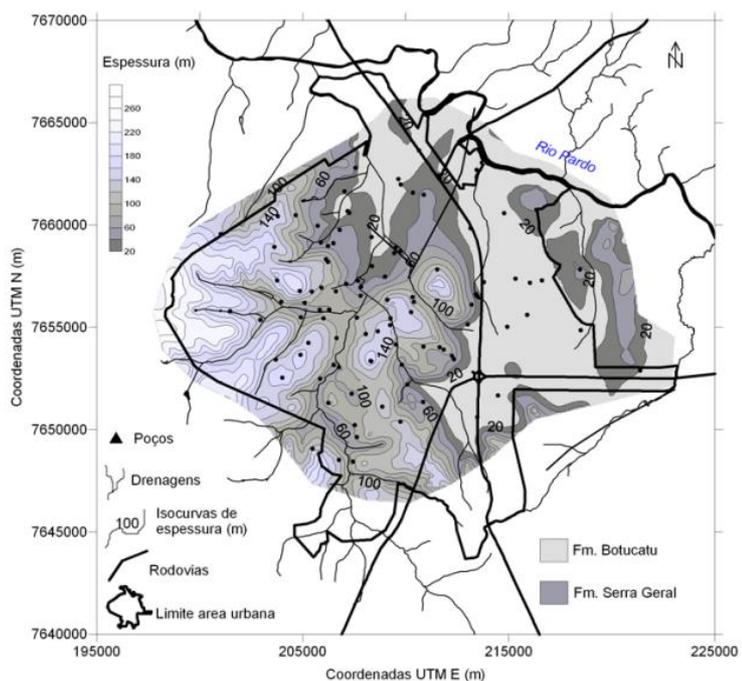
parâmetro para os cálculos necessários de raio de interferência e rebaixamento do nível do poço.

Figura 39: Contorno estrutural do topo da Formação Pirambóia



Fonte: Revista Brasileira de Geociências, Flavio de Paula e Silva et al, 2008

Figura 40: Espessura da Formação Serra Geral na área urbana de Ribeirão Preto



Fonte: Revista Brasileira de Geociências, 2008

Quadro 16: Características geométricas e hidráulicas dos aquíferos presentes na UGRHI 4

AQÜÍFERO	GEOMETRIA		HIDROGEOLOGIA	
	Área aflorante na UGRHI (%)	Espessura média (m)	Transmissividade (m ² /d)	Porosidade efetiva (%)
Cenozóico	6	30	-	-
Serra Geral	24	150	1 a 95	1 a 5
Guarani livre	23	250	40 a 500	25
Guarani confinado	0	350 a 400	150 a 400	16 a 24
Passa Dois	4	120	< 10	-
Tubarão	11	1000	0,3 a 200	5
Cristalino	32	200	0,1 a 200	-

Fonte: adaptado de IPT, 2000

Observando a Tabela 23, composta por dados aferidos “in loco”, pode-se analisar alguns itens importantes para entender a evolução do poço desde sua implantação até os dias atuais.

Foram coletados dados de vazão, pressão, níveis estáticos e dinâmicos e feito o cálculo de seu rebaixamento no decorrer de um período de 15 anos, entre 2005 e 2020.

A vazão não sofreu oscilações significativas ao longo do período de operação, pelo contrário, tendo em vista o registro de aumento. Com relação ao rebaixamento, foi de 17,44 metros, de acordo com dados coletados e informados pelo setor operacional do DAERP.

Tabela 23: Níveis de Rebaixamento do Poço Kaiser, do ano de 2005 até 2020

POÇO KAISER nº 09					
DADOS DO POÇO					
Data	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Rebaixamento Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento Nível Dinâmico (m)
10/05/2005	210,00	87,00	0,00	112,72	0,00
27/01/2006	257,44	-	-	112,33	-0,39
22/04/2007	244,20	-	-	113,11	0,39
01/08/2008	221,01	-	-	111,95	-0,77
05/04/2009	239,75	-	-	116,31	3,59
18/03/2010	244,23	-	-	121,58	8,86
24/03/2011	162,35	88,30	1,30	107,75	-4,97
12/02/2012	254,38	90,73	3,73	124,03	11,31
17/03/2013	233,37	-	-	123,05	10,33
13/06/2014	238,66	93,37	6,37	125,83	13,11
11/01/2015	237,24	-	-	126,50	13,78
09/04/2016	248,71	-	-	124,51	11,79
13/02/2017	251,79	-	-	127,05	14,33
20/05/2018	247,51	93,37	6,37	127,97	15,25
21/05/2019	244,91	93,37	6,37	129,59	16,87
13/03/2020	232,46	93,37	6,37	130,16	17,44

Fonte: DAERP, 2020

A partir destas informações e dos dados coletados com o DAERP, ao longo do funcionamento do poço, desde o momento da outorga, início de operação, vazão atual, e vazão reduzida ao final da implantação do programa de perdas, teremos a Tabela 24.

