



Gerenciamento da Exploração do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto – SP

Contrato FEHIDRO nº 213/2019

RELATÓRIO FINAL

Abril/2021

Revisão 1



Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia



GeoWater – Assessoria, Projetos e Comércio Ltda. - EPP
Av. Rodrigo F. Grillo, 207, sab 1905 – Jd dos Manacás – Araraquara – SP – CEP 14801-534
Tel.: 16 3014 0869 e 3324 7859 – email: geowater@geowater.com.br

Solow - Consultoria Econômica e Empresarial Ltda

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Objetivos.....	2
3. Resumo dos principais estudos anteriores.....	2
4. Caracterização geral e localização.....	6
5. Aspectos geológicos e hidrogeológicos da área.....	8
5.1. Unidades aquíferas.....	14
6. Atualização do banco de dados de poços	15
7. Análise de dados geológicos e hidrogeológicos	18
7.1. Geometria das camadas	18
7.2. Parâmetros hidráulicos.....	24
7.3. Análise dos dados de monitoramento piezométrico	29
7.4. Análise da distribuição espacial dos volumes explorados.....	34
7.5. Reservas de água subterrânea	37
8. Projeto do DAERP para o abastecimento de água	41
9. Consumo de energia elétrica.....	53
10. Estudos econômicos	57
10.1. <i>Adaptação do Modelo de Markowitz</i>	67
10.2. <i>Modelo com dois ativos</i>	74
10.3. <i>Modelo com três ativos</i>	81

10.4. Estimativas de cenários futuros	87
11. Análise econômica de alternativas.....	96
11.1. Simulações Grupo 1.....	99
11.2. Simulações Grupo 2.....	105
11.3. Simulações Grupo 3.....	111
12. Prognósticos e cenários futuros	113
12.1. Superexploração do SAG	114
12.2. Crescimento populacional e demanda de água	114
12.3. Consequências da superexploração	115
12.4. Estratégias de mitigação da superexploração.....	116
13. Plano de gerenciamento.....	120
13.1. Banco de dados operacionais dos poços.....	121
13.2. Sistema de monitoramento operacional dos poços	122
13.3. Monitoramento de qualidade da água	123
13.4. Relatórios gerenciais	124
13.5. Modelos numéricos	125
Referências bibliográficas.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Limites da área de estudo e do município de Ribeirão Preto indicados sobre imagem do Google Earth.....	8
Figura 5-1: Coluna crono-estratigráfica da área de estudo, segundo (Massoli, 2019).	9
Figura 5-2: Recorte do mapa geológico simplificado da região de Ribeirão Preto/SP (adaptado de Sinelli, 1973), com indicação da falha normal e a posição das secções C-D e E-F, propostas por (Massoli, 2019)	12
Figura 5-3: Secção Geológica C-D, conforme (Massoli, 2019).....	13
Figura 5-4: Secção Geológica E-F, conforme (Massoli, 2019)	13
Figura 7-1: Localização dos poços em operação (círculo preenchido em azul escuro), desativados (círculo vermelho sem preenchimento) e poços de monitoramento piezométrico (círculo preenchido em vermelho)	19
Figura 7-2: Superfície de tendência de isópacas da Fm. Serra Geral	21
Figura 7-3: Superfície de tendência de isóbatas do topo da Fm. Botucatu	23
Figura 7-4: Superfície de tendência piezométrica estática	24
Figura 7-5: Superfície de tendência da superfície piezométrica dinâmica (m) nos poços em operação.....	25
Figura 7-6: Superfície de tendência dos valores de capacidade específica dos poços (m ³ /h/m).27	
Figura 7-7: Superfície de tendência da espessura confinada do Aquífero Guarani.....	29
Figura 7-8: Localização dos poços de monitoramento piezométrico	31
Figura 7-9: Gráficos de evolução da cota piezométrica nos poços monitorados	32

Figura 7-10: Superfície de tendência da taxa de abatimento piezométrico (m/ano).....	34
Figura 7-11: Vazão outorgada anual dos poços (1.000 m ³ /ano), com indicação das áreas com aquífero livre	36
Figura 7-12: Balanço hídrico do solo – IAC (http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/)	39
Figura 8-1: Perímetro urbano, área de expansão e localização de novos empreendimentos urbanísticos	42
Figura 8-2: Projeto de setorização representado sobre mapa planialtimétrico (parcial) – numeração dos setores conforme consta na Tabela 8-4	46
Figura 8-3: Classificação dos setores por demanda (mm/ano).....	50
Figura 8-4: Componentes do Sistema de Monitoramento	52
Figura 8-5: Funcionamento do Sistema de Monitoramento.....	52
Figura 9-1: Consumo unitário de energia elétrica dos poços em 2019 (kWh/m ³) x Vazão específica (m ³ /h.m)	57
Figura 12-1: Risco Idiossincrático e Risco Sistêmico - (Berk und DeMarzo, 2007).....	64
Figura 12-2: Fronteira Eficiente- (BREALEY u. a., 2018)	66
Figura 10-3: Correlação- (Berk und DeMarzo, 2007)	67
Figura 10-4: PARECER CONSOLIDADO No28/2019-CRBG - ARES-PCJ	73
Figura 10-5: Fronteira Eficiente - Simulação 1	88
Figura 10-6: Fronteira Eficiente - Simulação 2	89
Figura 10-7: Fronteira Eficiente - Simulação 3	90

Figura 10-8: Evolução da população de Ribeirão Preto	92
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6-1: Distância mínima entre poços em metro	17
Tabela 7-1: Poços com dados de perfil geológico	20
Tabela 7-2: Poços do programa de monitoramento piezométrico.....	30
Tabela 7-3: Taxa de abatimento piezométrico.....	33
Tabela 7-4: Dados de vazão outorgada (DAERP).....	35
Tabela 7-5: Estimativa da reserva permanente	38
Tabela 7-6: Estimativa da reserva reguladora.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 7-7: Simulação de vida útil da reserva reguladora	40
Tabela 8-1: Dados e projeções adotados pelo DAERP	42
Tabela 8-2: Densidade e projeção populacional	43
Tabela 8-3: Orçamento da setorização	45
Tabela 8-4: População projetada dos setores de abastecimento	47
Tabela 8-5: Demanda de água para atender a população projetada	48
Tabela 8-6: Demanda por unidade de área dos setores (mm/ano).....	49
Tabela 8-7: Legenda da classificação de setores por demanda	50
Tabela 8-8: Recomendação de poços com prioridade para implantação de sistema de monitoramento	53
Tabela 9-1: Dados de consumo de energia elétrica dos poços em 2019.....	55

Tabela 9-2: Valores calculados de consumo unitário de energia elétrica em 2019	56
Tabela 10-1: Modelo com 2 ativos	77
Tabela 10-2: Modelo com 2 ativos	78
Tabela 10-3: Modelo com 2 ativos	78
Tabela 10-4: Modelo com 2 ativos	80
Tabela 10-5: Modelo com 3 ativos	84
Tabela 10-6: Modelo com 3 ativos	85
Tabela 10-7: Modelo com 3 ativos	86
Tabela 10-8: Modelo com 3 ativos	86
Tabela 10-9: Modelo com 3 ativos	88
Tabela 10-10: Evolução do consumo per capita	91
Tabela 10-11: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%.....	93
Tabela 10-12: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%.....	93
Tabela 10-13: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%.....	94
Tabela 10-14: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%.....	94
Tabela 10-15: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%.....	94
Tabela 10-16: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%.....	95
Tabela 11-1: Simulações Grupo 1	99
Tabela 11-2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização)	102

Tabela 11-3: Simulações Grupo 2	106
Tabela 11-4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização)	107
Tabela 11-5: Simulações Grupo 3	113

Gerenciamento da Exploração do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto

1. INTRODUÇÃO

O presente documento constitui o **Relatório Final**, do empreendimento “Gerenciamento da Exploração do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto”, objeto do Contrato **FEHIDRO** nº 213/2019, firmado com a **FUNDACE** - Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia, CNPJ nº 04.997.921/0001-21, sediada na Rua Bernardino de Campos, nº 1001 – Sala 401 – Centro, Ribeirão Preto/SP, CEP 14015-130.

Para realização dos estudos a **FUNDACE** contratou as empresas: 1) **Geowater** Assessoria, Projetos e Comércio Ltda. – EPP, CNPJ: 04.997.921/0001-21, localizada na Av. Rodrigo F. Grillo, 207, sala 1905, Jardim dos Manacás, Araraquara/SP, CEP 14801-534, sob a coordenação e responsabilidade técnica do Geólogo e Mestre em Engenharia **Julio Cesar Arantes Perroni** - CREA-SP: 0600539473 - ART nº: 28027230200536867; e 2) **Solow** - Consultoria Econômica e Empresarial Ltda., CNPJ: 31.539.872/0001-56, localizada na Av. Portugal, 1690, Apto 41, Bairro Jd São Luiz, Ribeirão Preto/SP, CEP 14020-380, sob a coordenação do Economista, Professor Doutor **Bruno Cesar Aurichio Ledo**.

Todas as atividades foram realizadas à distância, utilizando as redes digitais de comunicação e transmissão dos dados e informações, em função da decretação da quarentena para controle da proliferação do coronavírus que, no Estado de São Paulo, foi iniciada, em 24/03/2020, com duração prevista inicialmente de 15 dias, e posteriormente estendida sucessivamente até o dia 09/04/2021, restringindo as atividades presenciais em empresas e órgãos públicos em todo o território estadual.

A base de dados utilizada foi compilada de estudos realizados anteriormente atualizada e complementada com dados e informações gentilmente fornecidos pelo DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica e DAERP – Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse projeto é prosseguir com o detalhamento e aprofundamento do conhecimento do Aquífero Guarani no Município de Ribeirão Preto, com ênfase na proteção e o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. O termo de referência submetido à aprovação do FEHIDRO prevê a definição de um sistema de gerenciamento da exploração e com os seguintes objetivos de curto prazo:

1. Monitoramento da evolução do cone de abatimento piezométrico;
2. Detalhamento e avaliação das condições técnicas e econômicas de implantação de um sistema integrado de gerenciamento da exploração do Aquífero Guarani Município em Ribeirão Preto;
3. Definição da metodologia de coleta, tratamento e divulgação de informações técnicas, monitoramento e fiscalização do cumprimento das diretrizes;
4. Definição de atribuições, responsabilidades e critérios de decisão para implantação e operação do sistema; e
5. Definição de metas anuais de redução de desperdícios, priorização de uso da água e equalização do déficit hídrico por unidade de área.

3. RESUMO DOS PRINCIPAIS ESTUDOS ANTERIORES

O gerenciamento da exploração do Aquífero Guarani, no Município de Ribeirão Preto, apresenta aspectos críticos decorrentes de conflitos de uso indevido da água, desperdício e do quadro de

superexploração que tem sido apontado em inúmeros estudos que vêm sendo realizados desde a década de 1980.

A seguir são relacionados os principais estudos realizados anteriormente que indicaram a necessidade de criação de áreas de restrição e controle, de acordo com o procedimento estabelecido pela Deliberação CRH 52/2005:

- SINELLI, O. 1984. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos no município de Ribeirão Preto, SP. Anais 3o. Cong. Bras. Ag. Subt., ABAS, Fortaleza: 450 – 464.
- MONTENEGRO, A.A.A.; Righetto, A.M.; Sinelli, O. 1988. Modelação do Manancial Subterrâneo de Ribeirão Preto. 1. Descrição do domínio. In: V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, SP. Anais. ABAS, São Paulo, 32-41.
- FIPAI (Fundação Para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial). 1996. Relatório técnico do Projeto de Gestão da Quantidade de Águas Subterrâneas. Ribeirão Preto, SP, 43 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/INSTITUTO GEOLÓGICO (ORG.). 2003. Projeto de Proteção e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani: Memória Seminário Aquífero Guarani 17 a 19 de setembro de 2003. Ribeirão Preto, SP, 232 pg.
- MONTEIRO, R.C. Estimativa Espaço-Temporal da Superfície Potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na Cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente) – UNESP – Rio Claro, SP, 2003.
- AQUA BAVARIA GUARANI. Gerenciamento de Aquíferos: Um exemplo de Solução Integrada para a Criação de Áreas de Proteção de Captações destinadas ao Abastecimento Público com Uso de Modelos de Sustentabilidade e Sistemas Avançados de Suporte de Tecnologia de Informação. São Paulo: 2004. p. 41.
- CAVICCHIA, M. E. Desenvolvimento de Modelo Numérico para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos na Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento) – USP – São Carlos, SP, 2007.

-
- O “Projeto Piloto Ribeirão Preto”, inserido na Componente V, do Projeto para Proteção Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG), foi realizado sob o auspício do Banco Mundial (GEF), pela Organização dos Estados Americanos (OEA), apoiado pelos quatro países (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai). Concluído em 2009, o projeto possibilitou a geração de um marco comum institucional, legal e técnico para diligenciar e preservar o SAG para gerações atuais e futuras.
 - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA/SP). 2008. Memória/II Congresso Aquífero Guarani, 4 a 7 de novembro de 2008. Ribeirão Preto, SP, 207 pg.
 - VILLAR, P. C. Gestão das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani: o Caso do Município de Ribeirão Preto, São Paulo. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – USP – São Paulo, SP, 2008.
 - O projeto “Desenvolvimento de Modelo Numérico para a Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto” (EESC/USP, Contrato FEHIDRO 047/2005), que constituiu a Investigação Confirmatória, conforme o procedimento estabelecido na Deliberação CRH 52, possibilitou avaliar e delimitar a poligonal da Área de Restrição e Controle de uso de água subterrânea, instituída em caráter provisório em 2006. A Deliberação CBH-Pardo nº 04/2006 foi homologada pela Deliberação CRH nº 65/2006, nos termos da Deliberação CRH nº 52/2005 e instituiu as diretrizes para a definição da Área de Restrição e Controle, conforme estabelecido no Decreto Estadual nº 32.955/1991 e vem sendo reti-retificada anualmente, e equivale atualmente à Deliberação 229/16 do CBH-Pardo.
 - FUNDAG/GEOWATER. Relatório Final sobre Piezometria e Qualidade da Água. Projeto Pardo 175 "Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani Área Piloto de Ribeirão Preto". Contrato Secofehidro 348/2010, Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – FUNDAG – 819, 2017.

Em 2010, foi firmado contrato, com recursos do FEHIDRO, para desenvolvimento do projeto “Piezometria e Qualidade da Água: Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani Área Piloto de Ribeirão Preto” tendo como tomador /executor a FUNDAG - Fundação de Apoio a Pesquisa Agrícola, cujo relatório final teve a participação da empresa Geowater e foi entregue em 2017, apresentando os dados dos monitoramentos

piezométrico e de qualidade da água realizados no período de 2013 a 2016. Esse projeto ratificou, uma vez mais, o cenário local de superexploração progressiva do Aquífero Guarani e que os critérios de restrição adotados limitando a perfuração e distâncias entre poços, não atenderam satisfatoriamente, pois não impediram o aumento de cerca de 39% no volume de água explorado no período de 2005 a 2016, em grande parte, dentro das zonas 1 e 2, destinadas exclusivamente ao abastecimento público. O estudo indicou ainda que: o monitoramento piezométrico nos poços localizados na área de ocorrência do aquífero livre evidenciam ciclos sazonais de recarga, os quais não são observados nos poços localizados na área confinada, sugerindo que a eventual existência de conexão hidráulica entre as essas duas áreas é insuficiente para caracterizar a primeira como área de recarga da segunda. Para melhorar a efetividade das zonas de restrição e controle, o estudo recomendou a adoção de um modelo de gerenciamento baseado no controle do volume extraído, por unidade de área, estabelecendo metas de redução progressiva do déficit hídrico, na área central do cone de rebaixamento, a ser compensada por meio da produção de água por poços perfurados em áreas periféricas da cidade. O relatório recomenda ainda a continuidade, a ampliação e a readequação do monitoramento, incluindo os volumes mensais de água extraída do aquífero, alimentando um banco de dados digital, com a geração de relatórios gerenciais mensais e anuais.

Com base na sistematização, análise e interpretação dos dados de Monitoramento Piezométrico do Aquífero Guarani, realizados no período de 2013 a 2016, o último estudo realizado conclui que:

1. Apesar da superexploração local do Aquífero Guarani já ter sido diagnosticada há mais 40 anos, os registros de dados de piezometria e de vazão captada ainda continuam precários e incompletos;
2. As ações de restrição e controle, vigentes desde 2006, não estão sendo suficientes para reverter ou reduzir a taxa de avanço do cenário local de superexploração, provavelmente devido ao aumento de cerca de 40% da vazão extraída, nas Zona 1 e 2 destinadas exclusivamente ao abastecimento público;

-
3. O monitoramento piezométrico nos poços localizados na área de ocorrência do aquífero livre evidenciam ciclos sazonais de recarga que não são observados nos poços localizados na área confinada, sugerindo que a eventual existência de conexão hidráulica entre as essas duas áreas é insuficiente para caracterizar a primeira como área de recarga da segunda;
 4. O monitoramento piezométrico deve ser continuado, ampliado e readequado, incluindo os volumes mensais de água extraída do aquífero; e
 5. Os dados produzidos pelo sistema de monitoramento devem alimentar um banco de dados digital, com a geração de relatórios gerenciais mensais e anuais.

4. CARACTERIZAÇÃO GERAL E LOCALIZAÇÃO

O município de Ribeirão Preto, criado em 6 de setembro de 1892, possui 651 km² e população estimada, em 2020, de 706.281 habitantes, sendo 99,7% em área urbana, situado no Nordeste do Estado de São Paulo, distando 313 km da capital do estado, tendo como confrontantes ao sul, Guatapará; a sudeste, Cravinhos; ao norte, Jardinópolis; a leste, Serrana; ao oeste, Dumont; a noroeste, Sertãozinho; e ao nordeste, Brodowski.

A sede municipal está localizada no centro de um entroncamento de seis importantes e modernas rodovias, possibilitando a interligação com importantes cidades e polos econômicos dos estados de São Paulo e de Minas Gerais, tais como: Araraquara, Bauru, Barretos, Campinas, Franca, Limeira, São Carlos, São José do Rio Preto, Uberaba e Uberlândia.

A economia local está baseada na agropecuária, indústria, comércio e serviços, destacando-se na área rural as culturas de cana de açúcar, frutas cítricas e pastagens.

O município está inserido na unidade de gerenciamento de recursos hídricos UGRHI-4, sub-bacia do Rio Pardo, que abrange, total ou parcialmente, 30 municípios, com área total de 13.585 km². O Município de Ribeirão Preto possui as menores disponibilidades hídricas da UGRHI-4, sendo 474 m³/hab.ano de água superficial e 49 m³/hab.ano de água subterrânea, com o

comprometimento de 464% das reservas explotáveis de recursos hídricos subterrâneos. A situação é considerada “crítica” de acordo com os valores de referência adotados, que resulta na recomendação de ação programática para “efetuar estudos que identifiquem as áreas de proteção máxima e de recarga do Aquífero Guarani, propondo uso disciplinado nessas áreas, visando à preservação dos mananciais subterrâneos” (CBH-Pardo, RS 2016).

A área de estudo, equivale a uma quadrícula de 20 x 20 km, delimitada pelas coordenadas UTM (E-O) 200-220 km e (N-S) 7.645-7.665 km, que abrange a mancha urbana da sede do Município de Ribeirão Preto (**Figura 4-1**), onde foram compilados e analisados os dados dos poços tubulares que captam o Sistema Aquífero Guarani e que são utilizados no sistema de abastecimento público de água.

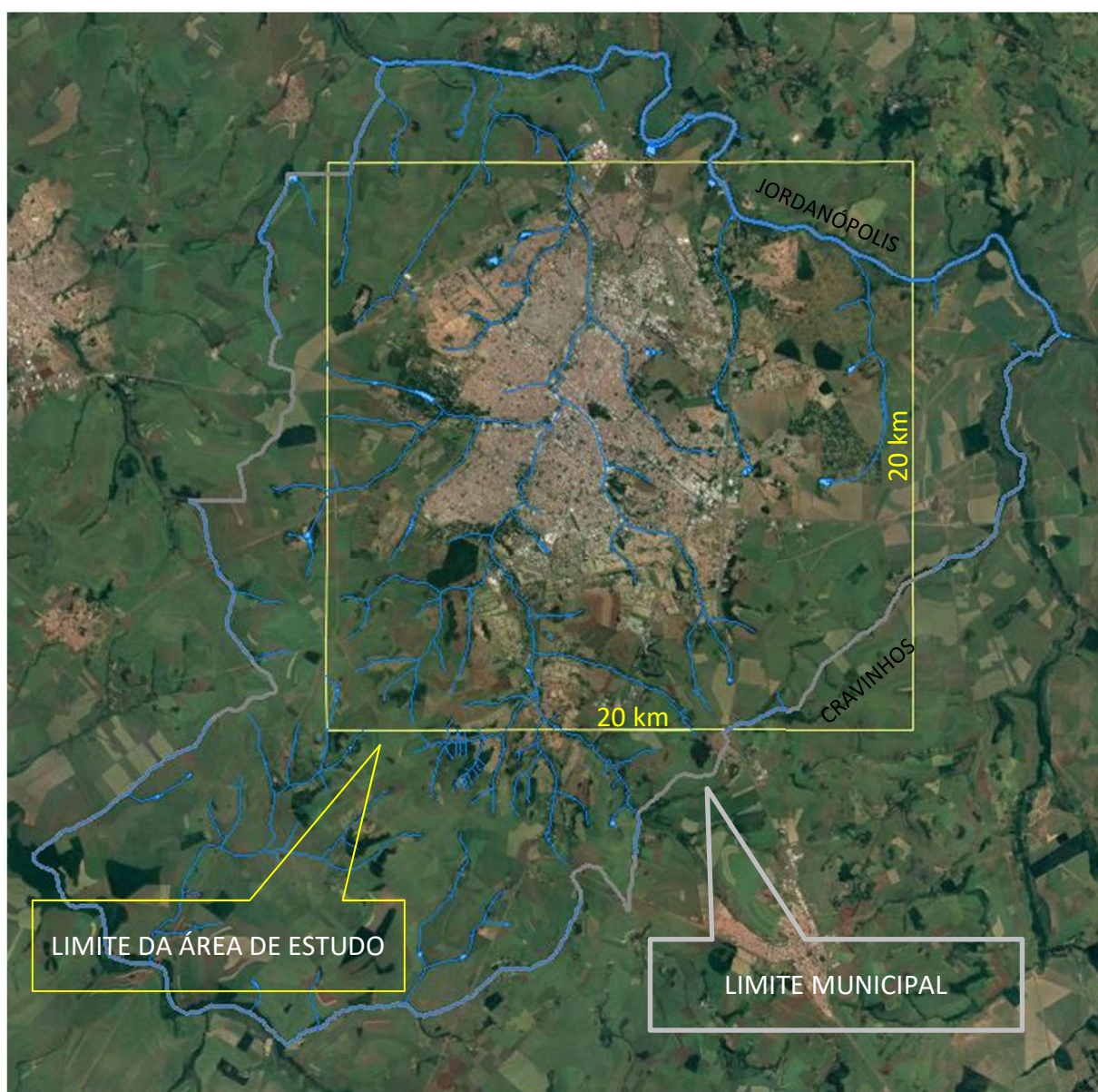


Figura 4-1: Limites da área de estudo e do município de Ribeirão Preto indicados sobre imagem do Google Earth

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA

A **Figura 5-1** apresenta a coluna crono-estratigráfica da área de estudo, segundo (Massoli, 2019), indicando que as seguintes unidades afloram em superfície: Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Coberturas Cenozoicas Indiferenciadas e Depósitos Aluvionares Holocênicos e que as formações Pirambóia e Corumbataí ocorrem apenas em sub superfície. Essa coluna estratigráfica

representa apenas as unidades estratigráficas da sequência denominada Gondwana III (MILANI et al, 2007). As camadas mais antigas, pertencentes aos Grupos Passa Dois, Guatá e Tubarão, são totalmente desconhecidas, sendo que nenhuma perfuração já realizada na área avançou abaixo da cota 150 m. Mesmo sem conhecer a composição e a espessura das camadas inferiores, mas com base nas características já conhecidas de outros locais, pode-se supor que incluam níveis aquíferos contendo água salina.