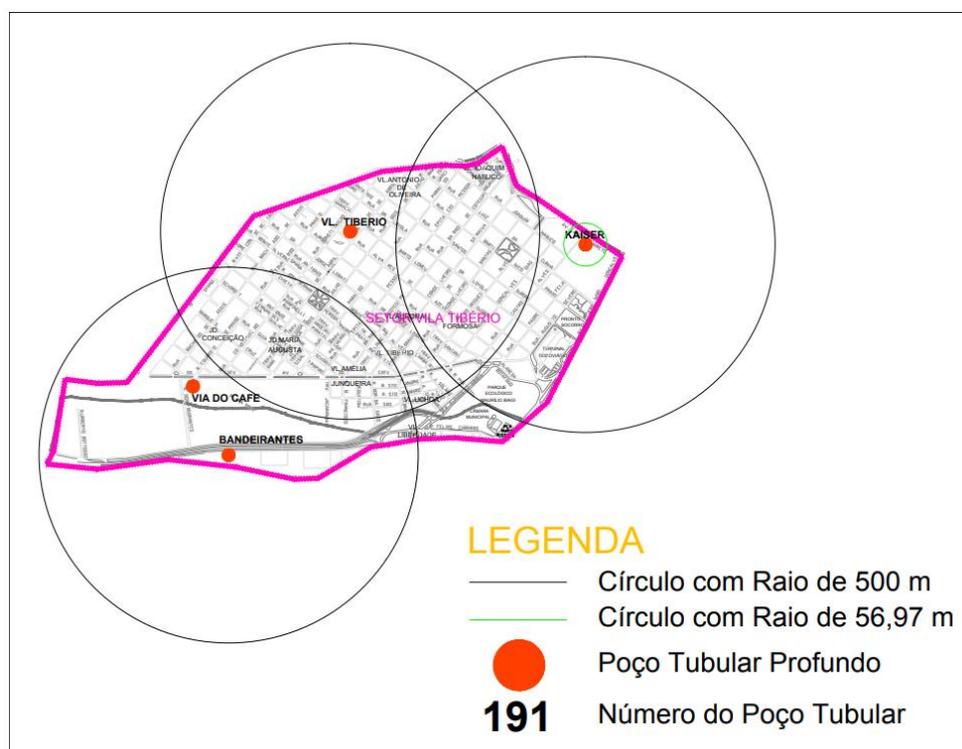
Tabela 24: Dados coletados do Poço Kaiser nº 09

Poço Kaiser nº 09				
Execução: 10/05/2005 Av. Fábio Barreto c/ Rua Castro Alves - Centro Coordenadas UTM: 7656,64 Km N, 207,96 Km E				
DADOS	Outorga de Licença de Operação	Início de Operação	Vazão Atual	Vazão Reduzida (-59,88%)
Vazão de Exploração (m ³ /h)	210,00	210,00	232,46	93,26
Cota Altimétrica (m)	522,40	522,40	522,40	522,40
Profundidade do Poço (m)	232,50	232,50	232,50	232,50
Nível Dinâmico (m)	135,00	135,00	130,16	-
Nível Estático (m)	87,00	87,00	93,37	-
Diâmetro do Poço (mm)	300,00	300,00	300,00	300,00
Profundidade Aquífero (m)	250,00	250,00	250,00	-
Espessura Saturada (m)	250,00	250,00	250,00	-
Raio do Poço (m)	0,15	0,15	0,15	0,15
Rebaixamento (m)	48,00	48,00	36,79	-

Fonte: Autor, 2020

Devido ao funcionamento contínuo do poço, criou-se uma curva de depressão que foi calculada para verificar a ocorrência ou não de interferência entre poços submetidos ao bombeamento constante. Determinou-se a distância mínima que deve existir entre eles, para obter o raio de influência r . Para que um poço não esteja localizado na região de influência do outro, a distância mínima entre eles será de $2 \times r$. A figura 41, representa os círculos de diâmetro de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo e o raio de influência calculado do poço em questão, sendo que o Quadro 17, representa a distância real entre os poços, a nível de comparação.