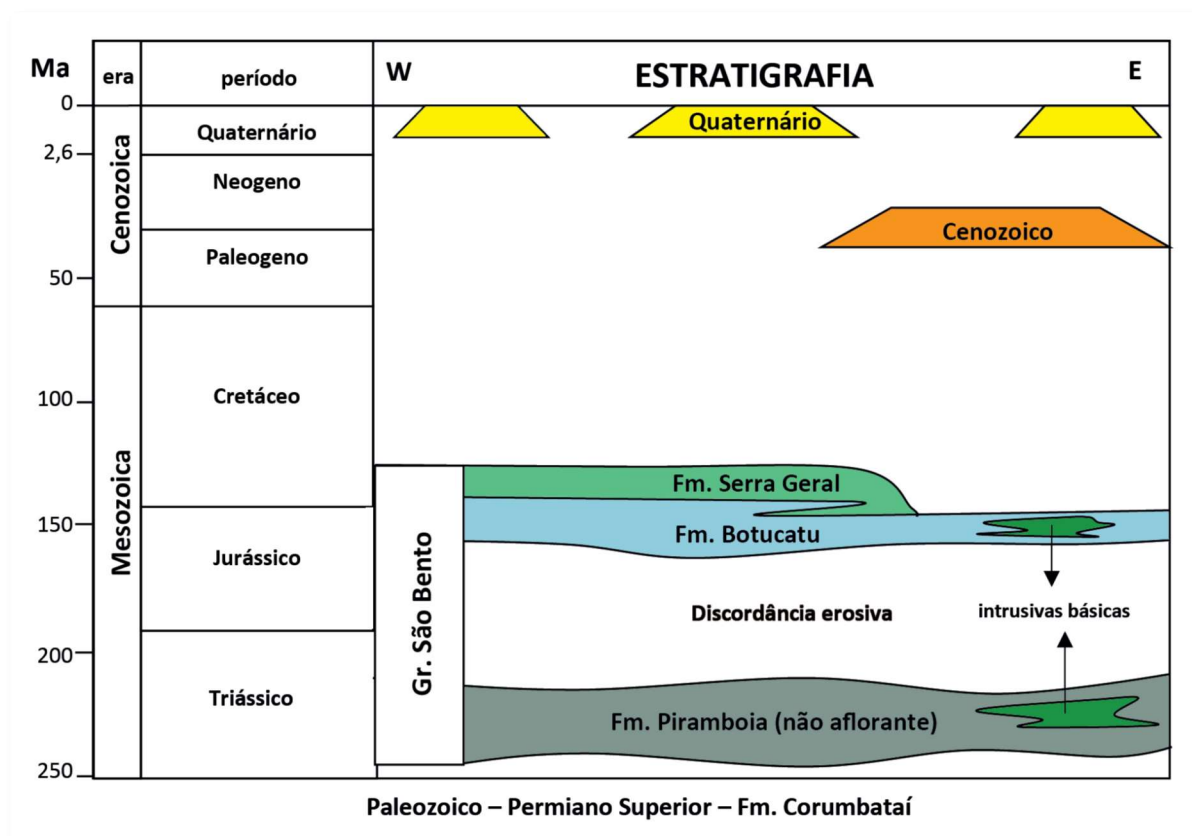


Figura 5-1: Coluna cron-estratigráfica da área de estudo, segundo (Massoli, 2019).

A **Formação Corumbataí** é composta predominantemente por siltitos argilosos com intercalações de siltitos arenosos, ocorre apenas em sub superfície abaixo da altitude de 250 m e foi atingida em poucos dos poços.

A **Formação Piramboia**, não aflorante na área, sendo marcado por arenito grosso a conglomerático no topo, corresponde a fácies de leques aluviais, com espessura média

estimada de 190 m. A espessura máxima perfurada na Formação Pirambóia, na área estudada, foi de 250 m, contudo, sem atingir o topo da Formação Corumbataí, sotoposta.

A **Formação Botucatu**, apresenta contato discordante, com a Fm. Pirambóia, recoberta pelos basaltos da Formação Serra Geral na porção centro-oeste da área e por coberturas coluvionares cenozoicas na parte centro-leste, é composta por arenitos finos a médios, bem selecionados, rosados, avermelhados ou esbranquiçados, com espessura bastante variável, entre 50 e 120 m, de maneira que o conjunto das formações Botucatu / Piramboia tem espessura total variando entre 250 e 300 m.

A **Formação Serra Geral** é composta por rochas efusivas do tipo basaltos, em empilhamento de derrames, possui espessura que aumenta de leste para oeste, variando de 30 a 160 m, atingindo o máximo de 195 m, e engloba corpos intrusivos de diabásio.

A **Figura 5-2** apresenta um recorte do **mapa geológico** de Ribeirão Preto – SP, conforme GEOWATER (2017) ¹, englobando o traçado em vermelho da posição sugerida por (Massoli, 2019) de uma falha normal na qual o bloco NE, que apresenta-se soerguido, bem como as localizações

-
- ¹ **Topografia**: mapa viário municipal de Ribeirão Preto, escala 1:20.000, elaborado pela Prefeitura Municipal, 2010, com informações de sistema viário, uso do solo urbano, hidrografia, limites de jurisdição, linhas de transmissão de energia e gasodutos; e **Geologia**: mapa geológico do nordeste do Estado de São Paulo, escala 1:50.000 - Folhas de Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos e Bonfim Paulista. Convênio CNEC/FFCL- Ribeirão Preto-USP, SINELLI (coord.), 1973, digitalizado em ArcGis pelo IG em 2002-2004.

das seções geológicas (**Figura 5-3** e **Figura 5-4**), elaboradas por (Massoli, 2019), com base em dados relativos a 60 poços, sendo 13 de Sertãozinho, 1 de Jardinópolis, 1 de Dumont e 45 de Ribeirão Preto, perfurados antes de 2016, dos quais 11 com perfil geofísico.

Para facilitar o entendimento das seções e a visualização da disposição espacial das camadas geológicas na área estudada, foram adicionadas às figuras (**Figura 5-3** e **Figura 5-4**) a indicação da posição aproximada da falha normal.

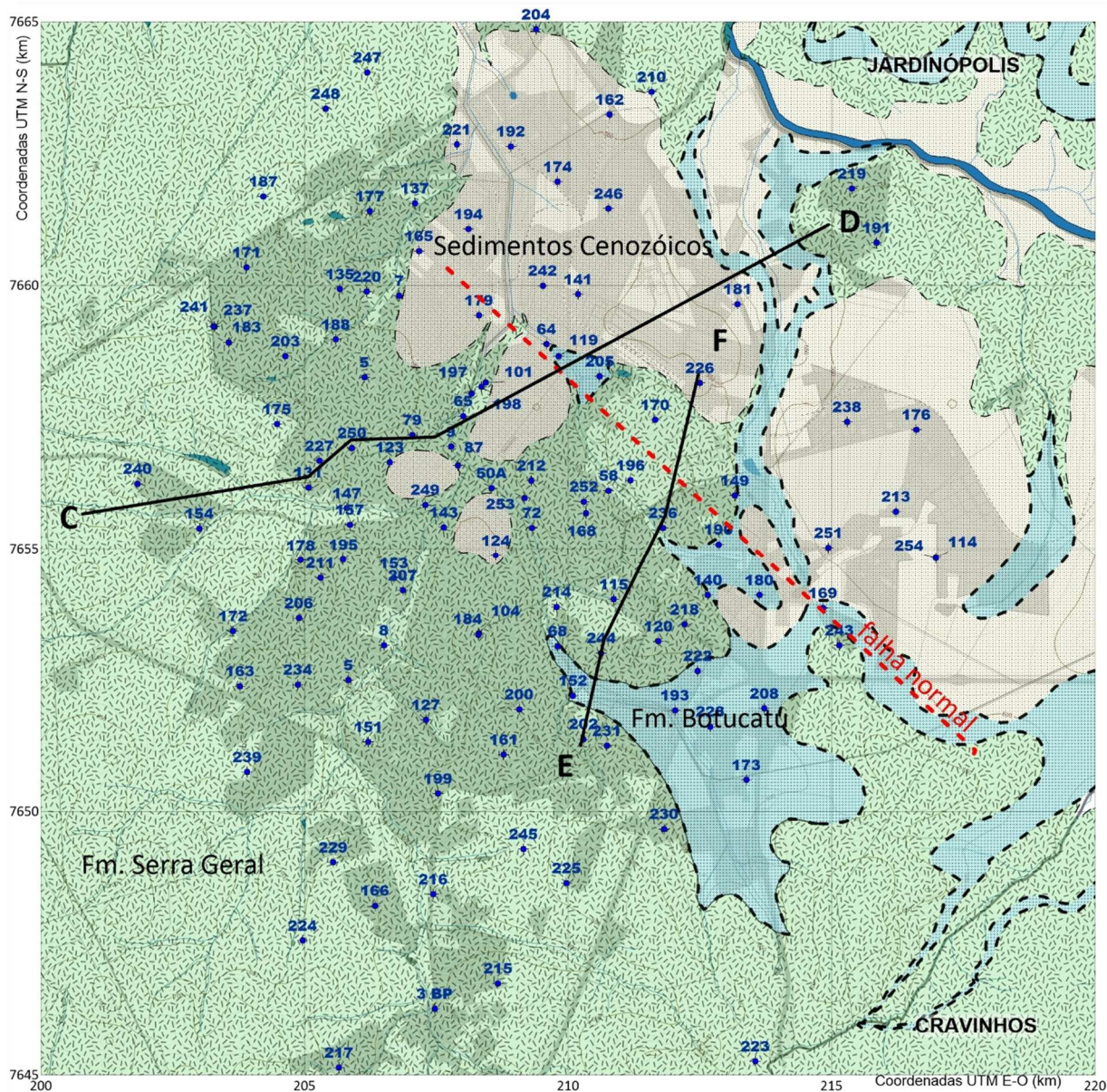


Figura 5-2: Recorte do mapa geológico simplificado da região de Ribeirão Preto/SP (adaptado de Sinelli, 1973), com indicação da falha normal e a posição das seções C-D e E-F, propostas por (Massoli, 2019)

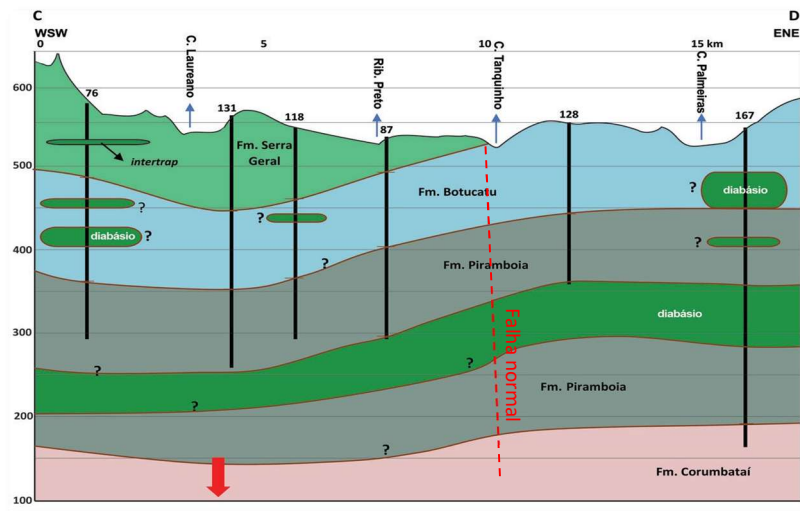


Figura 5-3: Seção Geológica C-D, conforme (Massoli, 2019)

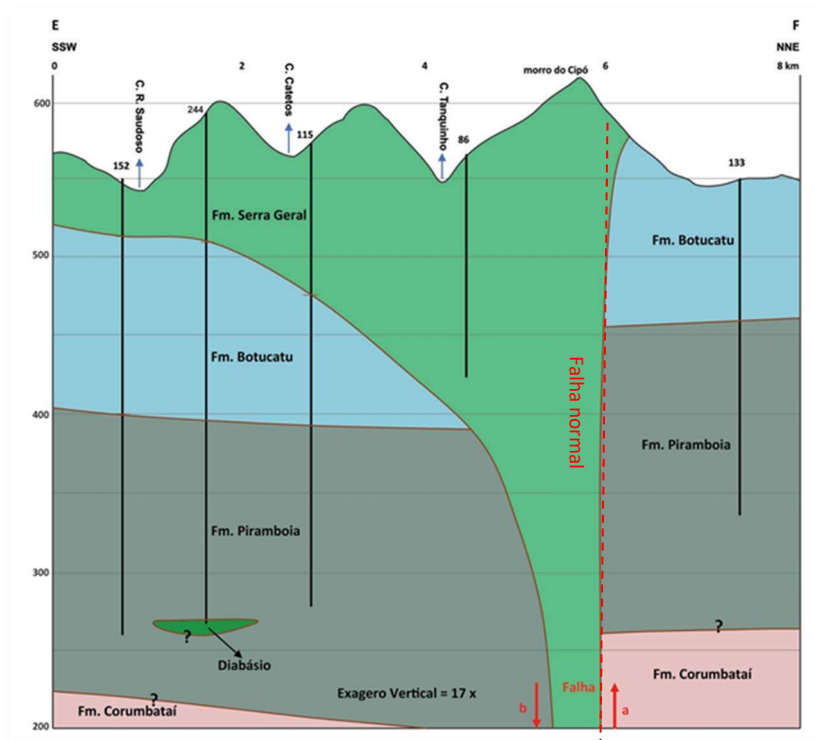


Figura 5-4: Seção Geológica E-F, conforme (Massoli, 2019)

5.1. Unidades aquíferas

Tendo em vista o contexto geológico descrito acima, são identificadas na área as seguintes unidades aquíferas:

Aquífero Cenozoico – representado por sedimentos cenozoicos, aluvio-coluvionares, com espessura máxima de poucas dezenas de metros, área de ocorrência e capacidade restritas. Na área de ocorrência da Fm. Serra Geral, o Aquífero Cenozoico é do tipo suspenso/ intermitente e alimenta as nascentes que ocorrem no contato entre os sedimentos e as rochas basálticas. Na área de afloramento da Formação Botucatu, o Aquífero Cenozoico se integra ao SAG.

Aquífero Serra Geral – pode apresentar eventuais camadas de arenito interderrame, similar ao da formação subjacente (Botucatu), mas o aquífero é eminentemente fissural, livre e semi-confinado, com forte anisotropia, decorrente da grande variação dos parâmetros hidráulicos da rocha basáltica. Esse aquífero tem sido bastante explorado na área, em geral de forma conjunta com o aquífero subjacente (Guarani), em poços parcialmente revestidos, de baixa produção, com grande vulnerabilidade às contaminações bacteriológicas, causadas por fossas sépticas e vazamentos da rede coletora de esgotos. Diversos poços antigos do DAERP, atravessavam as rochas basálticas, atingiam o Aquífero Guarani e captavam os dois aquíferos simultaneamente.

Sistema Aquífero Guarani (SAG) – sistema aquífero constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia. Na maior parte da área de estudo, dentro do Município de Ribeirão Preto, em área equivalente a 243 km², o Sistema Aquífero Guarani apresenta-se confinado no topo pelas rochas basálticas, com espessura total média de 250 m (excluindo-se as camadas de rochas basálticas intercaladas), condutividade hidráulica de 2,6 m/d, com tendência de aumento em direção a oeste e coeficiente de armazenamento de 1×10^{-4} (Cavicchia, 2007). A nordeste e leste da área de estudo, dentro do município, o Sistema Aquífero Guarani apresenta-se livre e abrange os afloramentos das formações Botucatu e Pirambóia, localizadas na porção leste, abrangendo 127 km², com espessura

total média estimada de 180 m. (Paula e Silva, Chang, Chang, & Sinelli, 2008) realizaram classificação de hidrofácies do SAG e concluíram que “O Aquífero Pirambóia é composto por três hidrofácies; as hidrofácies A, inferior, e C, superior, apresentam características de permo-porosidade reduzida, em virtude de maior conteúdo de argila; a hidrofácies B, mediana e em geral mais espessa, é composta por arenitos finos a grossos, em parte conglomeráticos, com elevada permo-porosidade. O Aquífero Botucatu, formado unicamente pela hidrofácies D, é composto por arenitos finos a médios, limpos, de elevada permo-porosidade.” Utilizando testes com traçadores e obturadores pneumáticos (Wahnfried, 2010) obteve a porosidade efetiva do SAG variando entre 18,8 e 20,3%.

6. ATUALIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE POÇOS

O banco de dados de poços, produzido, em 2017, pelo projeto Piezometria e Qualidade da Água: "Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani Área Piloto de Ribeirão Preto", Contrato FEHIDRO-348/2010 -FUNDAG-819, foi atualizado para incluir as informações de novos poços e para incluir complementações e correções com base em novos dados fornecidos pelo DAEE e DAERP.

Junto ao DAEE a coleta de dados foi dificultada em função das restrições de contato impostas pela quarentena e devido à implantação do Portal de Outorga Eletrônica, onde a perfuração e a outorga de uso da água passaram a ser feitas com base apenas nos dados cadastrais dos usuários, a localização, profundidade e vazão previstas dos poços. Atendendo à solicitação da FUNDACE efetuada por meio de ofício, o DAEE disponibilizou 2 planilhas, contendo 721 registros de solicitação de licença de perfuração e outorga de uso da água de poços localizados no município de Ribeirão Preto.

Junto ao DAERP a coleta de dados e informações foi ainda mais complicada, em função da inexistência de registros digitais e as dificuldades de contato. O DAERP não mantém atualizado

os registros de dados de poços, tanto no caso dos poços cuja construção contratou diretamente, como também aqueles executados como contrapartida dos empreendimentos imobiliários. Após inúmeras cobranças de resposta à solicitação encaminhada por ofício da FUNDACE, o DAERP recomendou que a coleta de dados de poços fosse realizada junto às empresas projetistas e perfuradoras. Assim sendo, a coleta de dados dos poços recentes foi realizada junto às seguintes empresas: Geometa Assessoria e Projetos; Bombas Hidrocon de Araraquara Ltda.; e Água Nossa - Poços Artesianos Ltda.

O banco de dados atualizado é apresentado na mídia em anexo contendo os arquivos kml e kmz, as planilhas do banco de dados georreferenciados, conforme descritos a seguir:

- **SAGRibPreto2020.xls** – contendo 6 planilhas:
 - **DAERP2020**: 123 poços em operação pelo DAERP, cuja numeração sequencial, incluindo poços desativados chega a 257 poços;
 - **Licenças**: licenças para construção de mais 17 poços, com vazão de 250 m³/h, destinados ao uso urbano para o DAERP e novos empreendimentos imobiliários em Ribeirão Preto (dados fornecidos pelo DAEE)
 - **Monitoramento**: 11 poços desativados nos quais o DAERP monitora o nível piezométrico;
 - **Desativados**: 107 poços do DAERP que se encontram desativados;
 - **Terceiros**: 274 poços de terceiros; e
 - **Outorgas Terceiros**: 9 poços de propriedade de terceiros, que foram aqui considerados, grandes consumidores, com vazão superior a 50 m³/h ou 500 m³/d (conforme dados fornecidos pelo DAEE).
- **SAGRibPreto2020**: arquivo tipo **kml** (Keyhole Markup Language) ou **kmz** (compactado) para abrir no SIG **Google Earth Pro**, contendo:
 - a localização dos poços com ícones que identificam a categoria e tabelas que podem ser visualizadas no **Google Earth Pro**, com as seguintes informações: Folha, Poço, Número DAERP, Endereço, Data de Construção, UTM-EW (m), UTM-NS (m),

Altitude (m), Profundidade (m), Perfil Estratigráfico (m), Prof. NE (m)/ano, Prof. ND (m) e Vazão (m³/h).

- Limite municipal (extraído do mapa municipal 2010, elaborado pela prefeitura municipal de Ribeirão Preto - SP);
- Delimitações das áreas de controle, identificados como Zona 1, Zona 2 e Zona 3;
- Curvas de nível com espaçamento de 10 m, do município de Ribeirão Preto - SP, (extraídas do Google Earth Pro), as quais foram subdivididas em: Primárias e Secundárias;
- Lito-estratigrafia (extraída do arquivo kml, elaborado pela CPRM);
- Rede hidrográfica do município (extraída do mapa municipal 2010, elaborado pela prefeitura municipal de Ribeirão Preto - SP); e
- Projeto de Setorização da rede de água do DAERP.

A análise preliminar do banco de dados de poços que se encontram em operação pelo DAERP indicou que existem 73 poços cuja distância ao poço mais próximo é inferior a 1.000 m e que entre 16 poços a distância mínima é inferior a 500 m (**Tabela 6-1**).

Tabela 6-1: Distância mínima entre poços em metro

nº do poço	87	119	157	184	196	197	198	207	231	237	238	239	241	252	253
9	375														
58					458										
64	322														
65						453									
101						341	120								
104				32											
114															
147		317													
153								288							
168														222	
183										395			415		
197						223									
202									462						
212															355
237													21		

7. ANÁLISE DE DADOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

A análise tridimensional dos dados geológicos e hidrogeológicos foi realizada com auxílio de geoestatística, utilizando a técnica gaussiana de regressão denominada “krigagem”, destinada a aproximar e/ou interpolar dados. Os dados disponíveis são associados às coordenadas (UTM) do ponto em que foi observado. Numa primeira etapa, é gerada uma matriz de valores interpolados/estimados por meio do algoritmo de krigagem. Posteriormente, as matrizes de valores interpolados são transformadas em superfícies tridimensionais que retratam as tendências espaciais de variação de cada parâmetro analisado.

Tendo em vista que no presente estudo a distribuição espacial dos dados é mais abrangente que em estudos anteriores, foi possível melhorar o nível de entendimento dos contextos geológico e hidrogeológico locais, que são descritos a seguir.

7.1. Geometria das camadas

A **Tabela 7-1** apresenta os dados de 204 poços do DAERP, com dados de perfil geológico, que inclui 109 poços desativados e 95 poços em operação, cuja localização é indicada na **Figura 7-1** apresenta um mapa com a localização dos poços em operação (com símbolo preenchido em azul escuro), desativados (com símbolo vermelho, sem preenchimento) e os poços de monitoramento piezométrico (com círculo preenchido em vermelho). Algumas feições topográficas da mancha urbana e da hidrografia são apresentadas em conjunto para facilitar o entendimento do mapa. Esse universo de dados foi utilizado na análise de tendência da variação espacial da espessura de basalto (isópacas) e da cota do topo da Fm. Botucatu (isóbatas), descritas adiante.