Figura 41: Localização dos poços do Setor para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo.



Fonte: DAERP, 2019

Quadro 17: Distância dos poços do Setor Vila Tibério em relação ao poço Kaiser, para verificação do distanciamento de 1.000 m imposto pelo CBH Pardo.

POÇOS DO SETOR VILA TIBÉRIO	
Poços	Distância em Função do Poço Vila Tibério (m)
09 Kaiser	0
123 Vila Tibério	1.265
147 Via do Café	2.140
157 Bandeirantes	2.191

Fonte: DAERP, 2019

5.3.1.3.1 Dados de vazão coletados no início de operação do poço

$$Q = 210,00 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,00 \text{ m};$$

$$r = \text{raio};$$

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 150 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 135,00 - 87,00 = 48,00 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 51,47 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 46,25 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 51,47 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que um deles está em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposto pelo DAEE. Mesmo assim, levando em consideração o raio de interferência calculado, fazendo 2 x r, resultará o valor de 102,94 m, ainda estando abaixo das distâncias em que se encontram.

Pode-se, a partir dos cálculos dos raios dos perímetros de proteção, calcular o rebaixamento do nível do Aquífero (Tabela 25).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{5040,00}{4 \cdot \pi \cdot 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(51,47^2 * \frac{0,001}{4 \cdot 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 1,48 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{2,65}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 25: rebaixamento do poço vazão inicial para os próximos 15 anos.

POÇO KAISER n° 09					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS VAZÃO INICIAL					
$Z = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 * T * t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
210,00	271,10	51,47	0,001	1	8,05
210,00	271,10	51,47	0,001	10	11,45
210,00	271,10	51,47	0,001	365	16,78
210,00	271,10	51,47	0,001	5475	20,79

Fonte: AUTOR 2020

Com o cálculo do rebaixamento do poço durante 15 anos de funcionamento, ou seja, desde 2005, e, de acordo com a Fórmula de Theis, têm-se o valor de 20,79 m.

5.3.1.3.2 Dados de vazão atual do poço

Utilizando os valores de estudos do DAEE e dados do poço atual fornecidos pelo DAERP, teremos alguns parâmetros para serem usados:

$$Q = 232,46 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia};$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,00 \text{ m};$$

$$r = \text{raio};$$

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 15 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 130,16 - 93,37 = 36,79 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 56,97 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 48,66 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 56,97 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que dois deles estão em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposta pelo DAEE. Mesmo assim, levando em consideração o raio de interferência calculado, fazendo $2 \times r$, resultará no valor de 113,94 m, ainda estando abaixo das distâncias em que se encontram.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção e dos dados atuais, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 26).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{5579,04}{4 \cdot \pi * 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(56,97^2 * \frac{0,001}{4 * 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 1,64 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{3,24}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 26: rebaixamento do poço vazão atual para os próximos 15 anos.

POÇO KAISER nº 09					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS					
VAZÃO ATUAL					
$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
232,46	271,10	56,97	0,001	1	8,59
232,46	271,10	56,97	0,001	10	12,36
232,46	271,10	56,97	0,001	365	18,26
232,46	271,10	56,97	0,001	5475	22,70

Fonte: AUTOR, 2020

Com o cálculo do rebaixamento do poço, a projeção para os próximos 15 anos de funcionamento, de acordo com a Fórmula de Theis, têm-se o valor de 22,70 m.

5.3.1.3.3 Dados de vazão reduzida do poço

Utilizando os valores de estudos do DAEE e dados do poço com a vazão reduzida, e, considerando a redução das perdas juntamente com a captação de água do Rio Pardo, têm-se os seguintes parâmetros para serem usados:

$$Q = 93,26 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (redução de 59,88\%);}$$

$$K = 2,60 \text{ m/dia;}$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \text{ m}^2;$$

$$m = 250,00 \text{ m;}$$

$$r = \text{raio;}$$

$$\frac{dh}{dL} = i = 0,001 \text{ (gradiente hidráulico para o aquífero confinado)}$$

$$R_0 = \text{raio do poço} - 150 \text{ mm} - 0,15 \text{ m}$$

$$S_0 = \text{nível dinâmico} - \text{nível estático} = 130,16 - 93,37 = 36,79 \text{ m}$$

Para o cálculo do raio de influência, usando o Método de Wyssling teremos:

$$\|r = 38,59 \text{ m}\|$$

Utilizando-se o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (USEPA, 1987)

$$\|r = 40,05 \text{ m}\|$$

Portanto, a distância radial (r) para o perímetro de alerta adotada será de 40,05 m.

Considerando os outros poços do setor, verifica-se que um deles está em desacordo com o raio mínimo 1.000 metros de distância imposta pelo DAEE. Mesmo assim, levando-se em consideração o raio de interferência calculado, tem-se para $2 \times r$, o valor de 80,10 m, ainda estando abaixo das distâncias em que se encontram.

Pode-se, a partir da determinação do perímetro de proteção e dos dados atuais, estabelecer a projeção do rebaixamento do nível do Aquífero para os próximos 15 anos (Tabela 27).

$$Z = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} * \left[-0,5772 - \ln \left(r^2 * \frac{S}{4 \cdot T * t} \right) \right]$$

$$Z = \frac{2238,24}{4 \cdot \pi \cdot 271,10} * \left[-0,5772 - \ln \left(40,05^2 * \frac{0,001}{4 \cdot 271,10 * t} \right) \right]$$

$$Z = 0,66 * \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{1,60}{1084,4 * t} \right) \right]$$

Tabela 27 rebaixamento do poço com vazão reduzida para os próximos 15 anos.

POÇO KAISER nº 09					
CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - FÓRMULA DE THEIS VAZÃO REDUZIDA					
$Z = \frac{Q}{4\pi sT} * \left[-0,5772 - \ln\left(r^2 * \frac{S}{4sT * t}\right) \right]$					
Vazão Q (m³/h)	Transmissividade T (m²/dia)	Distância r de Observação do poço (m)	Coefficiente de Armazenamento S	Tempo t (dias)	Rebaixamento Z (m)
93,26	271,10	40,05	0,001	1	3,92
93,26	271,10	40,05	0,001	10	5,44
93,26	271,10	40,05	0,001	365	7,82
93,26	271,10	40,05	0,001	5475	9,60

Fonte: AUTOR, 2020

Com isso, a projeção do rebaixamento do poço durante os próximos 15 anos de funcionamento, com a vazão reduzida, de acordo com a Fórmula de Theis, será de 9,60 m, perante o valor de 22,70 m, ou seja, 13,10 m a menos.

Na Tabela 28, tem-se os valores do rebaixamento do nível e o raio de influência correspondente dos três poços analisados.

Tabela 28: Valores do rebaixamento do nível e o raio de influência correspondente dos poços analisados

VALORES DO REBAIXAMENTO E RAIOS DE INFLUÊNCIA									
POÇOS	Rebaixamento do Nível (m)			Raio de Influência (m)					
	Fórmula de Theis			Raio Fixo Calculado			Método de Wyssling		
	$Z = \frac{Q}{4\pi sT} * \left[-0,5772 - \ln\left(r^2 * \frac{S}{4sT * t}\right) \right]$			$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n_s \cdot b \cdot \pi}}$			$r = \left(\frac{Q}{2 \cdot K \cdot \pi \cdot m \cdot i} \right)$		
	Inicial (m)	Atual (m)	Reduzida (m)	Inicial (m)	Atual (m)	Reduzida (m)	Inicial (m)	Atual (m)	Reduzida (m)
09 KAISER	20,79	22,70	16,15	46,25	48,66	40,05	51,47	56,97	38,59
168 JD. PAULISTA	22,57	17,44	12,81	50,72	43,79	36,78	61,84	48,01	32,51
191 JD. DIVA TARLA	15,11	15,38	12,44	48,44	57,74	41,78	56,37	80,24	41,96

Fonte: AUTOR, 2020

Abaixo, observa-se a Tabela 29, com o resumo dos dados dos três poços analisados, incluindo a porcentagem reduzida do rebaixamento em relação ao volume explotado atual.

Tabela 29: Quadro resumo dos poços analisados.