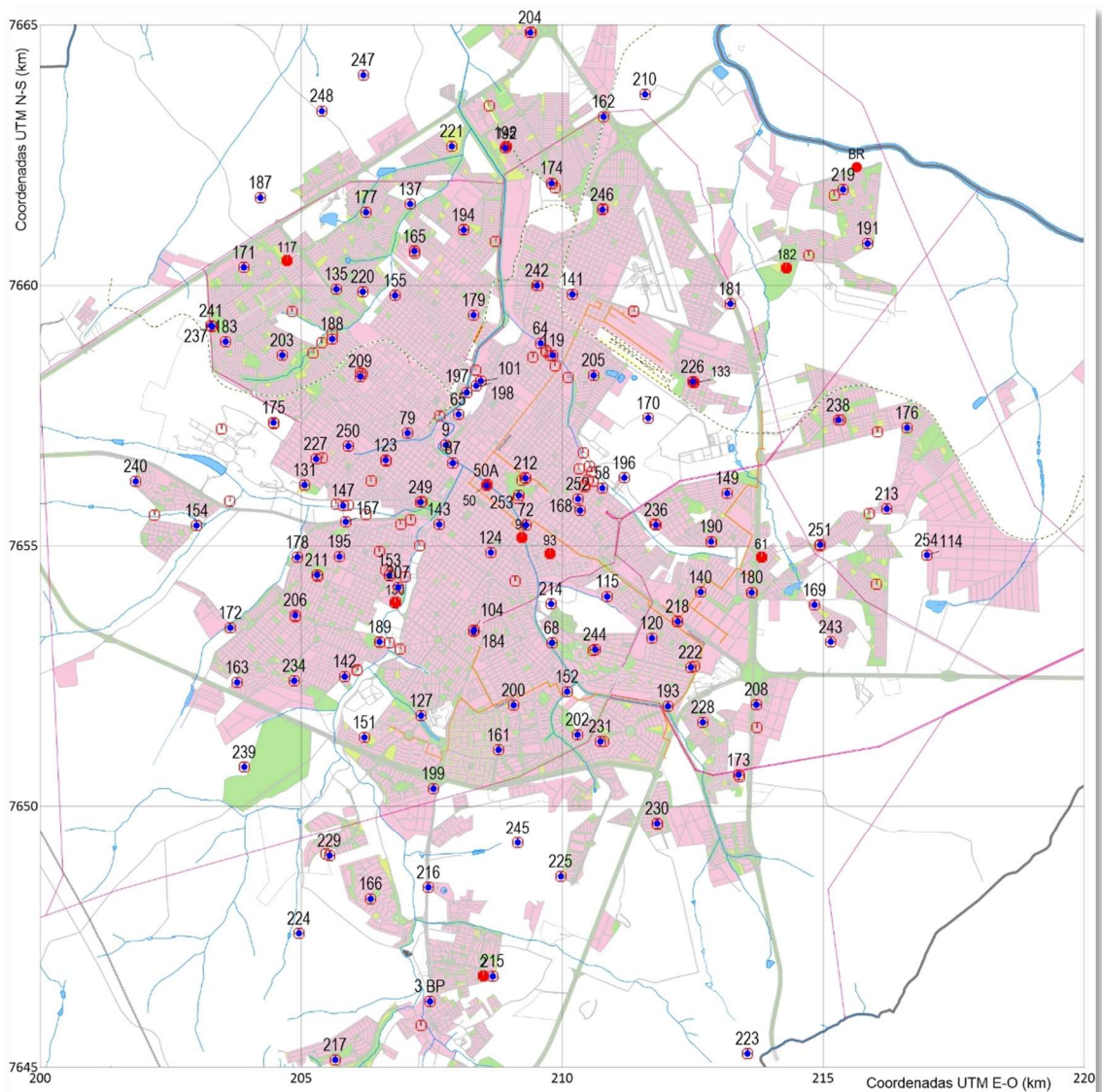


Figura 7-1: Localização dos poços em operação (círculo preenchido em azul escuro), desativados (círculo vermelho sem preenchimento) e poços de monitoramento piezométrico (círculo preenchido em vermelho)

Tabela 7-1: Poços com dados de perfil geológico

no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.	no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.	no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.
DAEE-113	202.960	7.653.670	166	451	95	206.900	7.653.020	86	461	171	203.900	7.660.340	168	470
DAEE-16	206.230	7.658.980	50	495	96	209.227	7.655.157	150	385	173	213.379	7.650.600	0	580
DAEE-199	207.920	7.663.670	0	500	97	204.830	7.659.500	86	483	174	209.800	7.661.966	0	533
DAEE-4	207.900	7.656.350	56	460	98	207.320	7.655.846	85	449	175	204.470	7.657.360	173	-173
DAEE-42	207.780	7.656.980	40	480	99	206.070	7.652.610	76	465	176	216.605	7.657.266	0	589
DAEE-446	208.900	7.665.920	150	395	100	209.690	7.658.750	18	499	177	206.236	7.661.406	50	500
2 BP	208.490	7.646.750	0	649	102	209.860	7.661.870	15	518	178	204.926	7.654.779	112	446
3 BP	207.467	7.646.260	40	538	103	208.720	7.660.840	1	517	179	208.300	7.659.440	30	-30
1	207.300	7.645.800	36	538	104	208.310	7.653.386	174	447	179	208.305	7.659.430	0	529
2	203.470	7.657.250	117	494	105	209.810	7.661.950	4	529	180	213.627	7.654.109	0	568
9	207.776	7.656.939	50	475	106	209.539	7.659.997	152	388	181	213.218	7.659.645	0	544
19	206.508	7.653.148	84	455	107	213.640	7.654.100	0	568	182	214.300	7.660.340	0	532
22	205.590	7.659.090	39	509	108	208.110	7.661.070	10	520	183	203.556	7.658.920	146	-146
23	205.390	7.658.900	40	513	109	215.883	7.655.623	45	556	184	208.297	7.653.357	169	-169
24	209.780	7.658.650	23	496	111	213.400	7.650.560	18	563	185	211.827	7.649.662	0	601
25	209.230	7.656.260	128	455	112	208.600	7.663.450	11	512	186	215.210	7.661.730	2	543
28	206.340	7.656.250	74	476	113	206.810	7.653.920	62	470	187	204.220	7.661.690	100	-100
29	206.620	7.654.530	97	450	114	216.980	7.654.820	0	593	188	205.590	7.658.972	46	507
35	205.590	7.658.970	58	495	115	210.865	7.654.029	94	476	189	206.500	7.653.150	79	-79
36	207.100	7.655.500	75	455	116	210.789	7.651.246	52	554	190	212.854	7.655.084	0	0
37	206.690	7.653.140	76	461	117	204.730	7.660.480	106	489	191	215.854	7.660.807	0	580
38	206.700	7.654.420	81	461	118	205.920	7.656.920	80	460	192	208.912	7.662.637	0	525
39	210.490	7.656.260	107	447	121	207.180	7.660.620	18	528	193	212.025	7.651.923	0	552
40	205.900	7.655.780	68	470	122	206.130	7.658.320	114	486	194	208.109	7.661.065	0	530
41	205.670	7.655.800	90	448	123	206.616	7.656.646	98	453	195	205.730	7.654.790	126	-126
42	206.910	7.655.410	70	462	125	210.783	7.661.468	50	492	196	211.185	7.656.304	94	471
43	208.340	7.658.370	42	475	126	204.890	7.653.640	168	435	197	208.172	7.657.946	30	488
45	209.700	7.658.720	30	488	127	207.300	7.651.740	72	498	199	207.530	7.650.340	87	-87
47	210.430	7.656.130	81	482	128	211.370	7.659.500	0	548	200	209.070	7.651.940	120	490
48	210.560	7.656.420	98	447	129	209.287	7.656.305	137	436	201	209.410	7.664.860	48	510
50	208.560	7.656.180	110	420	130	206.800	7.653.900	62	484	202	210.292	7.651.376	74	529
50A	208.547	7.656.156	81	449	131	205.030	7.656.220	108	447	204	209.390	7.664.850	48	-48
51	209.860	7.658.450	31	494	132	214.940	7.655.020	0	579	208	213.690	7.651.940	0	0
52	209.440	7.658.620	0	527	133	212.500	7.658.070	0	540	209	206.130	7.658.250	111	-111
53	209.150	7.655.910	92	454	134	213.720	7.651.950	0	592	212	209.300	7.656.300	135	448
54	210.320	7.656.480	114	437	135	205.670	7.659.930	50	509	215	208.670	7.646.740	116	535
55	207.000	7.654.400	69	461	136	205.312	7.654.416	158	449	216	207.440	7.648.130	86	-86
57	205.220	7.658.700	80	479	137	207.090	7.661.560	0	527	218	212.210	7.653.550	58	563
58	210.770	7.656.110	175	376	138	204.480	7.657.340	195	434	219	215.384	7.661.837	0	345
60	206.240	7.655.600	76	455	139	212.530	7.652.690	15	572	220	206.180	7.659.880	30	523
61	213.820	7.654.780	0	571	140	212.650	7.654.110	0	585	222	212.460	7.652.670	0	586
62	207.650	7.657.490	32	493	141	210.190	7.659.830	0	542	223	213.550	7.645.260	235	542
63	210.590	7.656.240	96	456	142	205.833	7.652.494	93	456	224	204.960	7.647.550	158	-158
64	209.591	7.658.889	0	517	143	207.640	7.655.410	92	460	226	212.500	7.658.150	0	550
65	208.011	7.657.523	32	491	145	208.930	7.662.670	8	517	228	212.696	7.651.615	0	569
66	210.590	7.652.990	90	503	146	207.170	7.660.670	18	528	229	205.540	7.649.035	131	488
68	209.801	7.653.138	58	492	147	205.850	7.655.810	74	456	231	210.736	7.651.247	65	-65
69	203.630	7.655.860	104	448	148	216.020	7.654.260	18	577	233	205.470	7.649.070	132	-132
70	209.100	7.654.320	58	506	149	213.162	7.656.013	58	499	234	204.870	7.652.410	135	460
71	210.400	7.656.790	90	449	150	213.730	7.651.510	0	586	235	207.310	7.643.710	140	511
72	209.310	7.655.400	136	404	151	206.211	7.651.323	103	494	237	203.289	7.659.211	175	-175
73	211.370	7.659.510	15	538	152	210.091	7.652.201	37	513	238	215.290	7.657.410	0	575
75	207.270	7.655.000	80	452	153	206.640	7.654.470	105	441	239	203.910	7.650.750	147	458
76	201.650	7.655.780	54	526	154	202.999	7.655.388	126	423	241	203.275	7.659.226	124	381
77	206.070	7.652.620	84	458	155	206.798	7.659.806	46	503	242	209.517	7.659.997	0	540
78	206.630	7.656.630	98	454	156	212.200	7.653.560	62	560	243	215.146	7.653.153	62	563
79	207.041	7.657.163	54	484	157	205.855	7.655.462	101	440	244	210.630	7.653.010	90	-90
81	210.420	7.656.160	81	480	158	206.170	7.658.300	112	485	245	209.151	7.649.287	102	515
82	205.400	7.656.690	106	464	159	215.333	7.657.410	0	577	246	210.767	7.661.454	0	357
84	205.280	7.656.670	106	469	160	216.040	7.657.190	0	592	247	206.190	7.664.040	76	475
86	211.780	7.655.420	236	324	161	208.790	7.651.400	133	505	248	205.398	7.663.352	70	487
87	207.905	7.656.587	40	481	162	210.788	7.663.240	0	552	249	207.290	7.655.840	96	438

Tabela 7 1: Poços com dados de perfil geológico (continuação)

no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.	no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.	no	ew	ne	Prof. Bot	Top Bot.
89	212.860	7.655.070	20	547	163	203.773	7.652.381	161	455	250	205.900	7.656.917	124	422
90	210.110	7.658.230	0	522	163	203.970	7.653.470	168	442	251	214.940	7.655.020	0	579
91	210.520	7.656.530	98	445	164	214.930	7.655.000	20	560	252	210.300	7.655.900	251	333
92	206.497	7.654.893	70	478	165	207.168	7.660.651	0	544	253	209.170	7.655.970	101	457
93	209.770	7.654.850	163	408	166	206.332	7.648.215	124	481	254	216.980	7.654.820	0	593
94	212.200	7.653.550	110	512	167	214.725	7.660.580	0	540	255	207.948	7.644.468	137	497

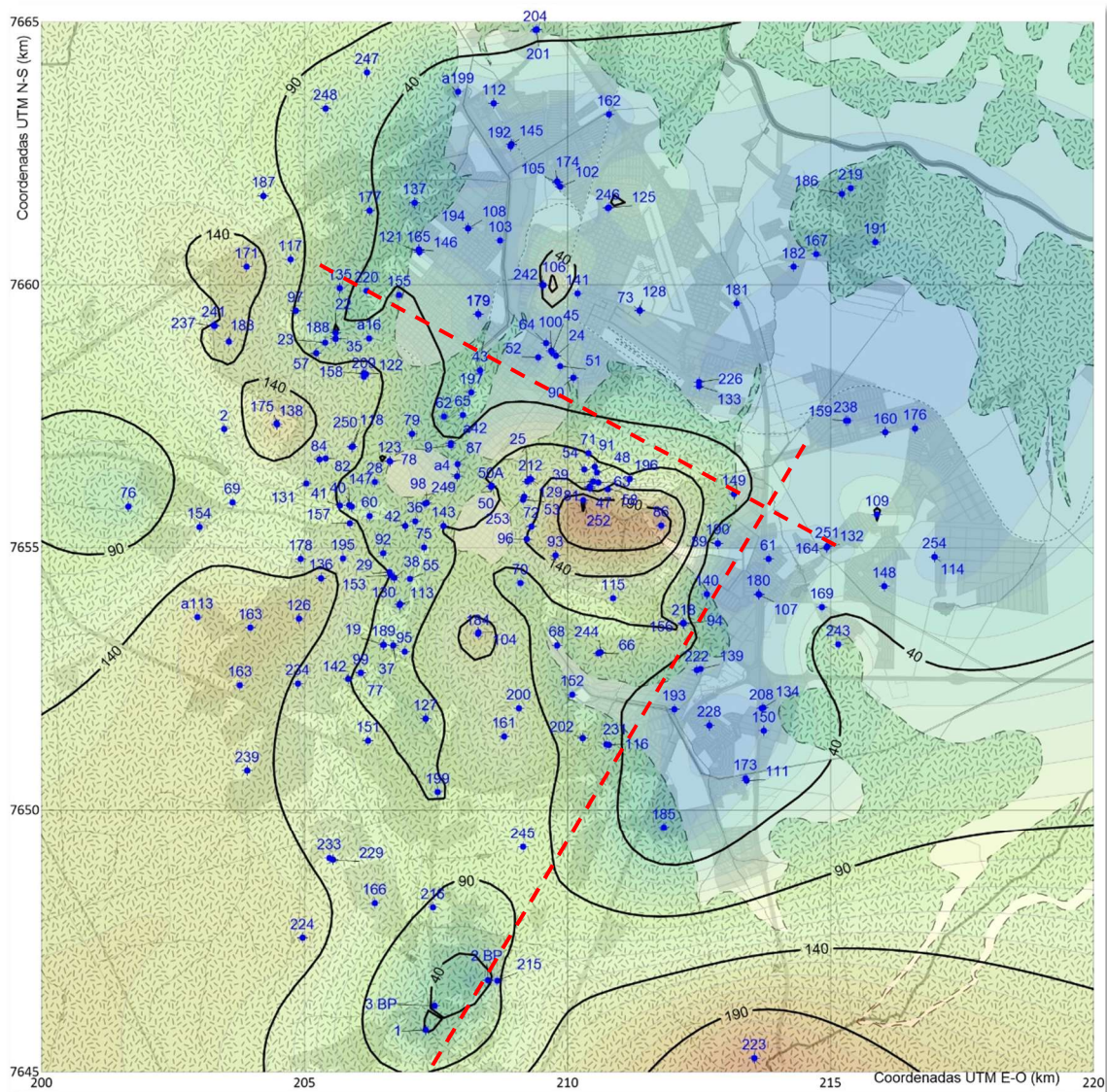


Figura 7-2: Superfície de tendência de isópachas da Fm. Serra Geral

A **Figura 7-2** apresenta a superfície de tendência gerada por técnica de análise geoestatística, dos dados de espessura das camadas que recobrem a Formação Botucatu (incluindo sedimentos recentes e as rochas basálticas da Fm. Serra Geral), obtidos nos poços perfurados que possuem registros disponíveis de perfil geológico (**Tabela 7-1**). O valor máximo da espessura da camada de rochas da Fm. Serra Geral + Cenozoico que recobre o Aquífero Guarani é da ordem de 250 m, segundo relatório da empresa perfuradora Hidrodex (poço 252-Samu - **Tabela 7-1**), mas em 44 poços essa camada está ausente.

A superfície de tendência evidencia que a área em que o Sistema Aquífero Guarani não possui cobertura de rochas basálticas abrange a porção leste e nordeste da área de estudo e que no local do poço 252 ocorre uma espessura anômala de 250 m, provavelmente gerada por corpos de rochas intrusivas, com predomínio, no restante da área, valores inferiores a 150 m para a espessura de basalto e/ou profundidade do topo da camada aquífera. As linhas tracejadas, em vermelho, indicam a provável localização de falhas normais responsáveis por súbitas alterações de espessura de rochas basálticas.

Existe também uma tendência de espessamento da cobertura da camada aquífera em direção aos limites sul, sudoeste e oeste da área estudada.

A espessura da cobertura da camada aquífera tem implicações técnicas e econômicas, pois os valores maiores de espessura da cobertura geram maior grau de confinamento, impedem a recarga direta pela infiltração de água da chuva e reduzem o risco de contaminações do aquífero, mas aumentam o custo de construção dos poços devido à necessidade de perfuração de rochas duras e devido à maior profundidade dos poços. Por outro lado, nas áreas em que o aquífero não possui cobertura de rochas basálticas as condições de recarga são mais favoráveis, gerando maior risco de contaminação, mas o custo de construção dos poços é menor.

A altitude do topo da Fm. Botucatu foi calculada subtraindo-se a espessura das camadas que compõem a sua cobertura, da altitude do terreno, e, dessa forma, foi produzido o mapa apresentado na **Figura 7-3** contendo a superfície de tendência geoestatística, que seria equivalente à própria superfície do terreno nas áreas de exposição localizadas nas regiões leste

e nordeste, com altitude acima de 520 m. A altitude do topo da Fm. Botucatu apresenta uma queda brusca, de cerca de 100 m, em direção a oeste, ao longo dos limites da área de confinamento, onde o valor predominante da altitude do topo da camada aquífera passa para 420 m. Essa mudança brusca de altitude do topo da camada ocorre ao longo de dois lineamentos, indicados com linhas tracejadas em vermelho, e pode ter relação com blocos estruturais, com deslocamento subvertical.

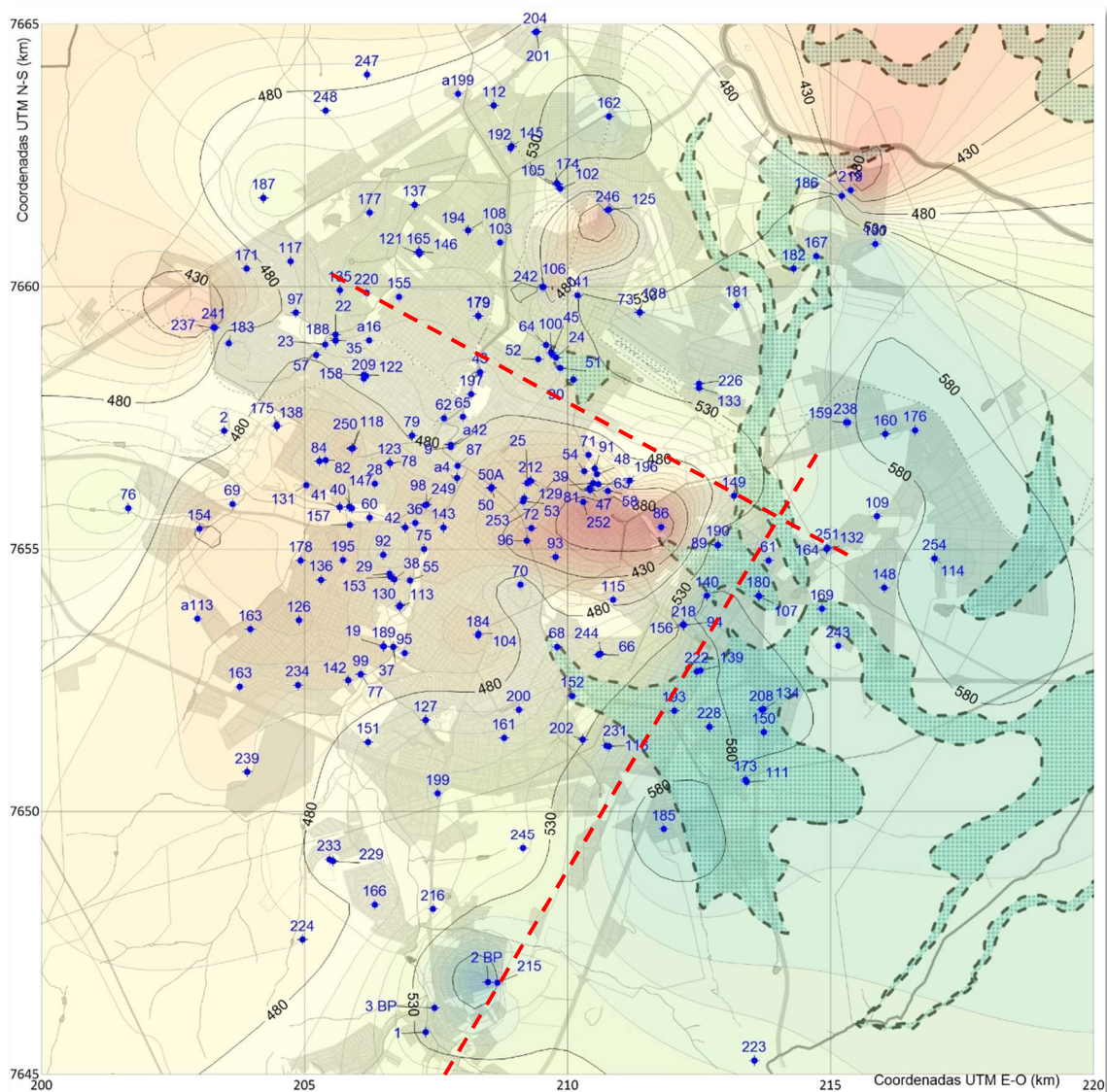


Figura 7-3: Superfície de tendência de isóbatas do topo da Fm. Botucatu

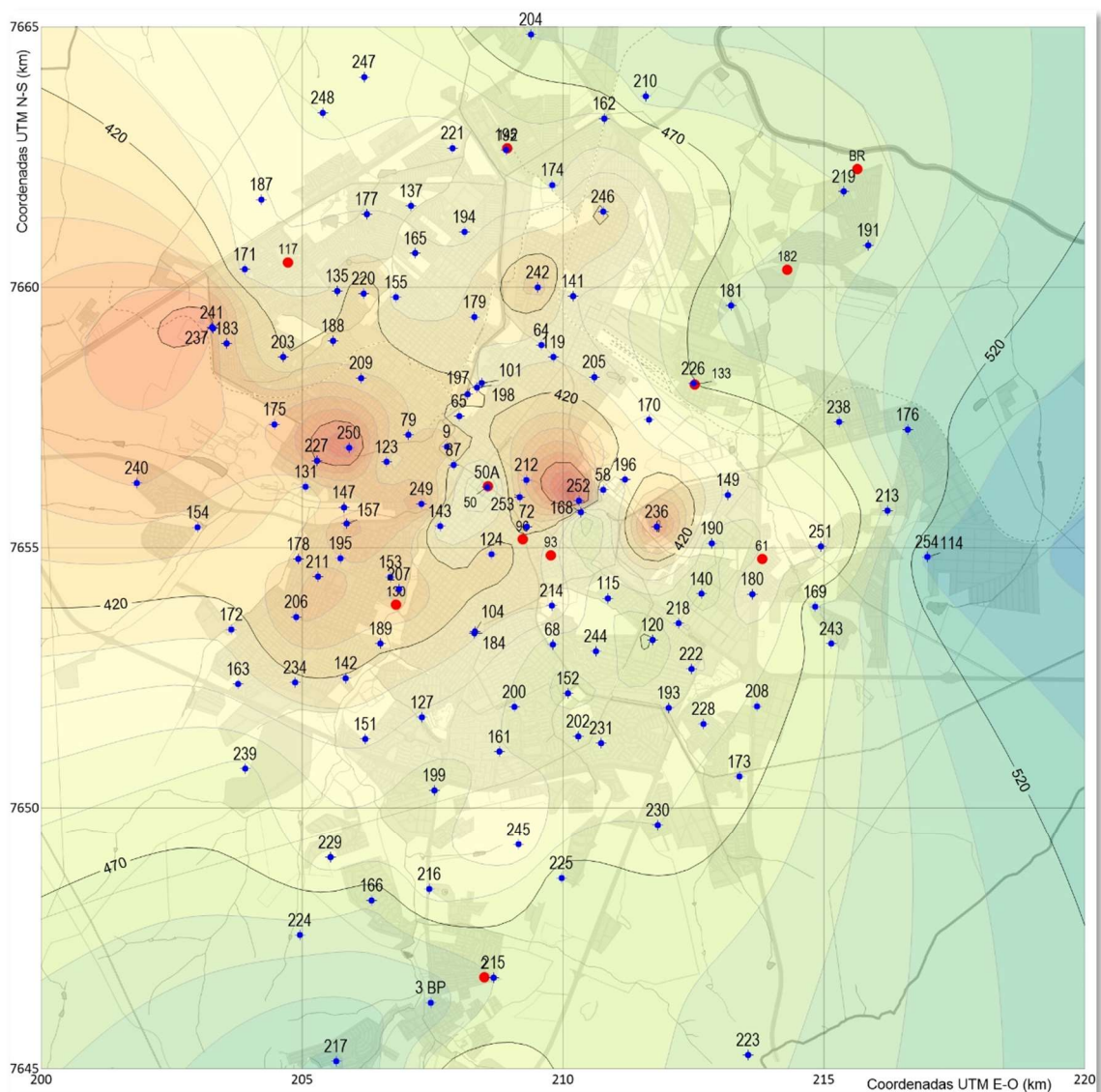


Figura 7-5: Superfície de tendência da superfície piezométrica dinâmica (m) nos poços em operação

Os dados de poços em operação, de diversas datas diferentes, juntamente com as medições de agosto/2020, realizadas nos poços de monitoramento piezométrico foram utilizados para a elaboração do mapa de tendência da **superfície piezométrica estática**, apresentado na **Figura 7-4**, com uma depressão cônica no centro da área, contornada pela curva de cota piezométrica 470 m, sendo que em 14 poços a cota piezométrica está inferior a 430 m e, no poço nº 236, é inferior a 400 m.