QUADRO RESUMO											
POÇOS	$Q_{inicial}$ (m³/h)	Q_{atual} (m³/h)	$Q_{reduzida}$ (m³/h)	$N_{dinâmico}$ Inicial (m)	$N_{dinâmico}$ Atual (m)	Rebaixamento DAERP (m)	Rebaixamento THEIS Inicial (m)	Rebaixamento THEIS Atual (m)	Rebaixamento THEIS Reduzida (m)	% Rebaixamento (relativo ao atual)	Raio de Influência 2xR máx.(m)
09 KAISER	210,00	232,46	157,46	112,72	130,16	17,44	20,79	22,70	9,60	42,29%	113,94
168 JD. PAULISTA	234,35	181,95	123,25	185,86	203,40	17,54	22,57	17,44	7,65	43,86%	123,68
191 JD. DIVA TARLA	177,00	233,49	122,28	78,15	91,86	13,71	15,11	15,38	9,54	62,03%	160,48

Fonte: AUTOR, 2020

6 CONCLUSÕES

6.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

O sistema de abastecimento de água de Ribeirão Preto atinge hoje uma situação onde torna-se inevitável um rearranjo geral, sob a consequência de um colapso total, tanto dos poços que são as fontes produtoras, como do sistema de distribuição como um todo, formado pelas redes, reservatórios, Estações Elevatórias de Água Tratada, válvulas redutoras de pressão e macromedidores de vazão.

O rendimento dos poços existentes vem caindo, com reflexos no nível dinâmico, parecendo indicar que o manancial está fragilizado, necessitando de estudos mais aprofundados e de cuidados maiores na sua utilização. Na perfuração, deve-se assegurar as vazões de projeto, com o desenvolvimento adequado do poço, sempre primando pela melhor forma de execução.

Precisa-se analisar os poços existentes, garantindo sempre a melhor eficiência, atualizando os equipamentos utilizados, adotando programas operacionais que permitam o revezamento do funcionamento das unidades, favorecendo sua recuperação, evitando com isso a deterioração do sistema de poços existentes, garantindo a permanência do nível de produção, obtendo maior rendimento das unidades aquíferas, com consequente redução dos gastos com energia elétrica e manutenção, fazendo com que as bombas trabalhem sempre no nível ótimo.

Um fator importante é o monitoramento permanente dos poços em funcionamento, e dos que vierem a ser perfurados, tendo constante monitoramento e controle da utilização de agrotóxicos, visando evitar possíveis contaminações das suas águas nas áreas de recarga onde a atividade agrícola é intensa.

Outro fator a ser discutido seria executar maiores estudos para uma possível revisão da Deliberação nº 277/2020 do CBH Pardo, que hoje exige distância mínima entre poços novos de 1.000 metros ou os proíbe, a menos que seja em substituição a um existente, porém as vazões de exploração são iguais para todas as zonas. As restrições poderiam ser determinadas através de estudos, limitando o volume a ser explorado, por exemplo.

Deve-se transformar a totalidade dos reservatórios existentes em reservatórios de montante, para, a partir daí, fazer a distribuição, eliminando com isso as pressões elevadas, diminuindo um grande número de vazamentos e consequentemente reduzindo as perdas reais.

Como consequência, as redes primárias deverão ser expandidas e reforçadas, sendo necessário providências para seccionamentos e interligações controladas entre setores de distribuição.

6.2 PROGRAMA DE GESTÃO, CONTROLE E REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DE RIBEIRÃO PRETO

O Programa de Gestão, Controle e Redução das Perdas de Água de Ribeirão Preto, foi criado com o intuito de corrigir alguns dos problemas encontrados no sistema de abastecimento existente, reduzindo as perdas totais de água. O programa abrange os principais objetivos para redução das perdas reais e aparentes, bem como a mudança do modo como opera o sistema atual. Prevê também, após a implementação do programa, a utilização de um novo manancial de águas superficiais, tornando o sistema misto.

Uma das melhores práticas para redução de perdas de água é a criação dos Distritos de Medição e Controle (DMC). São áreas perfeitamente delimitadas e permanentemente isoladas. Nada mais é que uma técnica para analisar e controlar um sistema de distribuição de água. Primeiro delimita-se os setores de abastecimento, que devem garantir a produção de água, o volume de reservação setorial adequado e a rede de distribuição capaz de suprir com água toda população inerente a cada setor. Após divide-se estes setores em áreas menores criando os DMCs.

Esta técnica é utilizada internacionalmente e é aceita como uma das melhores práticas para a redução de perdas de água.