A **Figura 7-5** apresenta o mapa de tendência da **superfície piezométrica dinâmica** (com os poços em funcionamento) para possibilitar uma verificação das consequências do abatimento piezométrico sobre o consumo de energia elétrica, a qual representa o maior componente do custo operacional dos poços, indicando uma configuração similar à da superfície piezométrica estática, sendo que em 5 poços a cota piezométrica dinâmica é inferior a 380 m.

A **capacidade específica** de um poço, ou sua **vazão específica**, é um parâmetro hidráulico de fácil determinação, por essa razão, comumente utilizado em estudos para aproveitamento de água subterrânea e representa a vazão unitária produzida para cada unidade de rebaixamento de nível da água (ou nível piezométrico) medido durante o bombeamento. O cálculo é feito pela divisão do valor medido da vazão pelo valor do rebaixamento, que é a diferença entre a profundidade do nível dinâmico (medido durante o funcionamento da bomba do poço) e a profundidade do nível estático estabilizado (após a parada da bomba do poço).

A capacidade específica de um poço depende de diversos fatores, tais como: permeabilidade e espessura da camada aquífera, características construtivas do poço e suas condições de instalação e operação, apresenta valor variável e inversamente proporcional à vazão bombeada e tende a apresentar uma redução progressiva, durante o processo de envelhecimento do poço, devido aos efeitos prolongados de processos de corrosão e incrustação, que podem ser agravados quando, na construção do poço, são aplicados materiais de revestimento fabricados com ligas metálicas inadequadas e pela falta de operações de manutenção preventiva.

Os dados disponíveis no banco de dados do DAEE e nos relatórios de construção dos poços perfurados após 2018 possibilitaram o cálculo da capacidade específica para 103 poços em operação, com o valor médio de 6,4 m³/h/m, máximo de 19,2 m³/h/m e mínimo de 0,4 m³/h/m. A **Figura 7-6** apresenta a superfície de tendência dos valores calculados de capacidade específica desses poços, onde se pode verificar que, em geral os menores valores ocorrem no centro da cidade, ao longo da área indicada com tonalidade laranja-avermelhado. Embora os baixos valores da capacidade específica que ocorrem na área central possam estar relacionados a aspectos

geológicos e/ou construtivos desfavoráveis, é provável que resultem em grande parte das interferências hidráulicas inevitáveis na concentração de poços.

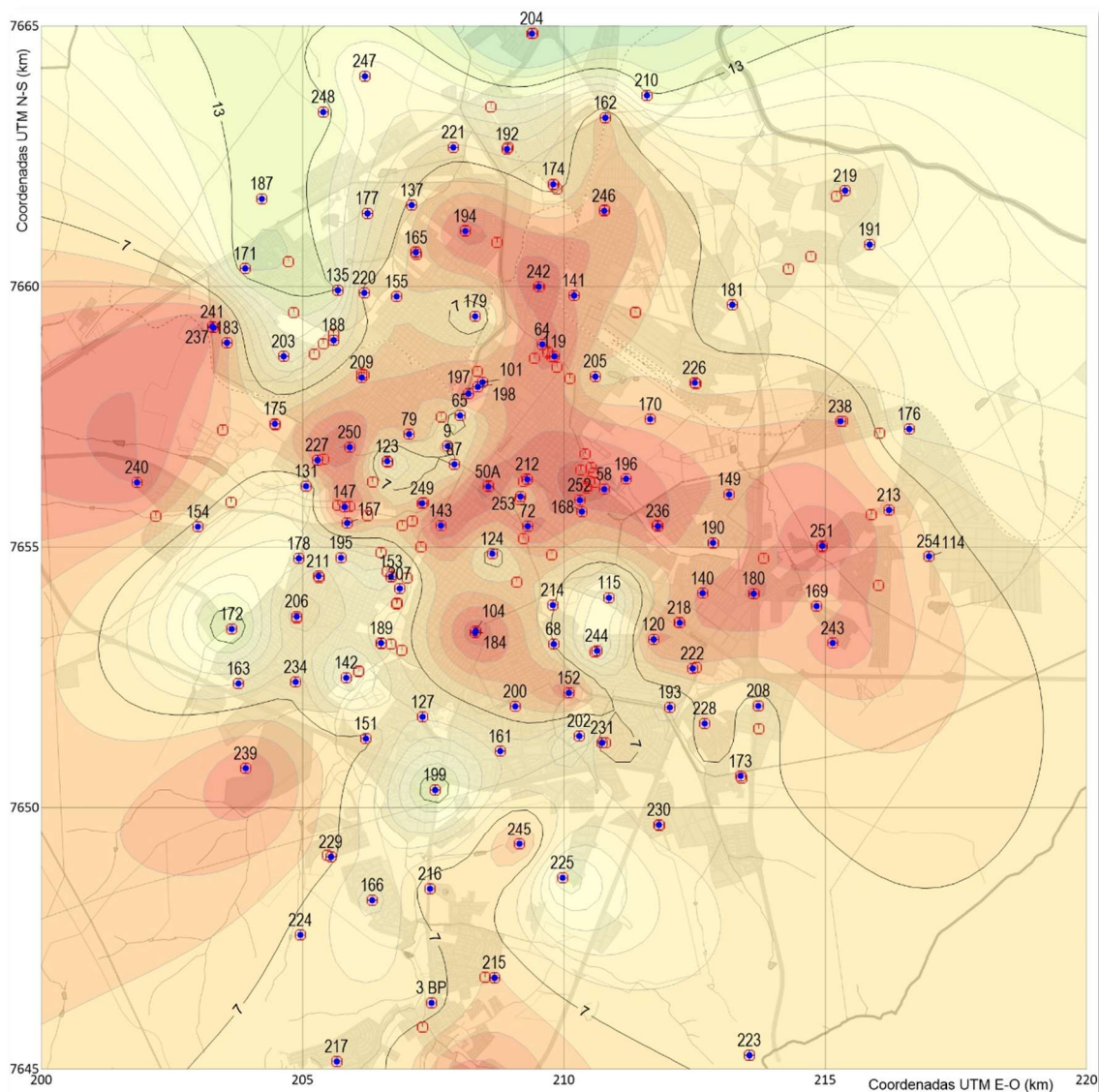


Figura 7-6: Superfície de tendência dos valores de capacidade específica dos poços (m³/h/m)

A capacidade específica, independentemente de quais fatores podem estar influenciando no seu valor, apresenta sempre uma relação inversa com o custo operacional do poço, pois quanto menor o seu valor, maior será a profundidade do nível da água durante o bombeamento e, assim, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica também será maior.

A condição de confinamento do Aquífero Guarani foi determinada pela diferença entre a cota piezométrica estática e a cota do topo da camada aquífera em cada poço e os dados resultantes foram analisados espacialmente por meio da superfície de tendência geoestatística apresentada na **Figura 7-7**, onde se pode verificar que, na maior parte da área estudada, o Aquífero Guarani já se encontra hidráulicamente livre, restando apenas uma pequena área no centro da área onde o confinamento é proporcionado por depressões no topo da camada aquífera. Desta forma, pode-se considerar que as taxas de abatimento piezométrico apresentadas anteriormente no **item 7.3** equivalem ao rebaixamento do nível da água provocado pela exploração da reserva permanente do aquífero.

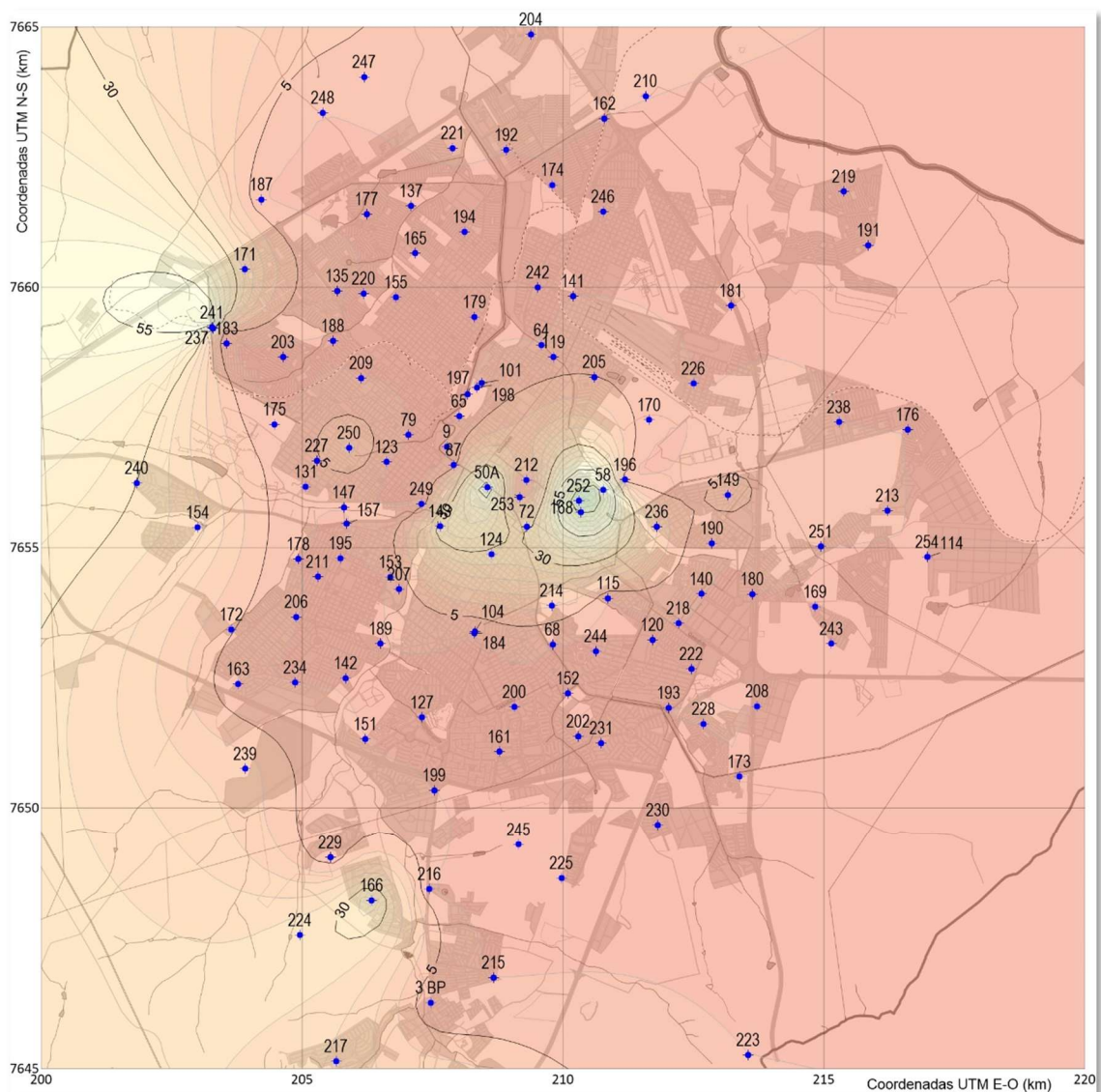


Figura 7-7: Superfície de tendência da espessura confinada do Aquífero Guarani

7.3. Análise dos dados de monitoramento piezométrico

O monitoramento piezométrico em poços desativados é realizado por equipe do DAERP, por meio de medições mensais feitas com medidores elétricos de nível da água portáteis. Iniciando em 2014, com 3 poços, o programa abrange atualmente 11 poços que se encontram desativados e sem equipamento de bombeamento, conforme **Tabela 7-2**, na qual são apresentados os dados

de cota do terreno utilizados no cálculo da cota piezométrica e as coordenadas UTM de cada poço, para possibilitar a análise de tendências espaciais da cota piezométrica (**Figura 7-8**).

Tabela 7-2: Poços do programa de monitoramento piezométrico

poço	nome/ local	prof do poço(m)	EW (m)	NS (m)	cota terreno (m)
2	Cohab Bonfim	240,0	208.490	7.646.750	649
93	Soma	290,8	209.770	7.654.850	571
133	Feapam	210,0	212.520	7.658.130	551
130	Delboux	183,0	206.800	7.653.900	532
182	Fazendinha	86,5	214.300	7.660.340	532
BR	Petrobrás		215.640	7.662.270	529
50	Jardim América	150,0	208.560	7.656.180	530
61	Vila Abranches	85,4	213.820	7.654.780	571
96	Olavo Bilac	270,0	209.227	7.655.157	535
117	Pq Das Andorinhas	207,0	204.730	7.660.480	595
145	Simione	203,0	208.930	7.662.670	525

Os dados de monitoramento piezométrico não abrangem toda a área de estudo, restando grandes áreas sem poços e, em alguns desses poços, o período de monitoramento ainda é muito pequeno (apenas alguns meses).

Os gráficos de evolução temporal da cota piezométrica são apresentados na **Figura 7-9**, na qual destacam-se 2 grupos de poços: o primeiro, composto pelos poços 61, 182, BR, 133 e 2, em geral mais rasos, que apresentam cota piezométrica (ou cota do Nível da Água, por ser aquífero não confinado) superior a 500 m, sendo que em alguns desses poços a cota piezométrica apresenta oscilações recorrentes, com linhas de tendência próximas da horizontal, ou seja sem efeito de abatimento piezométrico; o segundo grupo, composto pelos poços 145, 93, 50, 96, 117 e 130, mais profundos pois atingem o Aquífero Guarani confinado, possuem cota piezométrica entre 460 e 430 m, com linhas de tendência com clara inclinação ao longo do tempo, que evidenciam a progressão do abatimento piezométrico. Não existem poços de monitoramento no intervalo de cerca de 160 m de cota piezométrica entre 500 e 460 m, caracterizando um grande vazio de informações necessárias para mapear a extensão do cone de abatimento piezométrico.

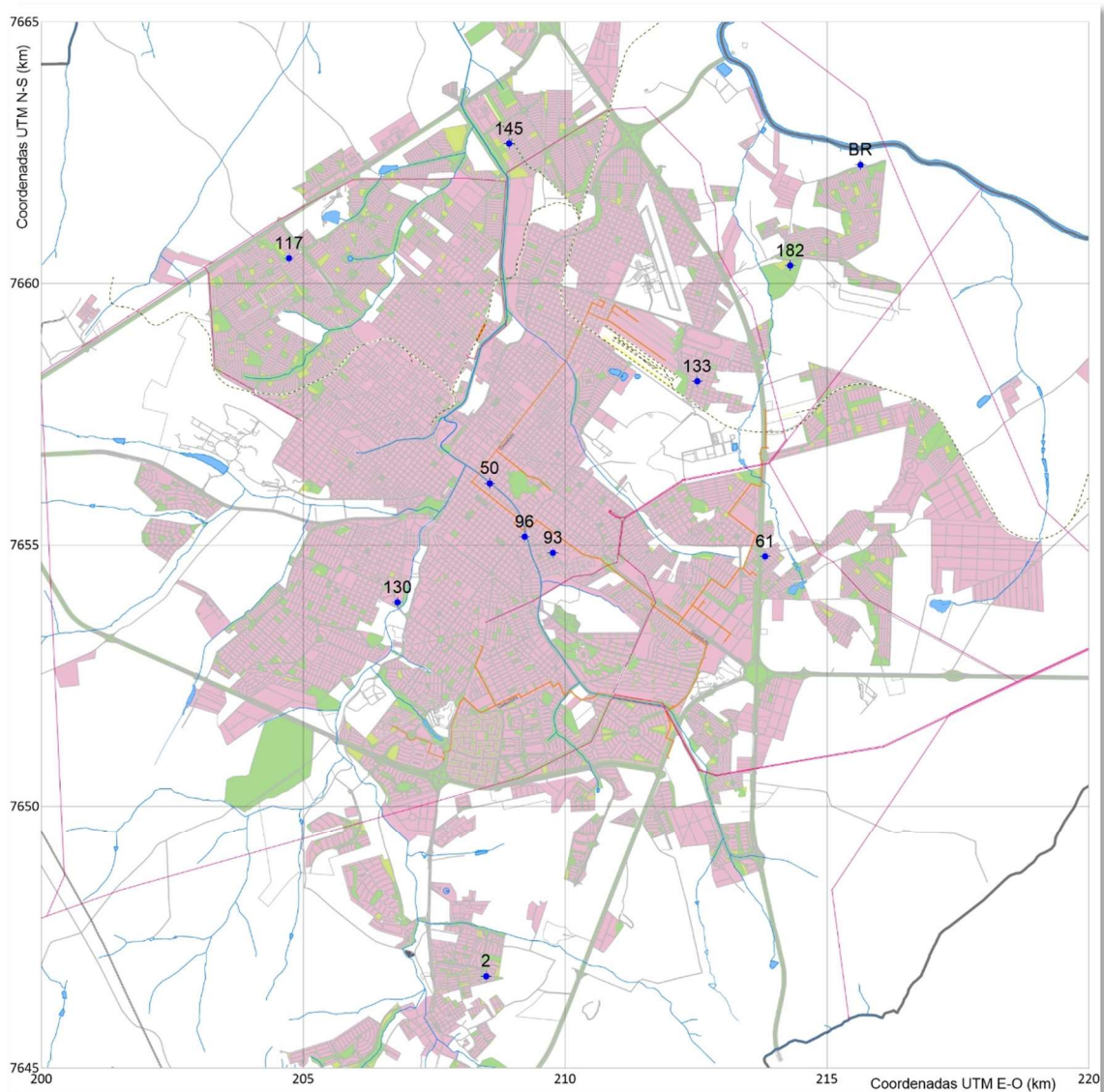


Figura 7-8: Localização dos poços de monitoramento piezométrico

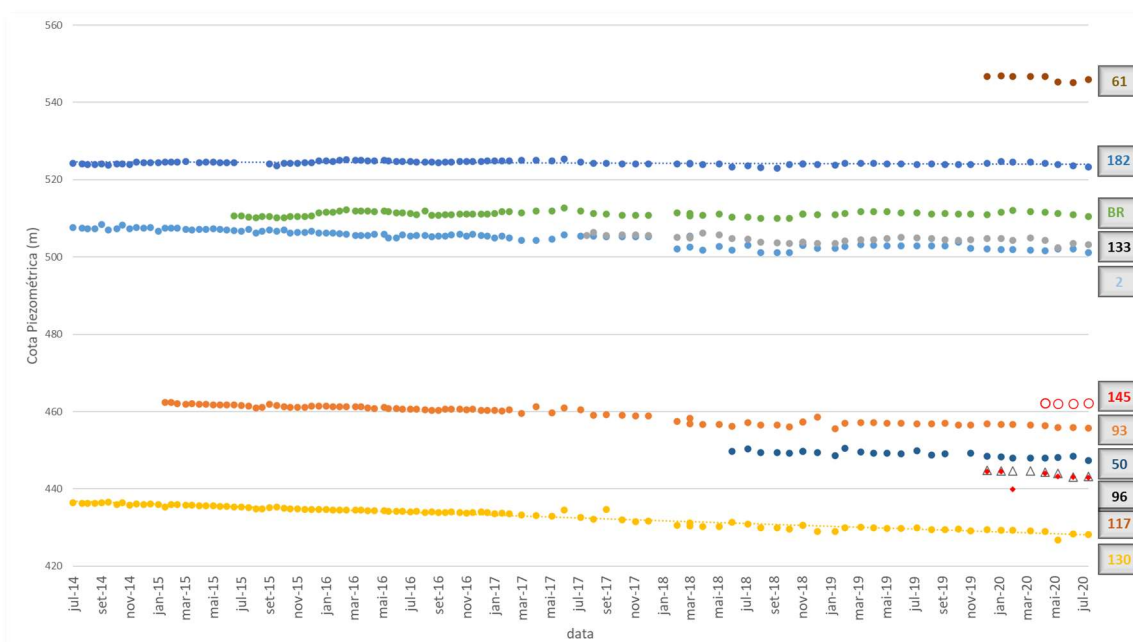


Figura 7-9: Gráficos de evolução da cota piezométrica nos poços monitorados

A análise conjunta da **Figura 7-8** e da **Figura 7-9** permite constatar que os poços do primeiro grupo estão localizados a norte, nordeste, leste e sul da área urbana e que os poços do segundo grupo estão localizados na área central e oeste da mancha urbana, que equivale às áreas mais afetadas pelo abatimento piezométrico.

Os valores calculados da taxa anual de abatimento piezométrico (mm/ano) são apresentados em ordem decrescente na **Tabela 7-3**, onde também foram incluídos os valores da cota piezométrica relativos a agosto/2020. Os valores da taxa de abatimento piezométrico no poço 117 é cerca de 100% superior à do poço 130, que se encontra no centro do cone. Um único poço de monitoramento localizado a norte da área urbana (poço 145), não apresentou abatimento piezométrico, porém o período de monitoramento nesse poço, foi de apenas 6 meses.