Oferece várias vantagens, permitindo conhecer o comportamento dos consumos da área, agiliza a identificação da ocorrência de vazamentos na rede, otimiza a gestão das perdas reais e aparentes na rede de distribuição, permite análise dos resultados e possibilita um planejamento efetivo no direcionamento das ações.

Portanto, recomenda-se a setorização do município, pois tal procedimento produzirá impactos positivos expressivos no desempenho hidráulico da rede de distribuição, o que naturalmente, irá melhorar o atendimento ao usuário.

6.3 REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI EM VIRTUDE DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, ESTABELECIDO UMA PROJEÇÃO PARA SEU USO FUTURO

Diante da situação crítica de abastecimento enfrentada atualmente em Ribeirão Preto, onde o sistema produtor encontra-se no limite da sua capacidade, e com a disponibilidade

hídrica subterrânea limitada e cada vez mais comprometida, a utilização da água do Rio Pardo inicialmente de 1,50 m³/s, e a redução das perdas em 22,90%, chegando a 30%, seria possível para atender uma projeção futura de demanda hídrica da cidade.

Tomando por base a estimativa populacional do município para o ano de 2034 de 912.722 habitantes com uma disponibilidade hídrica de 97.954.195 m³/ano de um manancial misto, tem-se o volume disponível de 107,32 m³/hab.ano, ou seja, 294 L/hab.dia. Subtraindo as perdas de 30%, ficaria disponibilizado 226,17 L/hab.dia. O DAERP, para o programa de setorização, após estudos realizados juntamente com a CODERP (Companhia de Desenvolvimento de Ribeirão Preto), estabeleceu como projeção para o consumo médio per capita 217 L/hab.dia, portanto o valor encontrado estaria dentro do necessário para o abastecimento do município.

Precisa-se levar também em consideração o fato de que não está sendo considerado nenhuma perfuração de novos poços até o ano de 2034, o que certamente irá ocorrer, devido ao crescimento da cidade, por consequência, aumentando a reserva disponível. Outro dado importante, é que ainda não estará sendo utilizado a capacidade total autorizada para captação das águas do Rio Pardo que é de 2,75 m³/s, portanto ainda existe uma folga de 1,25 m³/s para uma futura expansão, que daria a quantidade de 39.420.000 m³/ano.

Analisando o rebaixamento dos poços estudados, podemos verificar que:

- para a Zona de Restrição 1 - Poço Kaiser: localizado na área mais restritiva, com a redução da vazão explorada, houve a maior redução do rebaixamento entre os poços estudados, provavelmente devido à interferência maior existente entre os poços do setor. Verifica-se também que, mesmo com o raio de influência calculado sendo menor do que a distância real dos poços do setor, ainda existe um rebaixamento do nível do aquífero, concluindo que a recarga está inferior ao que está sendo retirado;
- para a Zona de Restrição 2 – Poço Jardim Paulista: mesmo com a vazão reduzida, o rebaixamento ocorreu, provavelmente devido à interferência entre os poços, mesmo com o raio de influência calculado sendo menor que a distância real entre eles. Verifica-se também que a vazão deste poço e dos demais do setor, vem caindo ao longo do tempo, o que nos faz concluir que trata-se de um setor com fragilidade hídrica;
- para a Zona de Restrição 3 - Poço Jardim Diva Tarla: mesmo estando localizado na área de recarga, o rebaixamento foi o que menos sofreu diminuição, mesmo atendendo a distância correta do raio de influência determinado pelo CBH Pardo, o que nos leva a crer que a vazão explorada está acima da capacidade do aquífero de reposição.

Com as análises das vazões a serem exploradas, é certo de que em algum momento teremos uma saturação deste quantitativo, fazendo com que tenhamos preocupações com o abastecimento futuro para nossos descendentes, sempre buscando melhores tecnologias, maneiras e alternativas de racionalização e preservação de nossos mananciais para que o futuro da humanidade não esteja comprometido.

Posto isto, se faz necessário a continuidade de captação da água do aquífero guarani. O Rio Pardo por si só não tem capacidade suficiente para abastecer a população do município de Ribeirão Preto, portanto ele serviria apenas como uma alternativa para a minimização da exploração do aquífero, diminuindo sua velocidade de rebaixamento e prolongando sua vida útil, até que estudos mais aprofundados sejam feitos.