Tabela 7-3: Taxa de abatimento piezométrico

poço	local	taxa de abatimento piezométrico (m/ano)	cota piezométrica atual (m)
117	Pq Das Andorinhas	-2.667	442,95
96	Olavo Bilac	-2.536	443,30
61	Vila Abranches	-1.555	545,95
130	Delboux	-1.342	428,14
93	Soma	-1.194	455,70
50	Jardim América	-1.144	447,30
2	Cohab Bonfim	-1.047	501,21
133	Feapam	-786	503,27
182	Fazendinha	-201	523,37
BR	Petrobrás	-120	510,53
145	Simione	800	462,41

Apesar de serem insuficientes para definir a tendência de evolução do abatimento piezométrico, os dados da **Tabela 7-3**, também foram analisados preliminarmente com relação a sua distribuição espacial por meio da metodologia de krigagem e superfície de tendência cujo coeficiente de múltipla determinação (R^2) foi 0,36 (**Figura 7-10**), a qual sugere uma tendência de aceleração do abatimento para noroeste (poço 117), onde predomina a condição de confinamento do aquífero e para leste (poço 96), onde o aquífero é livre, podendo ampliar a área da base do cone ao redor do poço 130, que apresenta ainda a menor cota piezométrica (428 m).

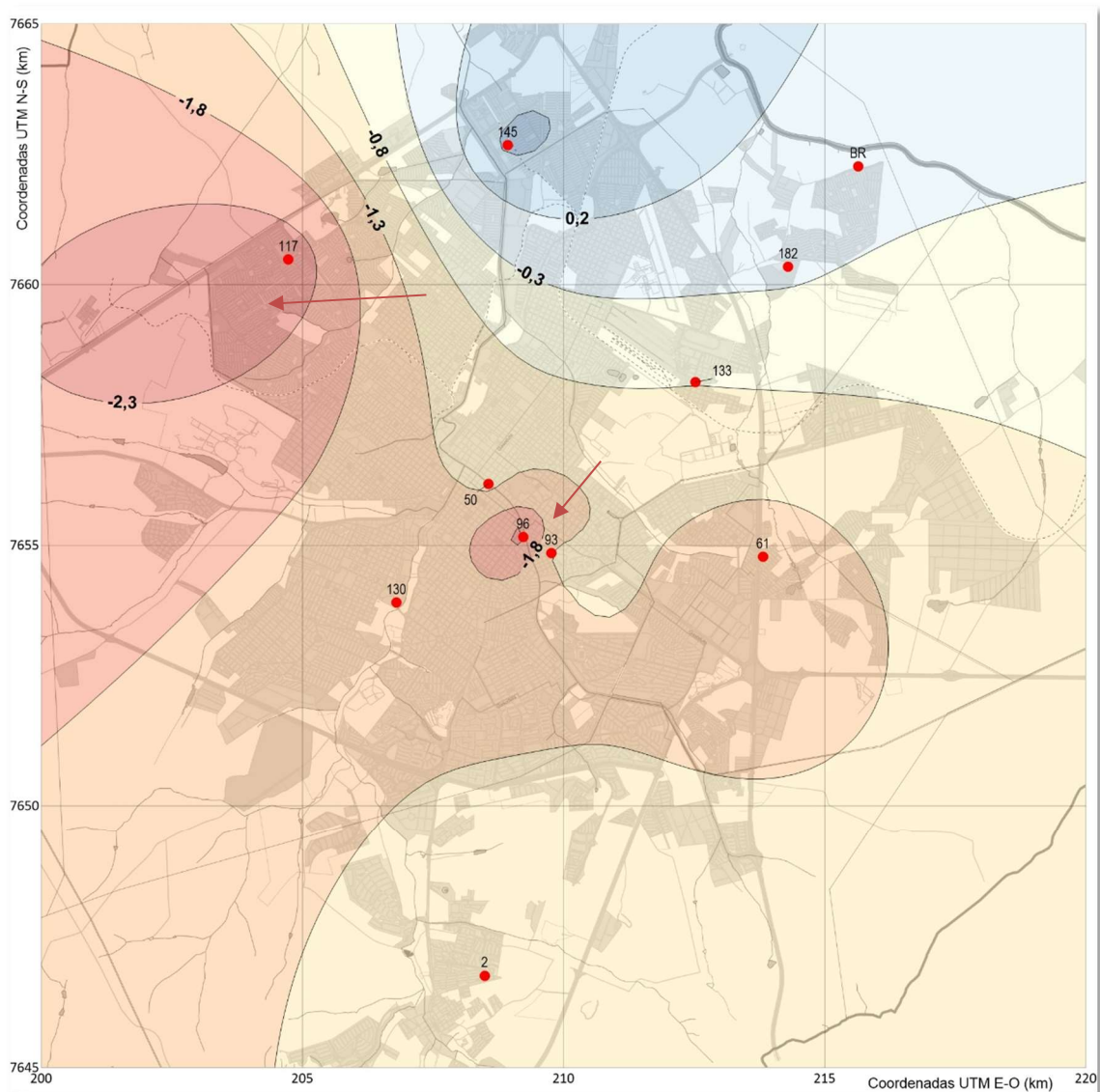


Figura 7-10: Superfície de tendência da taxa de abatimento piezométrico (m/ano)

7.4. Análise da distribuição espacial dos volumes explorados

A totalização dos valores de vazão de cada poço utilizados no presente estudo é de 19.189 m³/h, que é 7% superior ao total anual, informado ao SNIS em 2019, que foi de 127.877,53 (1000 m³/ano) e que equivalente a 17.760,77 m³/h.

Com base em dados de vazão outorgada dos poços, constantes de planilha fornecida pelo escritório regional do DAEE, foi calculada a vazão anual outorgada, considerando o período de funcionamento teórico de 20 h/dia, 30 dia/mês, conforme **Tabela 7-4**.

Tabela 7-4: Dados de vazão outorgada (DAERP)

DAERP	vazão		confinado		livre		DAERP	vazão		confinado		livre	
	Nome	(m³/h)	1000m³/ano	(m³/h)	1000m³/ano	Nome		(m³/h)	1000m³/ano	(m³/h)	1000m³/ano		
3	BONFIM / NOVO	158	1.139	-	-	193	RIBEIRANIA III	-	-	197	1.421	-	-
9	KAISER	240	1.726	-	-	194	JANDAIA II	44	314	-	-	-	-
50A	SESC	23	169	-	-	195	MONT. LOBATO	246	1.771	-	-	-	-
58	IGREJINHA	26	186	-	-	196	CADACAAN	189	1.361	-	-	-	-
64	TOPÁZIO	-	-	60	429	197	CIANE I	53	381	-	-	-	-
65	NILZA	17	124	-	-	198	CIANE II	169	1.220	-	-	-	-
68	TAMOIO	-	-	76	546	199	NOVA ALINÇA SUL	230	1.655	-	-	-	-
72	FREGONESI	30	212	-	-	200	IRAJÁ II NOVO	209	1.504	-	-	-	-
79	PARÁ	86	622	-	-	202	JD BOTANICO	237	1.705	-	-	-	-
87	AMIM CALIL	100	719	-	-	203	JD PAIVA	195	1.404	-	-	-	-
101	PERNAMBUCO	29	209	-	-	204	DIST EMPRESARIAL	248	1.786	-	-	-	-
104	SUMARÉ	21	154	-	-	205	JD. INDEPENDÊNCIA	-	-	193	1.393	-	-
114	RECREIO INTERNACIONAL	-	-	50	359	206	PARQ RIB II	231	1.666	-	-	-	-
115	ARN. VITALIANO	103	744	-	-	207	DELBOUX II	148	1.066	-	-	-	-
119	TANQUINHO	-	-	57	409	208	RECREIO ANHANGUERA II	-	-	174	1.254	-	-
120	UNAERP	96	693	-	-	209	POMPOLO 3	141	1.016	-	-	-	-
123	VILA TIBÉRIO	64	460	-	-	210	AVELINO PALMA	195	1.406	-	-	-	-
124	SCHIMIDT	162	1.167	-	-	211	PIRATININGA II	174	1.256	-	-	-	-
127	JD. CANADÁ	134	964	-	-	212	SÃO BENTO II	144	1.035	-	-	-	-
131	PEDREIRA	84	604	-	-	213	PQ SÃO SEBASTIÃO III	-	-	180	1.293	-	-
135	JD. PROCÓPIO	106	761	-	-	214	CURUPIRA	223	1.608	-	-	-	-
137	ALEXANDRE BALBO	215	1.551	-	-	215	BONFIM PAULISTA III	172	1.235	-	-	-	-
140	LAGOINHA II	-	-	74	533	216	SPLASH	160	1.151	-	-	-	-
141	VILA ELISA	-	-	121	874	217	ALPHAVILLE	137	986	-	-	-	-
142	ANDRADAS	229	1.647	-	-	218	MABEL III	156	1.121	-	-	-	-
143	SALDANHA MARINHO	56	405	-	-	219	PALOCCI II	-	-	249	1.791	-	-
147	VIA DO CAFÉ	78	564	-	-	220	JOSÉ SAMPAIO	247	1.780	-	-	-	-
149	PALMARES II	-	-	165	1.191	221	HEITOR RIGON	249	1.792	-	-	-	-
151	CDHU	209	1.504	-	-	222	RIBEIRÂNIA IV	175	1.261	-	-	-	-
152	IRAJÁ	-	-	63	452	223	ALTO DO CASTELO	118	851	-	-	-	-
153	VILA VIRGINIA	183	1.315	-	-	224	FAZENDA INVERNADA	208	1.498	-	-	-	-
155	VILA AUGUSTA	62	448	-	-	225	QUINTA DA PRIMAVERA	196	1.412	-	-	-	-
157	BANDEIRANTES	183	1.315	-	-	226	FEAPAM II	-	-	233	1.677	-	-
161	JOÃO FIUZA	191	1.373	-	-	227	CORONEL CAMISSÃO	159	1.142	-	-	-	-
162	AVELINO PALMA	193	1.390	-	-	229	QUINTA DO GOLF	185	1.331	-	-	-	-
163	MARIA DA GRAÇA	202	1.457	-	-	230	AROEIRA II	240	1.730	-	-	-	-
165	PRES. DUTRA III	-	-	230	1.659	231	CITY RIBEIRÃO	181	1.306	-	-	-	-
166	ROYAL PARK	74	531	-	-	234	JD MARCHESI	174	1.251	-	-	-	-
168	JD. PAULISTA	182	1.310	-	-	235	JD SANTA MARTHA	254	1.827	-	-	-	-
169	PQ. DOS LAGOS	249	1.793	-	-	236	BANANAL IV	-	-	103	744	-	-
170	EDUCANDÁRIO	-	-	192	1.383	237	SEME CURY	203	1.461	-	-	-	-
171	DOM MIELLE	216	1.555	-	-	238	PORTINARI III	-	-	173	1.242	-	-
172	BRANCA SALES	193	1.392	-	-	239	PORTAL DA MATA	21	155	-	-	-	-
173	SÃO JOSÉ II	-	-	145	1.043	240	JD. RECREIO III	124	891	-	-	-	-
174	QUINTINO III NOVO	-	-	250	1.797	241	RECANTO PALMEIRAS	127	916	-	-	-	-
175	MONTE ALEGRE	198	1.423	-	-	242	QUINTINO IV - CLUBINHO	-	-	160	1.150	-	-
176	FLAMBOYANS	-	-	216	1.556	243	PQ DOS LAGOS	-	-	137	986	-	-
177	V. TECNOLÓGICA	185	1.329	-	-	244	BOTAFOGO	-	-	243	1.750	-	-
178	PATRIARCA	199	1.431	-	-	245	PRIMAVERA	166	1.194	-	-	-	-
179	V. ALBERTINA	201	1.448	-	-	246	COSTA E SILVA	186	1.338	-	-	-	-
180	LAGOINHA III	-	-	128	925	247	JARDIM CRISTO I	310	2.232	-	-	-	-
181	ITABIRITE	-	-	212	1.524	248	JARDIM CRISTO II	250	1.800	-	-	-	-
183	ARLINDO LAGUNA	137	985	-	-	249	ELPIDIO GOMES II	181	1.301	-	-	-	-
184	ALTO DA BOA VISTA	255	1.835	-	-	250	MAJOR RICARDO II	133	956	-	-	-	-
187	PQ DAS OLIVEIRAS	253	1.823	-	-	251	PQ. SÃO SEBASTIAO IV	-	-	129	926	-	-
188	E. E. POMPOLO II	250	1.803	-	-	252	SAMU	74	532	-	-	-	-
189	E. E. SANTA TERESA	195	1.407	-	-	253	CAVA DO BOSQUE II	195	1.407	-	-	-	-
190	BANANAL III - JD ZARA	-	-	216	1.554	255	SAID SOBRINHO	172	1.240	-	-	-	-
191	JD. DIVA TARLÁ	-	-	231	1.660								
192	SIMIONI II	-	-	235	1.691								
							total geral	19.187	138.148	4.891	35.212		

A **Figura 7-11** apresenta a distribuição espacial dos poços ativos do DAERP, com dados de 2019 da vazão outorgada, classificados em 5 faixas de vazão anual.

A vazão total outorgada pelos poços localizados na área em que o aquífero é confinado é de 102.935.000 m³/ano e na área em que o aquífero é livre é 35.212.000 m³/ano, que representa 25% do total.

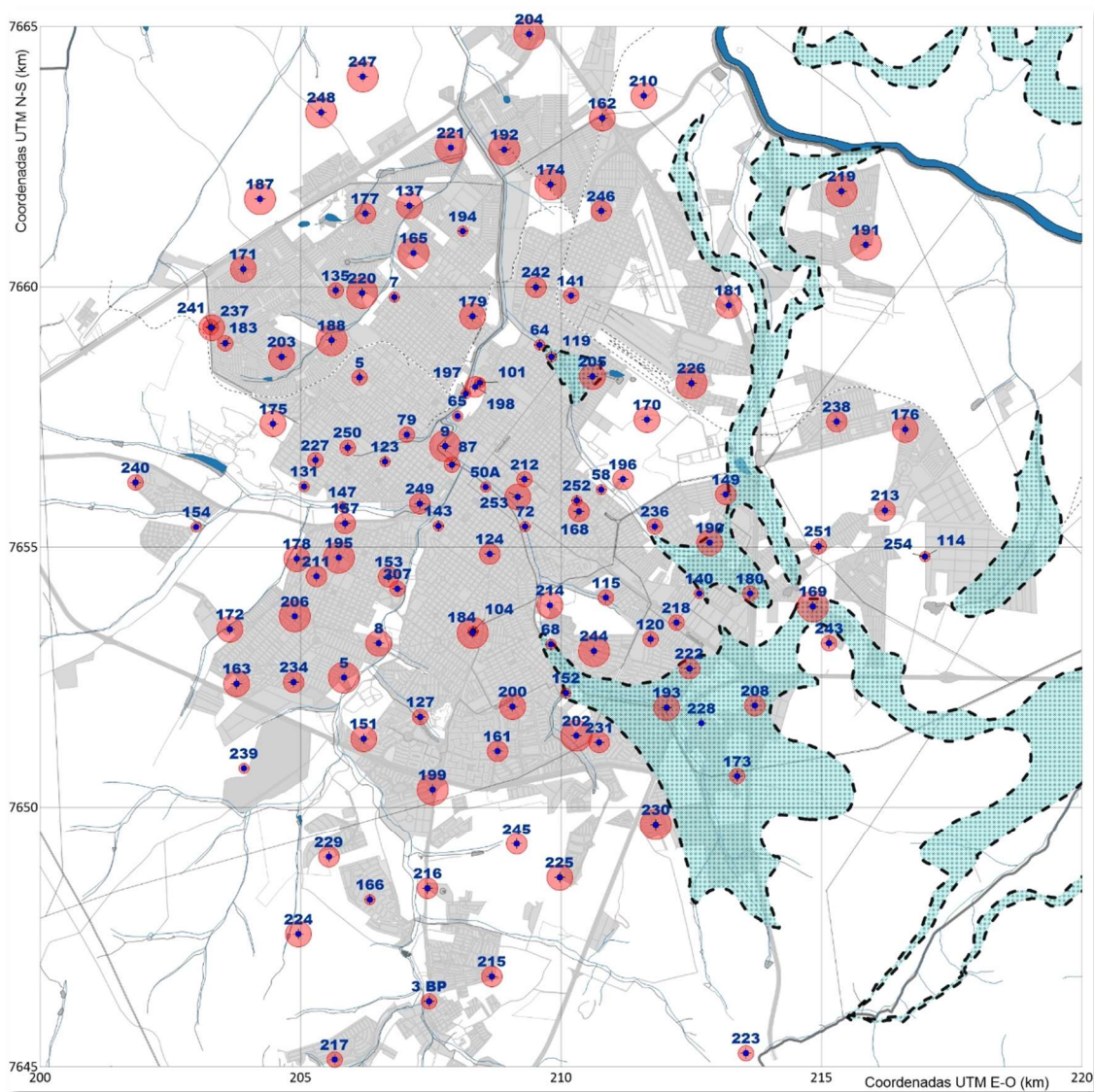


Figura 7-11: Vazão outorgada anual dos poços (1.000 m³/ano), com indicação das áreas de afloramento da Fm. Botucatu

7.5. Reservas de água subterrânea

As estimativas de reservas de água subterrânea apresentadas por GEOWATER (2017) foram reavaliadas e atualizadas. A metodologia adotada permanece a mesma, utilizando valores dos parâmetros hidráulicos e geométricos da camada aquífera estimados e ou determinados em estudos anteriores, aqui considerados uniformes para toda a área estudada. Os critérios de cálculo foram ligeiramente alterados, sem considerar os efeitos da urbanização sobre a taxa de recarga e considerando a inexistência de recarga em toda a extensão da ocorrência das rochas basálticas.

A reserva permanente equivale ao volume de água armazenado no aquífero abaixo do nível de base ou níveis potenciométricos mínimos da região. O volume armazenado é o produto da área de ocorrência, pela espessura saturada e pela porosidade eficaz ou coeficiente de armazenamento.

Com base nos resultados apresentados na **Figura 7-7**, a reserva permanente da espessura confinada foi desprezada, pois, na maior parte da área, o nível da água na camada aquífera já se encontra abaixo da base das rochas basálticas e para o cálculo da reserva permanente foi considerado o valor de espessura média útil da camada de rocha-reservatório: 250 m (descontando-se intercalações de rochas basálticas intrusivas e níveis com presença de materiais argilosos).

Os cálculos apresentados aqui não consideram a transferência de água, nos limites da área, induzida pelo abatimento piezométrico, que proporciona alguma reposição da água subterrânea explorada no interior da área estudada, e causa a propagação do abatimento piezométrico para as áreas circunvizinhas.

A **reserva permanente** de água subterrânea, dentro da área de estudo no Município de Ribeirão Preto, foi estimada em cerca de 18.495.000.000 m³, conforme resultados apresentados na **Tabela 7-5**.

Tabela 7-5: Estimativa da reserva permanente

Condição do aquífero	Área (m ²)	Espessura (m)	Porosidade efetiva %	Reserva (m ³)	%
Livre sem cobertura de basalto	94.400.000	250	20	4.720.000.000	25,52%
Livre com cobertura de basalto	275.500.000	250	20	13.775.000.000	74,48%
Total				18.495.000.000	

A **reserva reguladora** equivale ao volume de água que transita anualmente pelo aquífero, sendo responsável pela sustentação do escoamento de base dos corpos de água superficial. Pode ser originado por recarga induzida por ações antrópicas e pela recarga natural proveniente da infiltração da água da chuva no solo, descontadas a parcela retida no solo e as perdas por evapotranspiração.

O valor da precipitação média adotado foi 1.529 mm/ano, baseado nos dados de balanço hídrico médio mensal do solo no período de 1961 a 1990 (**Figura 7-12**) e considerando a infiltração profunda equivalente de 4,5% da precipitação anual (SINELLI, 1987). Não foi considerado o eventual efeito de recarga induzida que poderá eventualmente vir a ocorrer na região Nordeste do município, onde devem existir conexões entre o aquífero e o Rio Pardo, em função do avanço do abatimento piezométrico.

A **reserva reguladora** de água subterrânea, dentro da área de estudo no Município de Ribeirão Preto, foi estimada em cerca de 6.495.192 m³/ano, conforme resultados apresentados na **Tabela 7-6**.

Município: Ribeirão Preto - SP

Latitude: 21,18 S Longitude: 47,80 W Altitude: 521 m Período: 1961-1990

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	24,1	267	118	100	118	0	149
Fev	24,4	217	111	100	111	0	106
Mar	24,1	159	114	100	114	0	45
Abr	22,6	80	89	92	88	0	0
Mai	20,3	54	66	82	64	2	0
Jun	19,2	31	53	65	47	6	0
Jul	19,2	28	54	50	43	11	0
Ago	21,3	25	73	31	44	29	0
Set	22,9	57	90	22	66	24	0
Out	23,6	139	106	55	106	0	0
Nov	23,8	174	110	100	110	0	19
Dez	23,7	298	116	100	116	0	182
TOTAIS	269,2	1.529	1.099	898	1.027	72	502
MÉDIAS	22,4	127	92	75	86	6	42

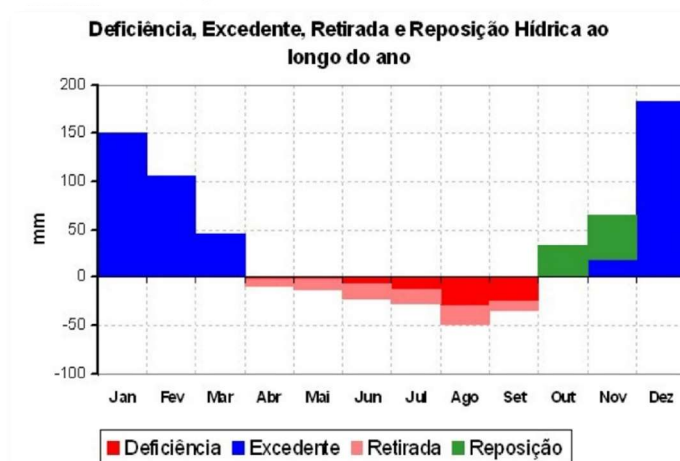


Figura 7-12: Balanço hídrico do solo – IAC (<http://www.bdclima.cnpem.embrapa.br/>)

Tabela 7-6: Estimativa da reserva reguladora

Condição do aquífero	Área (m ²)	Taxa média de recarga (mm/ano)	Reserva (m ³ /ano)
Livre sem cobertura de basalto	94.400.000	70	6.495.192
Total			6.495.192

A **reserva explorável** é usualmente determinada como uma parcela equivalente a 50% da reserva reguladora. Para aquíferos livres, com comunicação hidráulica com corpos de água superficiais, o volume disponível será determinado a partir da reserva explorável, deduzindo-se as vazões de exploração subterrâneas e superficiais outorgadas previamente na bacia.

Adotando-se o valor da reserva reguladora apresentado anteriormente, o valor da **reserva explotável** equivale a 3.247.596 m³/ano, insuficiente para atender o volume extraído na área em que o aquífero é livre, estimado em 35.212.000 m³/ano.

O **volume anual de água subterrânea**, outorgado ao DAERP, de 138.148.000 m³, conforme **Tabela 7-4**. O valor total autorizado é estimado em 153.497.777 m³, para incluir os poços particulares que, segundo GEOWATER (2017), representam 10% do total. Assim sendo, o valor estimado do **déficit hídrico** de água subterrânea é de 150.250.181 m³/ano, que equivale ao volume total anual explotado, além da **reserva explotável**.

As consequências da superexploração no futuro próximo podem ser previstas por meio da simulação da vida útil da **reserva permanente**, considerando o déficit hídrico atual, distribuído uniformemente em grandes áreas. Os cálculos apresentados na **Tabela 7-7** consideram dois cenários: 1) área de exploração uniforme equivalente à área do **Projeto de Setorização** da rede de distribuição; e 2) área de exploração uniforme equivalente à porção da quadrícula de 20 x 20 km inserida no município de Ribeirão Preto, a qual tem área similar à da **Zona de Restrição 3**. No **cenário 1** seria necessário drenar totalmente 110 m da camada aquífera para atender o déficit anual atual, durante os próximos 28 anos, ao passo que, no **cenário 2**, o rebaixamento de 57 m do nível da água da camada aquífera, seria suficiente para atender o déficit hídrico atual durante os próximos 25 anos.

Tabela 7-7: Simulação de vida útil da reserva reguladora

<i>Cenário</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Rebaixamento (m)</i>	<i>Vida útil (ano)</i>
1	190	110	28
2	370	57	25

Os resultados das simulações acima apresentadas equivalem apenas a uma avaliação preliminar que sugere que a ampliação da área de captação poderá melhorar as condições econômicas e de segurança hídrica do sistema de abastecimento público de água de Ribeirão Preto. Uma avaliação quantitativa mais aprimorada e baseada em cálculos mais sofisticados requer a implantação e calibração de um modelo numérico do aquífero.

O **item 11** apresenta os resultados de estudos de viabilidade econômica para expansão da área de captação da água subterrânea, simulando seu custeio pela economia de energia elétrica que seria obtida, pela transferência do volume explorado de alguns poços, localizados da área central, afetada por abatimento piezométrico, para novos poços a serem construídos em áreas periféricas, onde teoricamente os poços teriam menor consumo unitário de energia elétrica.

8. PROJETO DO DAERP PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo dados do DAERP, a perda total no sistema público de abastecimento de água, em 2018, equivalia a 56,9%, e a principal causa das elevadas perdas é reputada à predominância da distribuição “em marcha”, ou seja, os poços alimentam diretamente a rede de abastecimento e as sobras decorrentes de reduções de consumo geram o aumento de pressão necessário para abastecer, durante a noite, os reservatórios setoriais.

O projeto de setorização da rede de abastecimento, adotado pelo DAERP, considera que para reduzir as perdas de água, o consumo de energia elétrica e as rupturas da tubulação, será necessário que a distribuição passe a ser majoritariamente por gravidade a partir de reservatórios. Para isso, planeja desconectar os poços da rede de distribuição e direcioná-los aos reservatórios setoriais, a maioria deles a serem construídos, assim como as adutoras de interligação. Adicionalmente, serão implantados: os dispositivos (válvulas, registros e interligações) para isolamento dos setores de abastecimento; DMC – Distritos de Medição e Controle; SMR - Sistema de Medição Remota; e CCO – Centro de Controle Operacional.

O DAERP disponibilizou, em 08/10/2020, arquivo digital, em formato PDF (*Portable Document Format*), contendo texto descritivo e desenhos, relativos à versão, datada de setembro/2019, do projeto de setorização do sistema de abastecimento de água (DAERP - Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto, 2019).

A análise do documento foi prejudicada pelas restrições impostas pela quarentena e por dificuldades de comunicação à distância com os técnicos envolvidos, impossibilitando o esclarecimento adequado de dúvidas e a obtenção de outros dados e informações complementares.

Baseado em dados do ano de 2018, o Projeto de Setorização apresenta projeções e simulações de cenários futuros até 2025, os quais são parcialmente compilados na **Tabela 8-1**, até a data prevista de implantação integral do projeto, que estava prevista para 2021.

Tabela 8-1: Dados e projeções adotados pelo DAERP

parâmetro	2019	2021
população (hab)	688.910	714.847
vazão (m ³ /h)	15.480	13.608
qtde de poços	117	128
perdas totais (%)	56,9	30
perdas reais (%)	39,2	17,9

A abrangência do projeto de setorização inclui o perímetro urbano e parte da área de expansão que onde estão previstos novos empreendimentos de parcelamento do solo, conforme reproduzido na **Figura 8-1**.

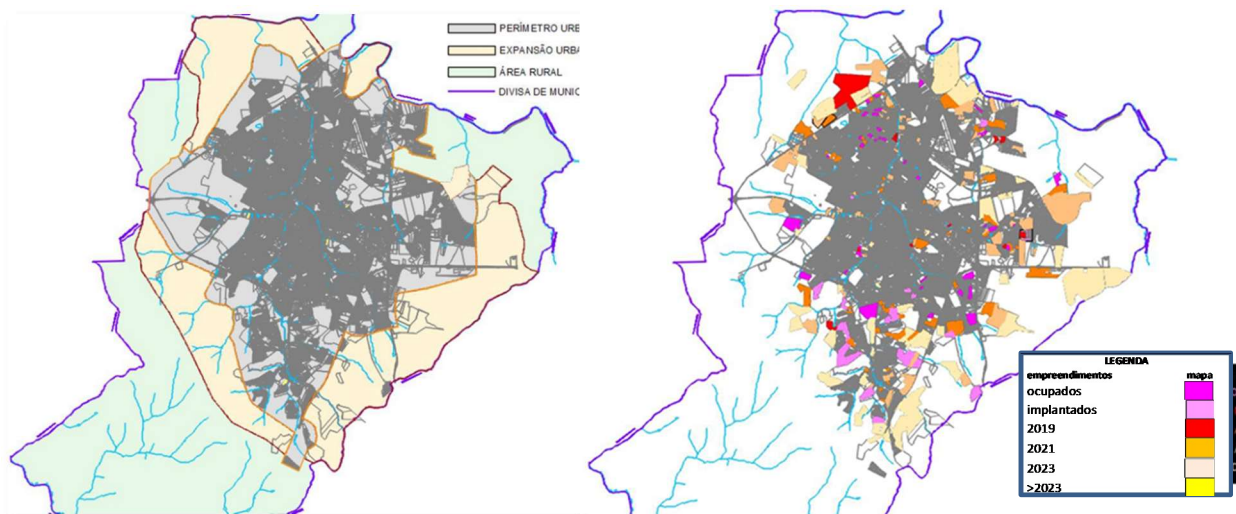


Figura 8-1: Perímetro urbano, área de expansão e localização de novos empreendimentos urbanísticos

Tabela 8-2: Densidade e projeção populacional

Setor	Área – m ²	hab	hab/km ²
1 Alphaville	5.213.663	12.546	2.406,4
2 Alto da Boa Vista	7.971.391	81.601	10.236,7
3 Aroeira	3.978.386	17.812	4.477,2
4 Bonfim	2.956.358	16.246	5.495,3
5 Bonfim II	1.332.518	14.867	11.157,1
6 Botânico/City	3.334.675	31.131	9.335,5
8 Campos Elísios	5.419.233	57.194	10.553,9
9 Catetos	4.759.568	33.133	6.961,3
10 Centro	2.763.830	53.195	19.246,8
11 Delboux	199.005	2.575	12.939,4
12 Dist. Empresarial	1.530.189	25.720	16.808,4
13 Dom Mielli	1.878.182	14.016	7.462,5
14 Dutra	7.534.263	64.355	8.541,6
15 Educandário	11.304.987	33.291	2.944,8
16 Fiusa	2.598.576	20.266	7.798,9
17 Flamboyans	944.350	2.436	2.579,6
18 Golf	3.775.758	10.554	2.795,2
19 Heitor Rigon	1.633.922	21.570	13.201,4
20 Invernada	5.242.904	13.500	2.574,9
21 Ipiranga	3.310.225	14.894	4.499,4
22 Jd. Recreio	2.654.438	7.088	2.670,2
23 Jose Sampaio	1.078.714	8.793	8.151,4
24 Mabel	1.671.182	7.691	4.602,1
25 Macaúba	5.360.745	16.785	3.131,1
26 Maria da Graça	1.671.182	4.559	2.728,0
27 Monte Alegre	3.543.563	13.711	3.869,3
28 Monteiro Lobato	1.404.509	14.506	10.328,2
29 Nova Aliança	2.335.439	14.408	6.169,3
30 Nova Aliança Sul	1.720.421	6.426	3.735,1
31 Orestes Lopes	1.294.976	12.887	9.951,5
32 Pacaembu	2.858.440	26.374	9.226,7
33 Paiva	3.996.669	27.313	6.833,9
34 Palmares	2.475.308	13.021	5.260,4
35 Jd. Paulista	3.521.265	52.886	15.019,0
36 Piratininga	3.211.067	29.678	9.242,4
37 Planalto Verde	2.480.256	21.109	8.510,8
38 Portinari	3.439.743	16.234	4.719,5
39 Pq. dos Lagos	5.468.047	30.627	5.601,1
40 Pq. Ribeirão Preto	3.937.252	26.413	6.708,5
41 Quinta Primavera	11.264.128	65.445	5.810,0
42 Jd. Regatas	4.039.911	15.060	3.727,8
43 Ribeirânia	3.894.222	16.729	4.295,9
44 Ribeirão Verde	4.039.911	39.539	9.787,1
45 Royal Park	1.720.421	2.271	1.320,0
46 Said Sobrinho	1.987.989	8.311	4.180,6
47 Salgado Filho	5.587.035	7.952	1.423,3
48 San Leandro	3.443.310	18.918	5.494,1
49 Santa Martha	6.038.187	12.780	2.116,5
50 São José	3.400.190	20.058	5.899,1
51 São Sebastião I	3.334.816	19.630	5.886,4
52 Pq. São Sebastião II	3.453.979	11.298	3.271,0
53 Tanquinho	1.691.046	8.665	5.124,0
54 Vila Elisa	2.993.407	14.979	5.004,0
55 Vila Tibério	2.993.407	29.510	9.858,3
56 Zona Norte	2.993.407	54.372	18.163,9
total	194.680.565	1.236.928	

A população máxima projetada adotada pelo DAERP é de 1.236.928 habitantes, para o ano 2025, o que difere sobremaneira da projeção populacional do SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados), que é 723.986 habitantes, para o ano 2050. A densidade populacional para os setores de abastecimento projetados pelo DAERP varia de 1.320 a 19.247 hab/km², com valor médio de 6.906 hab/km².

O valor total dos investimentos, calculado em 2018, é da ordem de R\$ 141 milhões (**Tabela 8-3**), que seriam viabilizados por meio de financiamento da Caixa Econômica Federal, com prazo de implantação, pelo DAERP, até o ano de 2021, prevendo um total de 55 setores (tendo em vista que 2 foram unificados), da seguinte forma:

- 10 setores já são isolados;
- 13 setores com implantação em 2019;
- 12 setores com implantação em 2020;
- 17 setores com implantação em 2021; e
- 4 setores com implantação pelos próprios empreendedores, em data não estabelecida.

Tabela 8-3: Orçamento da setorização

Obras	Valor
Poço profundo	R\$20.908.500,00
Rede de adução e distribuição	R\$53.703.546,21
Travessia	R\$1.067.118,32
Reservatório	R\$20.430.000,00
Válvula redutora de pressão	R\$390.000,00
Válvula de manobra	R\$419.585,23
Poço de sucção	R\$82.400,00
Subtotal	R\$97.001.149,76
Atividades	Valor
Instalação de SMR (sistema de medição remota)	R\$2.320.898,73
Implantação C.C.O. por Empresa Contratada com Operação Assistida	R\$4.669.863,60
Atualização Cadastro Técnico	R\$1.407.845,06
Demais módulos	R\$518.679,75
Preparação Planejamento Implantação D.M.C.	R\$2.853.001,19
Trabalhos do Projeto Sócioambiental	R\$1.087.714,38
Subtotal	R\$12.858.002,71
Demais aquisições e atividades	Valor
Compra de Hidrômetros (micromedição)	R\$15.231.022,00
Instalação de hidrômetros velocimétricos	R\$4.486.340,00
Pesquisa e Reparos de Vazamentos Não Visíveis	R\$7.054.290,00
Caça Fraude	R\$4.500.000,00
Subtotal	R\$31.271.630,00
TOTAL	R\$141.130.804,47

A versão disponibilizada do projeto de setorização apresenta características de projeto básico, sem detalhes construtivos, contendo aparentemente, algumas falhas de revisão, pois alguns setores apresentam recobrimentos em área e existem áreas sem indicação de setor de abastecimento, por exemplo, o setor 32-Pacaembú; existem também indicações conflitantes e ou situação desatualizada dos poços que abastecem cada setor.

O DAERP não forneceu, cópia do arquivo DWG da delimitação e localização dos componentes do sistema de abastecimento de água, sendo necessário realizar uma atividade não prevista e, teoricamente desnecessária, de redesenhar a delimitação dos setores propostos. A **Figura 8-2** (parcial) é resultante da tentativa de reproduzir a delimitação da setorização utilizando os critérios adotados de limites físicos existentes tais como: avenidas, córregos ou rodovias.

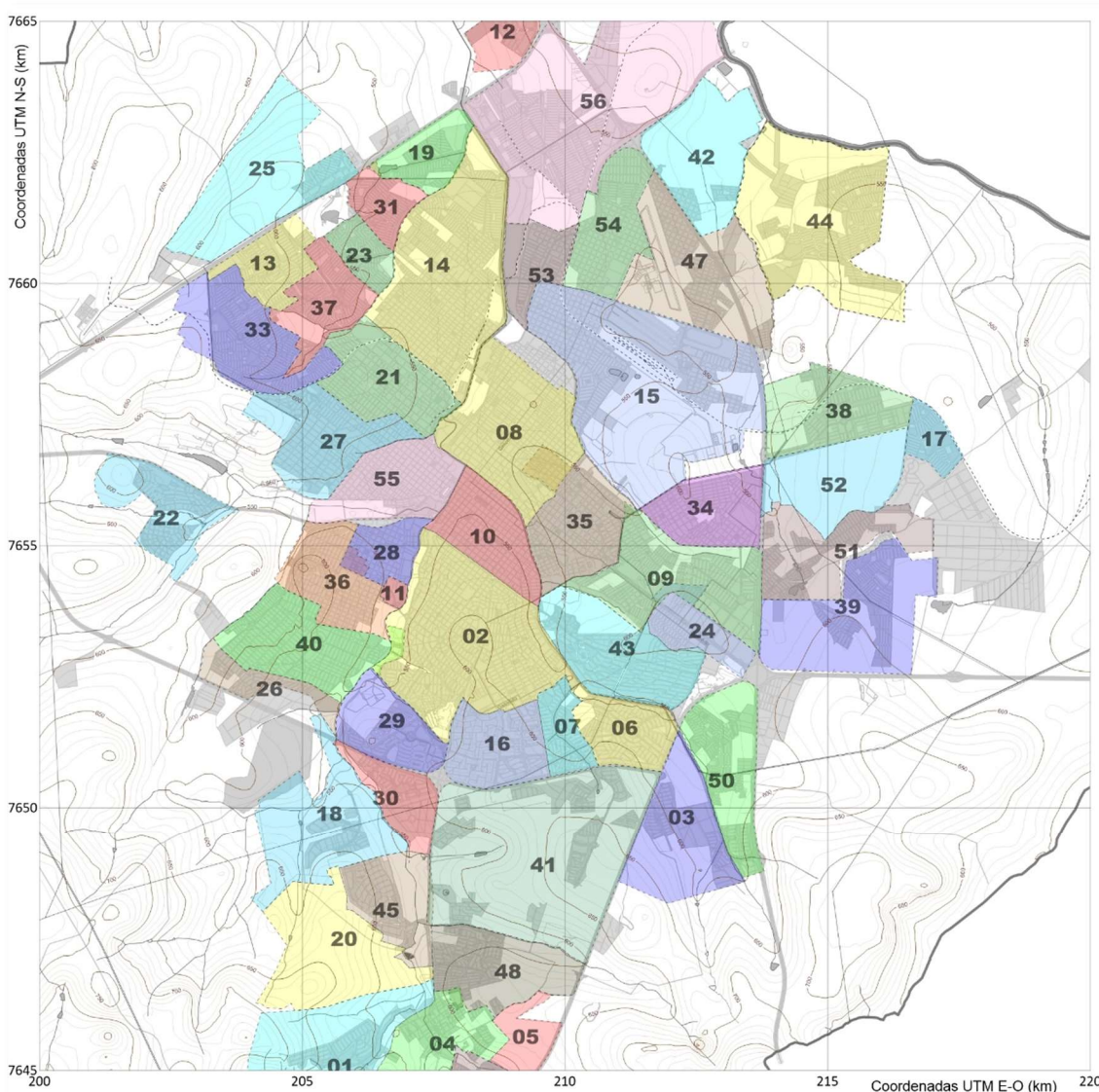


Figura 8-2: Projeto de setorização representado sobre mapa planialtimétrico (parcial) – numeração dos setores conforme consta na Tabela 8-4

Para avaliar os impactos futuros a serem gerados pela implantação do Projeto de Setorização foi considerada a ocupação máxima planejada de cada setor, conforme **Tabela 8-4**, cujo total tem 25.720 habitantes a maior que o total informado no texto do DAERP.

Tabela 8-4: População projetada dos setores de abastecimento

nº	nome	população(hab)	nº	nome	população(hab)
1	Alphaville	12.546	30	Nova Aliança Sul	6.426
2	Alto da Boa Vista	81.601	31	Orestes Lopes	12.887
3	Aroeira	17.812	32	Pacaembu	26.374
4	Bonfim	16.246	33	Paiva	27.313
5	Bonfim II	14.867	34	Palmares	13.021
6	Botânico / City	31.131	35	Jd. Paulista	52.886
8	Campos Elíseos	57.194	36	Piratininga	29.678
9	Catetos	33.133	37	Planalto Verde	21.109
10	Centro	53.195	38	Portinari	16.234
11	Delboux	2.575	39	Pq. Dos Lagos	30.627
12	Distrito Empresarial	25.720	40	Pq. Ribeirão Preto	26.413
13	Dom Mielli	14.016	41	Quinta da Primavera	65.445
14	Dutra	64.355	42	Jd. Regatas	15.060
15	Educandário	33.291	43	Ribeirânia	16.729
16	Fiusa	20.266	44	Ribeirão Verde	39.539
17	Flamboyans	2.436	45	Royal Park	2.271
18	Golf	10.554	46	Said Sobrinho	8.311
19	Heitor Rigon	21.570	47	Salgado Filho	7.952
20	Invernada	13.500	48	San Leandro	18.918
21	Ipiranga	14.894	49	Santa Martha	12.780
22	Jd. Recreio	7.088	50	São José	20.058
23	Jose Sampaio	8.793	51	São Sebastião I	19.630
24	Mabel	7.691	52	Pq. São Sebastião II	11.298
25	Macaúba	16.785	53	Tanquinho	8.665
26	Maria da Graça	4.559	54	Vila Elisa	14.979
27	Monte Alegre	13.711	55	Vila Tibério	29.510
28	Monteiro Lobato	14.506	56	Zona Norte	54.372
29	Nova Aliança	14.408		TOTAL	1.236.928

(Consórcio Geometrica e Walm Ambiental, 2015)

(ARESPCJ Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020)

A demanda de água para atender a população projetada de cada setor, que inclui as projeções de ocupação futura, foi estimada com base na taxa média de consumo adotada pelo DAERP de 310 L/hab.dia, que inclui 30% de perdas totais, da seguinte forma:

$$demanda \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{população \times 310 \left(\frac{L}{hab} \cdot dia \right)}{24h \times 1000L}$$

Os valores assim calculados de demanda são apresentados na **Tabela 8-5**.

Tabela 8-5: Demanda de água para atender a população projetada

nº	nome	demanda (m³/h)	nº	nome	demanda (m³/h)
1	Alphaville	162,05	30	Nova Aliança Sul	83,00
2	Alto da Boa Vista	1.054,01	31	Orestes Lopes	166,46
3	Aroeira	230,07	32	Pacaembu	340,66
4	Bonfim	209,84	33	Paiva	352,79
5	Bonfim II	192,03	34	Palmares	168,19
6	Botânico / City	402,11	35	Jd. Paulista	683,11
8	Campos Elíseos	738,76	36	Piratininga	383,34
9	Catetos	427,97	37	Planalto Verde	272,66
10	Centro	687,10	38	Portinari	209,69
11	Delboux	33,26	39	Pq. Dos Lagos	395,60
12	Distrito Empresarial	332,22	40	Pq. Ribeirão Preto	341,17
13	Dom Mielli	181,04	41	Quinta Primavera	845,33
14	Dutra	831,25	42	Jd. Regatas	194,53
15	Educandário	430,01	43	Ribeirânia	216,08
16	Fiusa	261,77	44	Ribeirão Verde	510,71
17	Flamboyans	31,47	45	Royal Park	29,33
18	Golf	136,32	46	Said Sobrinho	107,35
19	Heitor Rigon	278,61	47	Salgado Filho	102,71
20	Invernada	174,38	48	San Leandro	244,36
21	Ipiranga	192,38	49	Santa Martha	165,08
22	Jd. Recreio	91,55	50	São José	259,08
23	Jose Sampaio	113,58	51	São Sebastião I	253,55
24	Mabel	99,34	52	Pq. São Sebastião II	145,93
25	Macaúba	216,81	53	Tanquinho	111,92
26	Maria da Graça	58,89	54	Vila Elisa	193,48
27	Monte Alegre	177,10	55	Vila Tibério	381,17
28	Monteiro Lobato	187,37	56	Zona Norte	702,31
29	Nova Aliança	186,10		TOTAL	15.977

Os valores de demanda anual de água para atender a população projetada, por unidade de área de cada setor, foram calculados da seguinte forma:

$$demanda \left(\frac{mm}{ano} \right) = \frac{demanda \left(\frac{m^3}{h} \right) \times 24h \times 360 (dia) \times 1000 L}{área (m^2)}$$

Os resultados do cálculo da demanda anual de água, por unidade de área, equivalem à lâmina de água anual (mm/ano), são apresentados na **Tabela 8-6**. Para o conjunto de 55 setores o valor mínimo é de 147, o valor médio é de 771 e o valor máximo é de 2.148.

Tabela 8-6: Demanda por unidade de área dos setores (mm/ano)

nº	nome	área (m²)	demanda (mm/ano)	nº	nome	área (m²)	demanda (mm/ano)
1	Alphaville	5.213.663	269	30	Nova Aliança Sul	1.720.421	417
2	Alto da Boa Vista	7.971.391	1142	31	Orestes Lopes	1.294.976	1111
3	Aroeira	3.978.386	500	32	Pacaembu	2.858.440	1030
4	Bonfim	2.956.358	613	33	Paiva	3.996.669	763
5	Bonfim II	1.332.518	1245	34	Palmares	2.475.308	587
6	Botânico / City	3.334.675	1042	35	Jd. Paulista	3.521.265	1676
8	Campos Elísios	5.419.233	1178	36	Piratininga	3.211.067	1031
9	Catetos	4.759.568	777	37	Planalto Verde	2.480.256	950
10	Centro	2.763.830	2148	38	Portinari	3.439.743	527
11	Delboux	199.005	1444	39	Pq. Dos Lagos	5.468.047	625
12	Dist Empresarial	1.530.189	1876	40	Pq.Ribeirão Preto	3.937.252	749
13	Dom Mielli	1.878.182	833	41	Quinta Primavera	11.264.128	648
14	Dutra	7.534.263	953	42	Jd. Regatas	4.039.911	416
15	Educandário	11.304.987	329	43	Ribeirânia	3.894.222	479
16	Fiusa	2.598.576	870	44	Ribeirão Verde	4.039.911	1092
17	Flamboyans	944.350	288	45	Royal Park	1.720.421	147
18	Golf	3.775.758	312	46	Said Sobrinho	1.987.989	467
19	Heitor Rigon	1.633.922	1473	47	Salgado Filho	5.587.035	159
20	Invernada	5.242.904	287	48	San Leandro	3.443.310	613
21	Ipiranga	3.310.225	502	49	Santa Martha	6.038.187	236
22	Jd. Recreio	2.654.438	298	50	São José	3.400.190	658
23	Jose Sampaio	1.078.714	910	51	São Sebastião I	3.334.816	657
24	Mabel	1.671.182	514	52	Pq.São Sebastião II	3.453.979	365
25	Macaúba	5.360.745	349	53	Tanquinho	1.691.046	572
26	Maria da Graça	1.671.182	304	54	Vila Elisa	2.993.407	558
27	Monte Alegre	3.543.563	432	55	Vila Tibério	2.993.407	1100
28	Monteiro Lobato	1.404.509	1153	56	Zona Norte	2.993.407	2027
29	Nova Aliança	2.335.439	688		TOTAL	194.680.565	
						média	771
						máximo	2148
						mínimo	147

A **Figura 8-3** apresenta os setores de abastecimento cujas cores indicam a classe de demanda de água, segundo as faixas indicadas na **Tabela 8-7**.