O crescimento acelerado da população tem reflexos diretos no aumento da demanda por água, na extração excessiva do aquífero, no desperdício, no uso irracional, na poluição, na contaminação e na degradação dos mananciais. Somados, estes fatores certamente levarão, em poucas décadas, a uma crise no abastecimento e na disponibilidade de água.

A necessidade de água cresce numa proporção duas vezes maior do que o aumento da população. A deterioração das reservas de águas superficiais e subterrâneas ocorre ao mesmo tempo em que não se racionaliza o seu consumo. A projeção da população para o ano de 2034, indica que estaremos bem próximos do limite explorável mesmo incluindo a captação de um novo manancial, estando sob condições de disponibilidade hídrica precária.

As mudanças de atitude com relação ao uso e conservação da água só serão possíveis através da intensificação de programas de educação ambiental e da conscientização da sociedade de que a água, apesar de abundante, não é inesgotável. Concluindo, a água é um recurso natural em crescente processo de escassez e deterioração, e está cada vez mais caro e mais difícil disponibilizá-la para consumo, seja nas torneiras de nossas casas, seja na agricultura ou na indústria. Hoje já existem fontes alternativas de energia, que não o combustível fóssil (petróleo), mas a água será sempre insubstituível para a humanidade e para o meio ambiente.

É urgente a conscientização da sociedade para a necessidade do uso adequado da água, e mais importante ainda é que essa conscientização venha acompanhada pela mudança nos padrões de conduta e hábitos, pelos consumidores individuais, com relação ao seu uso e conservação, evitando o desperdício, o que significaria entender a diferença entre racionalizar e racionar.

REFERÊNCIAS

A CIDADE ON. Aquífero Guarani: há milhões de anos nos dá a água nossa de cada dia, 2016, Ribeirão Preto, SP. Disponível em:

<https://www.acidadeon.com/ribeiraopreto/cotidiano/policia/NOT,2,2,1175788,Aquifero+Guarani+ha+milhoes+de+anos+nos+da+a+agua+nossa+de+cada+dia.aspx>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil, abastecimento urbano de água: resultados por estado. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, 2010, Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil, abastecimento urbano de água: panorama nacional. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, 2010, Brasília, DF.

BARBOSA JUNIOR, ANTENOR RODRIGUES. Elementos de Hidrologia Aplicada 11 - Água Subterrânea - Hidráulica de Poços, 2000.

BORGHETTI, NADIA RITA BOSCARDIM; BORGHETTI, JOSÉ ROBERTO e ROSA FILHO, ERNANI FRANCISCO da. A Integração das águas, revelando o verdadeiro Aquífero Guarani, 2011, Curitiba, PR.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde, Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS, 2014, Brasília, DF.

CAVICCHIA, MARCELO EDUARDO. Desenvolvimento de Modelo Numérico para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos na Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2007, São Carlos, SP.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARDO (CBH PARDO). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, 2019, Ribeirão Preto, SP.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, 2018, São Paulo, SP.

DAKER, ALBERTO. Captação, Elevação e Melhoramento da Água. A Água na Agricultura – 2 o volume, 6a edição. Livraria Freitas Bastos, 1983.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE), LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIAS (LEBAC). Águas subterrâneas no Estado de São Paulo, Diretrizes de Utilização e Proteção, 2013, São Paulo, SP.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); INSTITUTO GEOLÓGICO (IG); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT); SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, 2005, São Paulo, SP.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE RIBEIRÃO PRETO (DAERP). Programa de Gestão, Controle e Redução das Perdas de Água, 2019, Ribeirão Preto, SP.

FRAGOSO JR, CARLOS RUBERTO; NEVES, MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS das. Águas Subterrâneas e Hidráulica de Poços, 2020. Disponível em: <https://images.app.goo.gl/ZCNfLFNXQDsq2mmd6>.

HAMMER, MARK J. Water and Wastewater Technology. John Wiley & Sons, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Rio de Janeiro, RJ, 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento Básico 2019, São Paulo, SP.

IRITANI, MARA AKIE; EZAKI, SIBELE. Roteiro Orientativo para Delimitação de Área de Proteção de Poço, 2012, Instituto Geológico, São Paulo, SP.

LAURENTIS, LAURA BARZAGHI de. Moradores em ação: constituição da paisagem no bairro Ribeirão Verde, em Ribeirão Preto, SP. Dissertação de Mestrado, 2010, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

LENCASTRE, ARMANDO. Hidráulica Geral. Edição Luso-Brasileira. Hidroprojecto. Coimbra, Portugal, 1983.