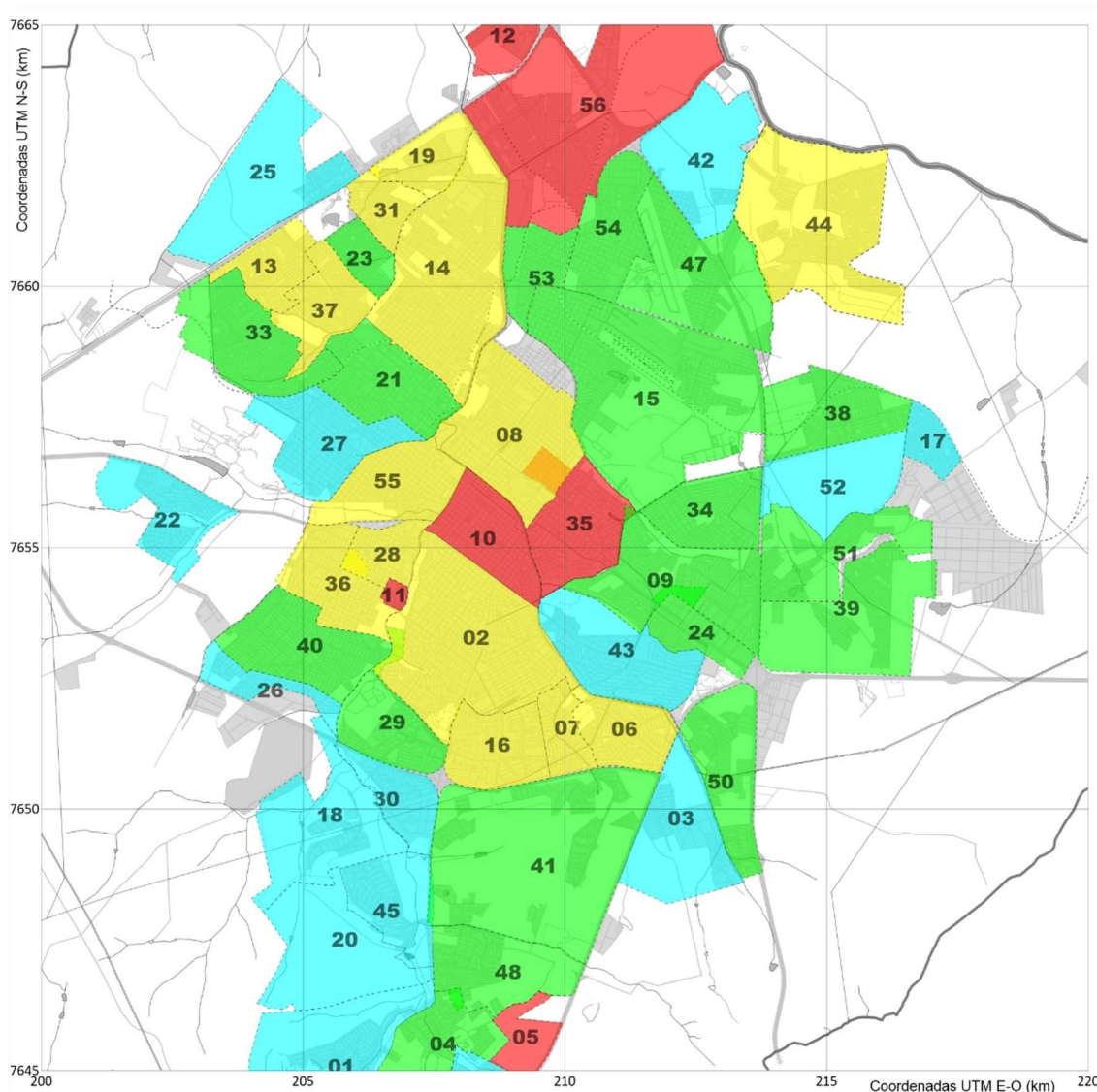


Figura 8-3: Classificação dos setores por demanda (mm/ano)

Tabela 8-7: Legenda da classificação de setores por demanda

classe	cor	faixa de demanda (mm/ano)
1	azul	<500
2	verde	500-800
3	amarelo	800-1200
4	vermelho	>1200

Analisando-se a **Figura 8-3**, em comparação com a **Figura 7-4**, verifica-se que os setores na classe 3, com demanda entre 800 e 1.200 mm/ano, com exceção do setor 44, estão localizados dentro

do cone de abatimento piezométrico, assim como os setores 10, 11 e 35 da classe 4, com demanda superior a 1.200 mm/ano.

Tendo em vista que a implantação dos setores visa reduzir as perdas reais de água, poderia ser conveniente priorizar a implantação de setores localizados dentro do cone de abatimento piezométrico, buscando a redução da extração de água nessa área. Desta forma, uma revisão da sequência de implantação, poderia ser conveniente para antecipar a implantação dos setores: 06, 08, 13, 14, 16, 28, 31, 35, 36, 37 e 55. Os setores 06, 08, 14, 35, 36, 37 são grandes importadores de água do sistema, uma vez que os poços tubulares localizados nesses setores não são capazes de suprir a demanda de água pela população dos setores. Os setores 16, 28, 31 e 55 são grandes exportadores de água para o sistema e o setor 13 é praticamente autônomo. Uma vez que estes setores estão localizados na área de abatimento do cone piezométrico é interessante minimizar a exploração de água nesta região. Neste caso, estes setores deveriam ser importadores de água de setores mais distantes do centro do cone de abatimento piezométrico, portanto, os setores 16, 28, 31 e 55 deveriam ter sua demanda suprida pelos demais setores de fora do cone de abatimento piezométrico.

Além da implantação dos setores de abastecimento é urgente a implantação de um sistema moderno e seguro de monitoramento operacional dos poços, com sensores instalados nos poços, para coleta, transmissão e registro contínuo dos dados de: nível da água, vazão, pressão, na saída, volume acumulado, tempo de funcionamento, corrente e tensão por fase, temperatura do motor da bomba, com visualização das condições operacionais em tempo real e o envio de comandos por aparelhos telefônicos celulares (**Figura 8-4** e **Figura 8-5**).

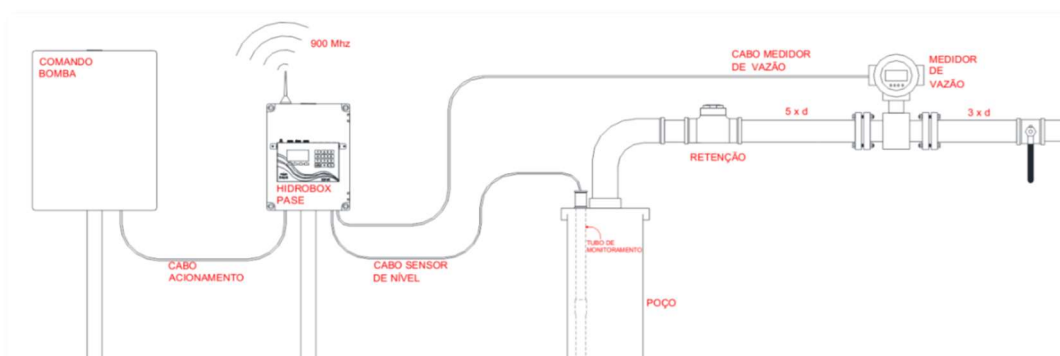


Figura 8-4: Componentes do Sistema de Monitoramento

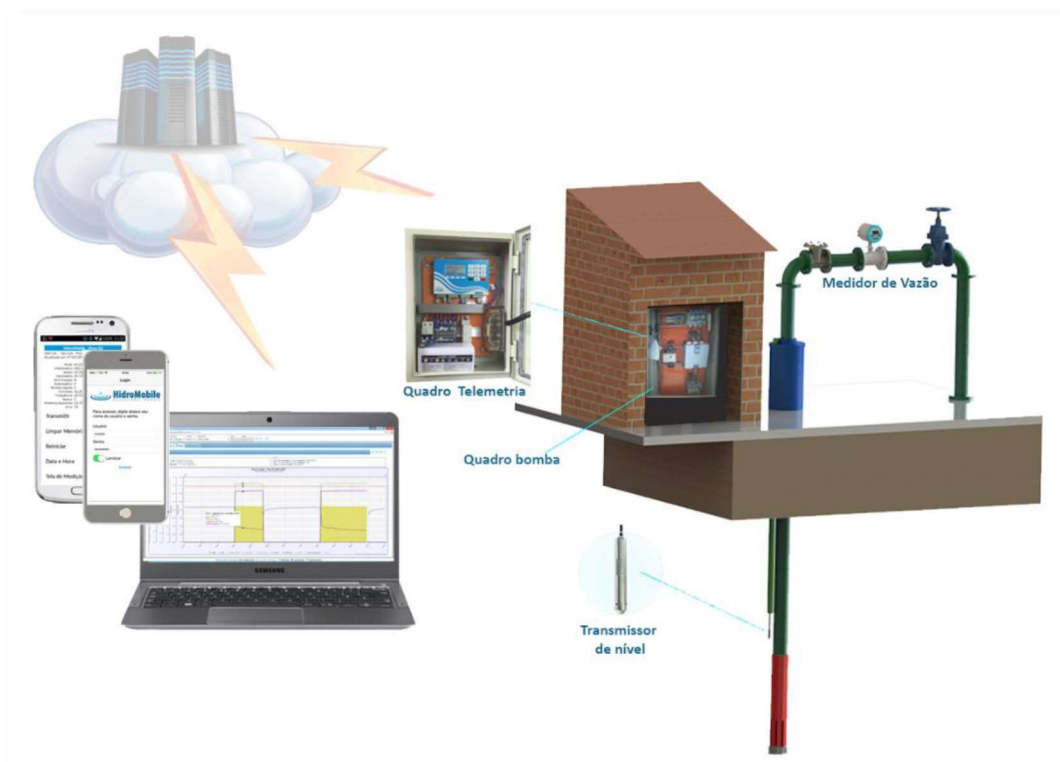


Figura 8-5: Funcionamento do Sistema de Monitoramento

A implantação dos sistemas de monitoramento dos poços poderá ser realizada em etapas, sugerindo-se que sejam priorizados os setores e poços indicados na **Tabela 8-8**.

Tabela 8-8: Recomendação de poços com prioridade para implantação de sistema de monitoramento

setor	poço	vazão
06	231	190
08	198	180
10	153	200
11	207	195
13	187	246
14	165	254
19	221	220
28	195	210
31	137	245
35	196	190
36	211	210
55	157	210

9. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo dados do SNIS do ano de 2019, a despesa com energia elétrica totalizou R\$ 75.458.750,71, que equivale a 32% do total das despesas do DAERP.

O consumo de energia elétrica está relacionado à eficiência eletro-mecânica-hidráulica dos equipamentos de bombeamento (bombas e sistemas de acionamento) e também das condições de instalação e de operação de cada poço. Por falta de dados e informações relativas aos equipamentos de bombeamento, são aqui analisadas apenas as condições do aquífero que podem influir no consumo de energia elétrica.

O abatimento piezométrico progressivo tem consequências diretas sobre a energia elétrica consumida nos poços, devido a dois fatores principais:

1. A profundidade do nível da água está continuamente aumentando, em função do *stress* hídrico continuado e progressivo, alterando as condições de operação das bombas que estão instaladas nos pontos, as quais passam a operar fora do ponto ótimo de rendimento; e

-
2. As quedas de nível da água causam redução da vazão bombeada, que precisa ser compensada periodicamente por meio da instalação de bombas com maior potência, instaladas em maiores profundidades.

O efeito do abatimento piezométrico sobre o consumo de energia é analisado através da localização dos poços em relação ao cone de depleção, considerando-se que, quanto menor a influência do abatimento piezométrico, menor será o consumo de energia elétrica.

Outro fator interveniente no consumo de energia elétrica que é aqui analisado é a capacidade específica dos poços, sendo necessário considerar, conforme já mencionado no **item 7.2**, que “a capacidade específica depende de diversos fatores, tais como: permeabilidade e espessura da camada aquífera, características construtivas do poço e suas condições de instalação e operação e tende a apresentar uma redução progressiva, durante o processo de envelhecimento do poço, devido aos efeitos prolongados de processos de corrosão e incrustação, que podem ser agravados quando, na construção do poço, são aplicados materiais de revestimento fabricados com ligas metálicas inadequadas e pela falta de operações de manutenção preventiva”, sabendo-se que poços com valores maiores da capacidade específica do poço, tendem a ter menor consumo de energia elétrica. No entanto, o valor da capacidade específica também é influenciado pelas interferências entre poços, ou seja, quando existem poços que operam a pequenas distâncias, os valores da capacidade específica ficam menores.

A análise do consumo de energia elétrica é realizada com base no consumo unitário de cada poço. No presente estudo foram utilizados dados de consumo de energia elétrica, fornecidos pelo DAERP, relativos ao ano de 2019 e os dados de vazão, informados pelo DAEE, relativos às medições realizadas no mesmo período, em alguns poços. O cruzamento desses dados resultou em um universo de 58 poços, que equivalem a 47% dos poços em operação. Os dados de consumo mensal de energia elétrica foram somados para obtenção do consumo total de cada poço em kWh/ano (**Tabela 9-1**).

Tabela 9-1: Dados de consumo de energia elétrica dos poços em 2019

poço	local	consumo (kWh/ano)	poço	local	consumo (kWh/ano)
50A	SESC	144.880	170	Educandário	1.345.734
58	Igrejinha	700.017	171	Dom Mielle	2.351.572
68	Tamoio	418.232	172	Jd. Branca Sales	1.475.519
72	Fregonesi	229.768	173	São José	704.745
79	Pará	479.034	174	E.E. Quintino	2.079.681
87	Amim Calil	442.028	175	Monte Alegre	2.171.884
101	Pernambuco	382.613	176	Flamboyans	1.527.485
104	Sumaré	2.769.410	177	Vila Tecnológica	1.442.158
114	Recreio Internacional	225.916	178	Patriarca	1.893.021
115	Arnaldo Vitaliano	1.024.628	179	Vila Albertina	1.278.633
119	E.E. Tanquinho	521.249	181	Itaberiti	1.070.490
120	E.E. UNAERP	510.959	183	Baixadão II Laguna	1.452.303
123	Vila Tibério	521.249	187	Parque das Oliveiras	2.309.380
124	E.E. Schmidt	1.436.816	193	Ribeirânia III	1.956.100
127	E.E. Canadá	2.624.520	196	Jd. Cadacaan	1.446.637
131	Pedreira Santa Luzia	792.021	197	Cianê I	302.673
135	Procópio	1.046.535	198	Cianê II	961.497
137	Alexandre Balbo	1.380.839	200	Irajá Novo	1.828.168
140	Lagoinha II	643.335	202	Jd. Botânico	1.852.523
141	Vila Elisa	751.368	203	Poço Paulo Gomes Rom	1.893.123
142	Andradas	1.232.339	205	Jd. Independência	1.781.498
143	Saldanha Marinho	1.320.959	208	Recreio Anhanguera	1.070.490
147	E.E. Via do Café	820.431	210	Avelino Palma	340.171
149	Palmares (144)	1.216.708	214	Poço Curupira	1.343.644
151	C.D.H.U.	1.631.766	215	Bonfim Pta	1.509.412
152	Jd. Irajá	395.399	216	Poço Splash Park	1.725.051
153	Vila Virgínia	1.471.162	217	Alphaville	367.554
154	Jd. Itaú Mirim	310.102	218	Poço Mabel	1.704.146
155	Vila Augusta	676.860	223	Alto do Castelo	30.439
157	Bandeirantes	1.450.135	224	Invernada	688.250
161	João Fiusa	1.665.442	225	Quinta da Primavera	1.754.218
162	Avelino Palma	1.264.599	226	Quinta do Golf	624.289
163	Maria da Graça	1.619.918	235	Santa Martha	143.162
165	E.E. Dutra	1.734.687	237	Seme Cury	2.288.766
166	Royal Park	67.968	243	Pq. dos Lagos	1.250.336
168	Jd. Paulista	2.039.379	244	Botafogo	1.430.118
169	Pq. dos Lagos	1.775.019	251	Pq. São Sebastião	282.169

Com base em dados de vazão dos poços, foi calculada a vazão anual, considerando o período de funcionamento teórico de 20 h/dia, 30 dia/mês e calculados os valores de consumo unitário (kWh/m³) apresentados na **Tabela 9-2**, na qual pode-se verificar que, excluindo-se o resultado anômalo obtido no poço 104-Sumaré, os demais poços apresentam o valor médio equivalente a 1,105 kWh/m³; o mínimo 0,036 kWh/m³; e o máximo 3,764 kWh/m³, sendo que 15 poços

localizados na área central apresentam consumo unitário de energia elétrica acima de 1,377 kWh/m³.

Tabela 9-2: Valores calculados de consumo unitário de energia elétrica em 2019

poço	local	consumo (kWh/m ³)	poço	local	consumo (kWh/m ³)
50A	SESC	0,857	170	Educandário	0,973
58	Igrejinha	3,764	171	Dom Mielle	1,512
68	Tamoio	0,765	172	Jd. Branca Sales	1,060
72	Fregonesi	1,082	173	São José	0,676
79	Pará	0,771	174	E.E. Quintino	1,157
87	Amim Calil	0,615	175	Monte Alegre	1,526
101	Pernambuco	1,833	176	Flamboyans	0,981
104	Sumaré	17,991	177	Vila Tecnológica	1,085
114	Recreio Internacional	0,629	178	Patriarca	1,323
115	Arnaldo Vitaliano	1,377	179	Vila Albertina	0,883
119	E.E. Tanquinho	1,273	181	Itaberiti	0,702
120	E.E. UNAERP	0,738	183	Baixadão II Laguna	1,475
123	Vila Tibério	1,133	187	Parque das Oliveiras	1,267
124	E.E. Schimidt	1,232	193	Ribeirânia III	1,377
127	E.E. Canadá	2,721	196	Jd. Cadacaan	1,063
131	Pedreira Santa Luzia	1,312	197	Cianê I	0,794
135	Procópio	1,374	198	Cianê II	0,788
137	Alexandre Balbo	0,890	200	Irajá Novo	1,216
140	Lagoinha II	1,207	202	Jd. Botânico	1,087
141	Vila Elisa	0,859	203	Poço Paulo Gomes Rom	1,348
142	Andradas	0,748	205	Jd. Independência	1,279
143	Saldanha Marinho	3,261	208	Recreio Anhanguera	0,854
147	E.E. Via do Café	1,453	210	Avelino Palma	0,242
149	Palmares (144)	1,022	214	Poço Curupira	0,836
151	C.D.H.U.	1,085	215	Bonfim Pta	1,222
152	Jd. Irajá	0,875	216	Poço Splash Park	1,499
153	Vila Virgínia	1,119	217	Alphaville	0,373
154	Jd. Itaú Mirim	0,858	218	Poço Mabel	1,521
155	Vila Augusta	1,511	223	Alto do Castelo	0,036
157	Bandeirantes	1,103	224	Invernada	0,459
161	João Fiusa	1,213	225	Quinta da Primavera	1,242
162	Avelino Palma	0,910	226	Quinta do Golf	0,372
163	Maria da Graça	1,112	235	Santa Martha	0,078
165	E.E. Dutra	1,046	237	Seme Cury	1,567
166	Royal Park	0,128	243	Pq. dos Lagos	1,268
168	Jd. Paulista	1,557	244	Botafogo	0,817
169	Pq. dos Lagos	0,990	251	Pq. São Sebastião	0,305

A distribuição espacial dos valores de consumo unitário de energia elétrica dos poços, em 2019, é apresentada **Figura 9-1**, evidenciando valores elevados concentrados na área central, afetada pelo cone de abatimento piezométrico e em poços com baixo valor de vazão específica.

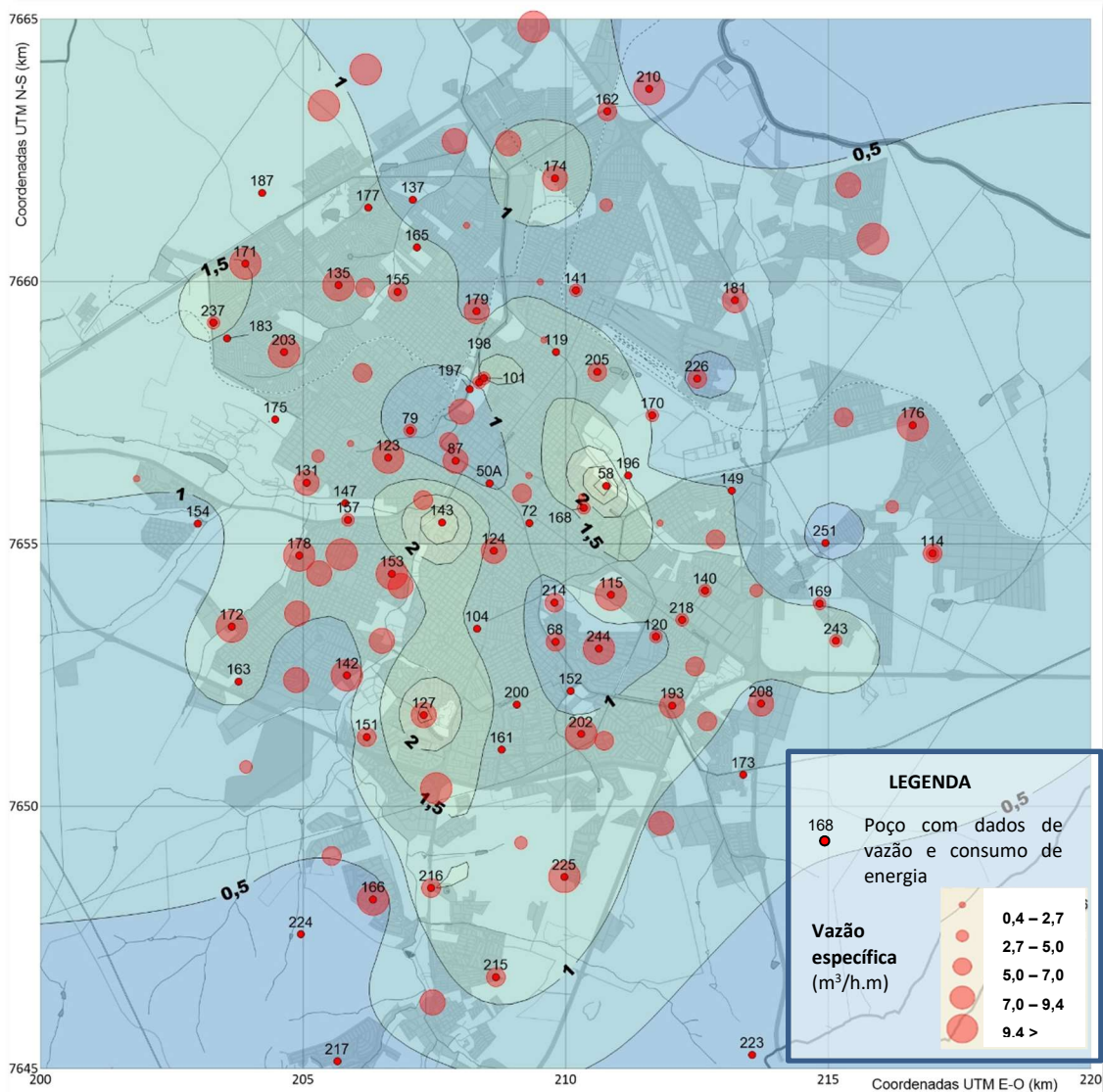


Figura 9-1: Consumo unitário de energia elétrica dos poços em 2019 (kWh/m³) x Vazão específica (m³/h.m)

10. ESTUDOS ECONÔMICOS

O conteúdo desse item é uma reprodução do estudo econômico realizado pela **Solow**.