LEME, FRANCILIO PAES. Engenharia do Saneamento Ambiental, 1984, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ.

MACHADO, JOSÉ LUIZ FLORES. A Redescoberta do Aquífero Guarani, 2006. Revista Scientific American Brasil. São Paulo, Duetto, v.47. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14836/1/art_machado.pdf

MANZIONE, R. L.; NORONHA, F. F.; WENDLAND, E. C. Funções de impulso e resposta aplicadas à modelagem de níveis freáticos em área de recarga do sistema Aquífero Guarani. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 18, 2009, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande: abrh, 2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento, SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2018, Brasília, DF.

MIRANDA, ERNANI CIRÍACO de. Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM - 57/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 200p.

MONTEIRO, R. C. Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP). Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, 2003.

MONTENEGRO, A. A. A.; RIGHETTO, A. M.; SINELLI, O. Modelação do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto. 1. Descrição do domínio. *In: CONGRESSO BRASILEIRO*

DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1988, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABAS, 1988. p. 32-41.

MOTTA, RENATO GONÇALVES da. Importância da Setorização Adequada para Combate às Perdas Reais de Água de Abastecimento Público. Dissertação de Mestrado, 2010, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

PERRONI, J.; BRAGA, L. V.; PERRONI, H. P. Critérios para gerenciamento da exploração do aquífero Guarani em Ribeirão Preto – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XX, 2018, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: ABAS, 2019. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29298>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORCIÚNCULA (PMP). Plano Municipal de Saneamento Básico, Produto 9, Relatório Regional, Caderno 1, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO (PMRP). Plano Municipal de Saneamento Básico de Ribeirão Preto, 2016.

REBOUCAS, A. C. Panorama da Água Doce no Brasil. In: REBOUCAS, Aldo da Cunha (Org.). Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997.

REZENDE, DANILO; BENTO, CASSIO MICHELON. Análise da Possível Captação de Água do Rio Pardo para Abastecimento em Ribeirão Preto – SP, 2018, Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade – V.11 n.7. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/meioAmbiente/issue/archive>

SILVA, FLÁVIO DE PAULA E; KIANG, CHANG HUNG; CHANG, MARIA RITA CAETANO E SINELLI, OSMAR. Arcabouço geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto (SP), 2008, Revista Brasileira de Geociências. Disponível em: www.sbgeo.org.br.

SINELLI, O. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos – município de Ribeirão Preto (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, III, 1984, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ABAS, 1984. p. 450-464.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA/SP) e SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, SAÚDE E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DE BAVIEIRA (StMUGV/BAVIEIRA). **Projeto – “Sistema de informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídrico subterrâneos na área de afloramento do aquífero Guarani no estado de São Paulo”**. Relatório Técnico. 2004. São Paulo.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; HOLZ, M. Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v.38, n. 4, p. 598-617, 2008.

SOUSA, LARISSA BUENO PEREIRA BRAZIELLAS. Avaliação das Possíveis Fontes Poluidoras do Poço Tubular que Abastece o Campus Paricarana da UFRR, Boa Vista, RR, 2016.

STURARO, J. R.; LANDIM, P. M. B. Eduto do nível piezométrico por análise geoestatística. **Revista Geociências**. São Paulo, n. 7, p. 201-210, 1988.

TEIXEIRA, WILSON; TOLEDO, MARIA CRISTINA MOTTA de; FAIRCHILD, THOMAS RICH; TAIOLI, FABIO e KARMANN, IVO. Decifrando a Terra, Oficina de Textos, 2000. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/apostila%20cefet%20agua%20subterranea.pdf>

TSUTIYA, MILTON TOMOYUKI. Abastecimento de Água, 3ª edição, 2007. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

TUCCI, CARLOS E. M.. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Ed. da UFRGS; ABRH; EDUSP, 1983.

VILLAR, PILAR CAROLINA. Gestão das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani: o caso do município de Ribeirão Preto, São Paulo, 2008, Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

VILLAR, PILAR CAROLINA; RIBEIRO, WAGNER COSTA. Sociedade e gestão do risco: o aquífero Guarani em Ribeirão Preto-SP, Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, 2009.

VILLELA, SWAMI MARCONDES; MATTOS, ARTHUR. Hidrologia Aplicada. S. Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.