“Primeiramente vamos justificar o emprego do modelo de Markowitz (MARKOWITZ, 1952) como uma ferramenta para ajudar na construção de um entendimento sobre as decisões acerca da captação de água do aquífero pelo DAERP. Primeiramente, importante compreendermos que

existe uma escolha intertemporal a ser realizada entre (i) concentrar os poços tubulares em uma área menor afim de captar água à um custo mais baixo, mas aumentando o risco de super exploração; ou (ii) distanciar mais os poços, aumentando o custo de produção e reduzindo o risco de super exploração.

Um indivíduo que preza por seu futuro entende a necessidade de se prevenir do prejuízo de amanhã. Desta forma, interessa a este indivíduo justamente maximizar seu "lucro intertemporal" e não apenas o lucro presente. Afinal, um prejuízo no futuro pode vir a ser imensamente maior que este lucro presente.

O modelo de Markowitz que será apresentado a seguir estabelece uma relação entre o retorno esperado e o risco. Podemos entender o retorno esperado do modelo como o lucro intertemporal que desejamos maximizar. O retorno esperado guarda uma relação com o risco de forma que como mostrou Markowitz é possível diversificar uma carteira de ativos (neste caso, os poços tubulares) de forma a obter maiores retornos a um menor risco.

Na seção anterior vimos que o problema na provisão de água através do sistema de captação de águas subterrânea é que devido ao adensamento urbano por motivos de economia de custo opta-se por manter os poços próximos da população e, por extensão, próximos também uns aos outros, causando o rebaixamento do cone piezométrico. As soluções rondam sempre sobre a necessidade de pulverizar a captação para localidades mais distantes da região com maior rebaixamento.

Podemos entender esta pulverização como uma forma de diversificação do risco em relação à opção cor-rente, qual seja, a captação de água próxima ao centro de maior adensamento urbano. Temos interesse, portanto, em estabelecer qual o risco que estamos dispostos em incorrer para alcançar determinado lucro esperado (ou evitar um prejuízo futuro). Podemos dizer que os poços que a companhia tem em mãos fazem parte de sua carteira de ativos, e a forma como ela investe ou determina a vazão destes poços tubulares é de uma infinidade de combinações com diversos retornos esperados e riscos associados.

Uma das principais evoluções no campo das finanças nas últimas décadas foi sua capacidade de disciplinar o que entendemos por risco e retorno. A relevância da compreensão desses conceitos é fundamental quando nos deparamos com as escolhas que temos disponíveis e pretendemos, claro, optar pela melhor delas. Muitas das escolhas com as quais nos deparamos envolvem algum grau de incerteza, e é neste ambiente que queremos uma teoria que nos ajude a otimizar a nossa escolha.

Primeiramente vamos definir o conceito de retorno tomando o preço de determinado ativo em cada período do tempo de uma certa série histórica. De modo que:

$$P = p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$$

Onde p_n é o retorno do ativo no período n .

O retorno efetivo do ativo no período 2 é dado por $p_2 - p_1$, como queremos fazer uma comparação entre ativos é mais conveniente utilizar o retorno percentual, neste caso:

$$R_2 = \frac{p_2 - p_1}{p_1}$$

Repare que estamos construindo um vetor de retornos R para um ativo com $n - 1$ elementos que diz respeito à série histórica observada, porém estamos em um ambiente de incerteza, temos a esperança que esta série nos traga alguma informação do que pode ocorrer no futuro, quanto maior for a série observável mais seguros estaremos do histórico de retornos daquele ativo. Porém, a máxima comumente sentenciada no mercado financeiro rentabilidade passada não garante rentabilidade futura é válida.

Sem o componente da incerteza a escolha fica óbvia, podemos dizer que só existe o problema da escolha de um portfólio de ativos devido ao ambiente de incerteza. Markowitz em seu artigo de 1952 observa que a própria diversificação de ativos não seria desejável, pois basta escolher aquele ativo que possui o maior retorno. Tendo em vista que devemos analisar com cuidado a relação entre retorno e incerteza sobre o futuro, discutiremos como os indivíduos podem se comportar quando enfrentam situações incertas.

Neste ponto, podemos clarificar melhor as diferenças entre risco e incerteza. Geralmente usamos a definição de Frank Knight em sua obra Risk, Uncertainty, and Profit (Risco, Incerteza e Lucro), de 1921. Risco é toda incerteza que podemos de alguma forma mensurar, sendo assim, uma falsa incerteza. O risco, desta forma, é dado por uma distribuição de probabilidades. No caso da incerteza, não se conhece essas probabilidades. A incerteza para Knight impossibilita que conheçamos ou façamos qualquer previsão sobre o futuro.

Cada indivíduo possui suas próprias preferências em relação a locação de recursos. O que significa que nem todas as pessoas estarão igualmente felizes possuindo as mesmas quantidades de um bem X e de um bem Y, possivelmente, há indivíduos que atribuem valor maior ao bem X que ao bem Y ou vice-versa. Neste caso, dizemos que a função utilidade das pessoas são distintas.

Vamos supor dois investidores de idades bem díspares, um jovem de 20 anos e um idoso de 80, é compreensível que o idoso seja mais avesso a correr riscos que o jovem, porém a teoria econômica não se preocupa em responder porque essa aversão ao risco é distinta, mas reconhece que a diferença de preferências entre indivíduos existe.

Um outro tipo de escolha que os indivíduos encaram é qual a quantidade da renda que devem consumir e poupar, mais uma vez a decisão de cada indivíduo será feita baseada em uma série de fatores, este é um exemplo importante para compreender a determinação da taxa de juros. O indivíduo precisa escolher qual proporção de sua renda ele poupa sob o risco de não saber qual será sua renda no futuro. Provavelmente, ante a certeza de uma boa renda no futuro o indivíduo optará por poupar menos e consumir a renda atual, pois sabe que estará resguardado no período seguinte.

Tendo como ponto de partida o risco, como uma distribuição de probabilidades, exploramos agora o conceito já mencionado nos parágrafos anteriores que é o de aversão ao risco. Vamos supor uma situação em que um investidor pode escolher entre dois ativos e obter um retorno no período seguinte de \$10 com certeza ou receber \$100 com uma probabilidade de 10 % e zero com uma probabilidade de 90%.

Em ambos os casos o valor esperado pelo indivíduo no período seguinte é o mesmo.

$$\text{Retorno Esperado} = E(R) = \sum p_i r_i = 10 \cdot 1 = 10 = 100 \cdot 0.1 + 0 \cdot 0.9$$

Um indivíduo que prefere assumir o risco de não ganhar nada dada a possibilidade de ganhar 10 vezes mais dizemos que é amante ao risco, se ele prefere não arriscar a certeza de ganhar \$ 10 dizemos que é avesso ao risco, se ele for indiferente, dizemos que é neutro ao risco.

Portanto, analisando o comportamento de ativos em relação ao retorno esperado e risco podemos estabelecer uma base de comparação entre ativos, ou portfólios. Em teoria das finanças dividimos o risco total em duas partes. A primeira é o risco idiossincrático que é específico daquele ativo e não é compartilhado pelos demais ativos, por exemplo, uma empresa que está envolvida em um escândalo de corrupção, as atividades ilícitas de seus gestores, por exemplo, afetam o desempenho apenas desta empresa e não de toda a indústria. Ou ainda, o risco de depleção do lençol freático de determinado grupo de poços tubulares que estão próximos em demasia e em grupo retiram grande quantidade de água deste lençol. O segundo tipo é o risco sistêmico, que envolve todos os ativos negociados, por exemplo o impacto de uma epidemia, que ainda que de maneira distinta atinge todos os ativos independentemente de qualquer característica que possam ter, ou, por exemplo, o risco de uma poluição em certo aquífero afetar todos os poços tubulares daquela região.

Markowitz, em março de 1952 em artigo publicado no The Journal of Finance intitulado Portfolio Selection, argumenta que o portfólio deve otimizar o retorno esperado em relação à volatilidade. Ele considerou que a volatilidade poderia ser mensurada como a variância da série histórica de retorno. Portanto, podemos utilizar o histórico de retornos de um ativo e uma medida da distância desses retornos em relação à média dos retornos. A variância ou o desvio padrão fazem justamente isso, embora não sejam esses os únicos métodos para mensurar o risco.

Um portfólio é um conjunto de ativos, Markovitz explica no começo de seu artigo que a escolha de um portfólio se dá em dois estágios. O primeiro começa com a observação e a experiência e termina com uma crença sobre a performance futura dos ativos disponíveis. O segundo estágio começa com o que é relevante nessa crença formada sobre a performance futura e termina com

a escolha do portfólio. Esta teoria sobre escolhas de portfólios a ser apresentada trata sobre o segundo estágio.

O primeiro pressuposto que faremos é que o investidor maximiza o desconto do retorno esperado, isto é, traz à valor presente os retornos futuros esperados, repare que falamos de valor futuro esperado pois estamos em um ambiente de incerteza. A incerteza sobre o futuro é o que garante que a diversificação, ou seja, uma combinação entre os diversos ativos será preferível a qualquer portfólio não diversificado. Um segundo pressuposto é que o investidor entende que o retorno esperado é algo desejável e que a variância é algo indesejável.

O retorno esperado R_e de um portfólio é definido como:

$$R_e = \sum X_i r_i$$

onde r_i é o retorno esperado do ativo i , $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_i)$ onde x_i é o peso do ativo i no portfólio, e soma $\sum X_i = 1$. A taxa de retorno esperada reflete ambas as remunerações em dinheiro – dividendos ou juros – e os ganhos ou perdas de capital verificados para o ativo i .

No caso da variância esperada, temos o seguinte:

$$ar(R_e) = X_i X_j \Sigma cov(r_i, r_j)$$

O retorno esperado é a soma ponderada dos retornos de cada ativo, onde o investidor pode escolher qual é o peso que será atribuído a cada ativo. A variância já é mais complicada, notamos que ela não é uma relação direta da ponderação da variância dos ativos, existe um componente na expressão que denota uma relação entre os dois ativos, no caso do retorno esperado, vemos que os retorno do ativo i não interfere com o retorno do ativo j . Lembrando que a variância é uma medida para o risco, e o agente pode trocar a uma certa taxa risco por retorno a depender de suas preferências, a composição e a relação entre os ativos é, portanto, fundamental na decisão do investidor.

Notamos então que a correlação entre dois ativos pode interferir com o risco, mas não com o retorno de um portfólio. Poderíamos imaginar um rearranjo em uma dada carteira de ativos que mantém o retorno dos ativos, mas possa diminuir o risco. Como vimos, esse é um dos

pressupostos de Markowitz, o risco é indesejável e assim nos aproximamos do conceito de carteira eficiente de ativos, veremos como podemos verificar essa interação entre dois ativos captada no modelo pela covariância dos retornos dos ativos.

Pelo princípio da dominância podemos comparar através dos pressupostos do modelo de Markowitz dois ativos que tenham o mesmo retorno esperado ou mesmo risco, por exemplo, ao comparar o ativo A com retorno esperado de 10% e volatilidade de 5% com o ativo B com retorno esperado de 10% e volatilidade de 20% o investidor vai preferir aquele ativo que possua o mesmo retorno esperado, mas com um risco menor. Da mesma forma, se o ativo A tem retorno esperado de 10% e volatilidade de 20% e o ativo B tem retorno esperado de 20% com volatilidade de 20%, pelo mesmo risco o investidor vai preferir aquele ativo com maior retorno esperado. Os investidores gostam de retornos esperados elevados e de baixa volatilidade. As carteiras de ações que oferecem o mais elevado retorno esperado para uma certa volatilidade são conhecidas como carteiras eficientes. (BREALEY u. a., 2018).

Como vimos, em um ambiente de incerteza a diversificação é capaz de manter o retorno esperado reduzindo o risco o que torna uma carteira diversificada preferida em relação à um investimento total em qualquer um dos ativos que a compõe. A maneira como o risco de uma carteira pode ser diminuído pode ser explicado se analisamos a correlação destes ativos.

A correlação é uma associação ou dependência entre duas variáveis, se a nossa medida para o risco for, por exemplo, a variância podemos analisar se as flutuações dos dois ativos são parecidas ou não. O coeficiente de correlação é +1 no caso de uma relação linear direta perfeita, -1 no caso de uma relação linear decrescente perfeita e qualquer valor no intervalo aberto (-1, 1) nos outros casos indicando o grau de dependência linear entre as variáveis.

$$\sigma_{x,y} \equiv \text{corr}(x,y) = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Quanto mais de próxima 1 a for correlação maior será o risco da carteira. Isto é um indicativo que os ativos se comportam da mesma maneira, a correlação não implica causalidade entre as

variáveis, mas é uma importante ferramenta para de alguma forma identificarmos uma relação entre elas.

Imagine uma carteira com apenas 2 ativos e que possuam correlação igual a 1. Neste caso não há efeito diversificação, por outro lado uma correlação de -1 a depender dos pesos de cada ativo na carteira pode até anular o risco. No caso, este risco que pode ser completamente eliminado é o risco idiossincrático. Já em relação ao risco sistêmico ou de mercado não há nada que a diversificação possa oferecer.

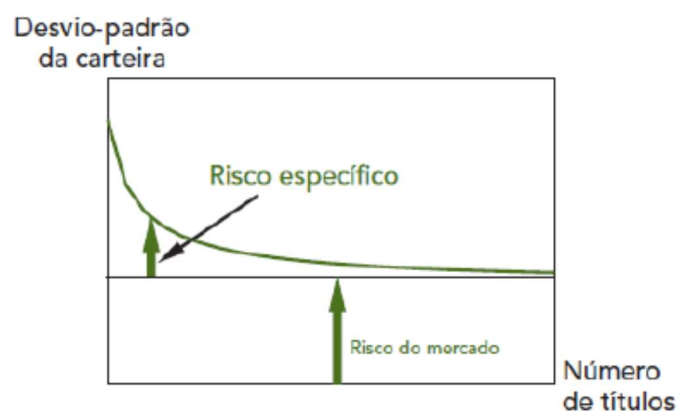


Figura 10-1: Risco Idiossincrático e Risco Sistêmico - (Berk und DeMarzo, 2007)

Tomando a equação da variância de um portfólio já apresentada teremos:

$$Var(R_e) = X_i X_j \Sigma cov(r_i, r_j)$$

Seja X o vetor de ponderação da participação de cada ativo na carteira:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

E X sua transposta:

$$X' = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

Considere a matriz Ω de covariâncias:

$$\Omega = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \dots & \sigma_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$$

Agora podemos encontrar a variância do retorno esperado em uma carteira com n ativos:

$$\text{Var}(R_e) = X' \Omega X$$

Para encontrar o retorno esperado para uma carteira de n ativos, temos:

$$R_e = X R$$

Sendo R é o vetor dos retornos de cada ativo que compõe a carteira:

$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

Uma carteira eficiente, portanto, é definida como uma certa combinação de ativos que minimiza o risco para um determinado retorno esperado. Se é a carteira que tem o menor risco, para um retorno esperado, pelo princípio da dominância ela será preferível a qualquer outra carteira que possua este mesmo retorno esperado. Desta forma, nosso problema agora consiste em minimizar o risco:

$$\min X' \Omega X$$

sujeito à

$$XR = R_e$$

$$w1 = 1$$

Podemos empregar as técnicas de programação linear; para resolver o problema da carteira, é possível empregar uma variante da programação linear, conhecida como programação quadrática. Considerando tanto o retorno esperado como o desvio-padrão para cada um dos ativos, bem como a correlação entre cada par de ativos, podemos então utilizar um software de programação quadrática para calcular uma série de carteiras eficientes (BREALEY u. a., 2018). Se para cada retorno esperado encontrarmos qual a proporção de ativos X que minimiza o risco obtemos o seguinte exemplo de curva de fronteira eficiente na figura 9 retirado de BREALEY u. a. (2018):

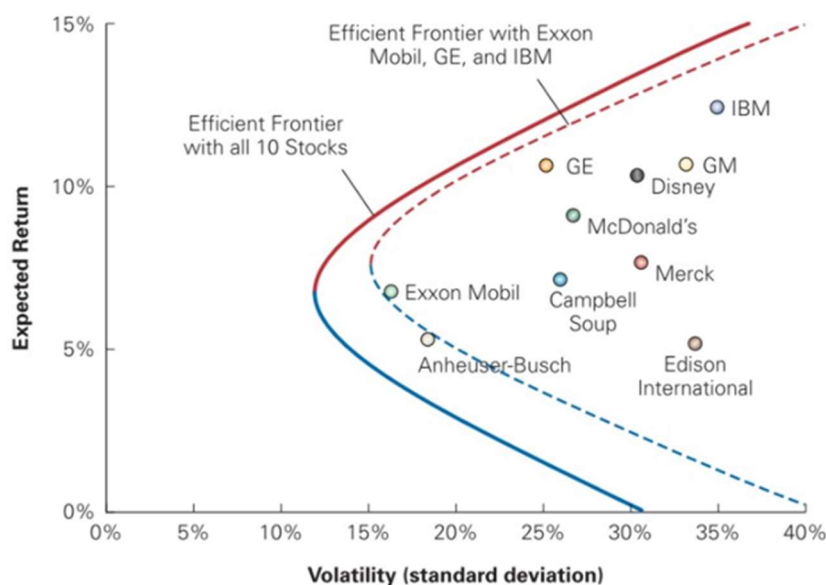


Figura 10-2: Fronteira Eficiente- (BREALEY u. a., 2018)

Observe que a parte da curva que estamos interessados está em vermelho, afinal a combinação de carteira quanto mais para cima e à esquerda é justamente àquela com maior retorno diante de menores riscos. A parte azul da curva é comumente descartada, pois para qualquer ponto dela existe outro na curva vermelha mais desejável.

Também vimos como os efeitos da correlação entre os ativos determinam a eficiência da carteira, vamos ver como isso é captado graficamente na **Figura 10-3**.

O exemplo da **Figura 10-3** retirado de Berk und DeMarzo (2007) mostra o formato da fronteira eficiente nos casos em que as correlações variam de -1 até 1. Veja que no exemplo o risco pode até ser zerado caso a correlação entre as duas variáveis seja igual a 1. Quando a correlação entre as duas variáveis é 1, considerando o extremo oposto, a fronteira eficiente torna-se uma reta.

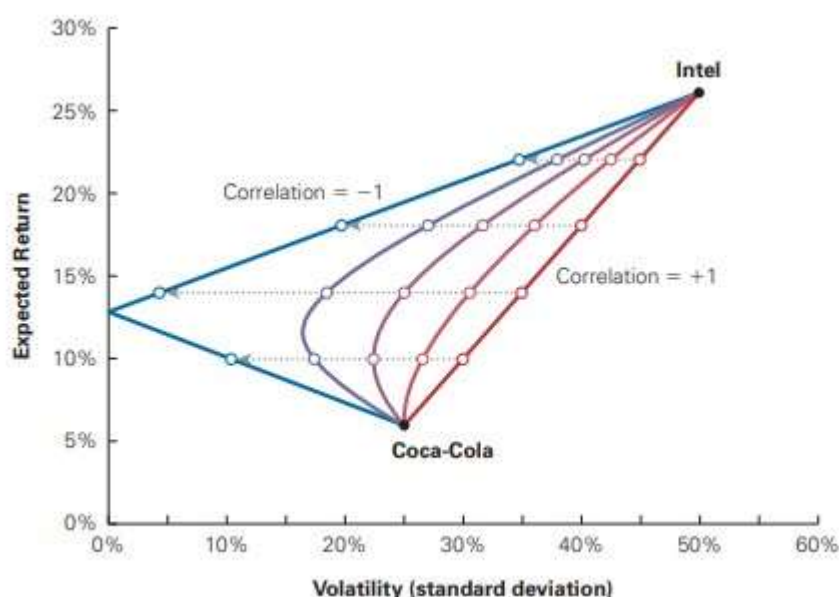


Figura 10-3: Correlação- (Berk und DeMarzo, 2007)

Com o instrumental fornecido pelo modelo de Markowitz vamos discutir como procederemos a adaptação do modelo para a questão da exploração da água do Aquífero Guarani.

10.1. Adaptação do Modelo de Markowitz

Considere 1 m^3 de água extraída de um determinado poço tubular como sendo um “ativo”. O DAERP paga um preço para adquiri-lo e alocar em seu “portfólio”, sendo que esse preço é dado pelo

custo de captação e distribuição daquele 1 m^3 de água. Cada poço tubular possui diversas características que o diferencia dos demais, quais sejam a distância para com os demais poços tubulares, a distância para a população a ser atendida e o nível piezométrico do lençol freático desta localização.

Desta forma, vamos tomar por ativo i um m^3 de água extraída do poço i . Quanto mais ativos a companhia adquire de determinado poço, mais ela está “investindo” naquele poço.

O retorno obtido pela companhia por 1 m^3 de água, portanto, depende das características dos poços. Afinal, quanto mais próximo o poço tubular está do consumidor final menor será o custo de transporte do 1 m^3 de água, para exemplificar, vamos considerar dois poços absolutamente idênticos em tudo com exceção da distância e vamos considerar que na cidade só há uma pessoa, é fácil perceber que o lucro será maior se a água for retirada daquele poço cuja distância para com esta pessoa for a menor.

O retorno é calculado subtraindo da receita os custos, vamos considerar a receita gerada pelo poço i a vazão do poço i multiplicada pela tarifa cobrada de um m^3 de água, vamos considerar a tarifa média praticada em Ribeirão Preto. Note que nem toda água proveniente da operação de exploração alcança o consumidor final, o índice de perda de água ronda os 55% de acordo com dados do SNIS. Desta forma, vamos caracterizar o índice de perdas na distribuição de água por μ e sendo v_i a vazão do poço i .

$$r_i = v_i \cdot \text{Tarifa} \cdot (1 - \mu)$$

Como vimos, o custo de obtenção de 1 m^3 de água depende de fatores tais como quantidade de água retirada daquele poço e a distância para a população. Ao contrário do exemplo dado anteriormente a população de uma cidade não consiste em apenas uma pessoa, mas sim em centenas de milhares dispostas de forma heterogênea pelo território. Desta forma, uma melhor maneira de captar a diferença de custos de transporte da água para o consumidor entre poços é considerar a densidade populacional das diversas regiões da cidade. De fato, sabemos que os ganhos de escala ao se oferecer um serviço de alto custo fixo de implementação, qual seja a construção de tubulações, é tanto mais interessante quanto maior é a densidade populacional da

área a ser atendida, uma maior densidade proporciona um maior número de usuários dada uma mesma área.

Desta forma, o custo médio de distribuição da água em uma região mais densamente povoada é menor.

O custo de obtenção de um m^3 de água pelo poço tubular i será calculado através da seguinte expressão:

$$c_i = c_e \cdot \text{profundidade} + c_d/D_i$$

Onde c_i é o custo de exploração de um m^3 de água do poço i , c_e é o custo de energia elétrica para cada metro de profundidade em que a água é retirada, c_d é o custo de transporte deste m^3 coletado que é relacionado com uma função da densidade populacional da região onde o poço se encontra D_i .

Um importante índice que é bastante utilizado para comunicar a eficiência de um sistema de abastecimento de água é o índice de perdas de distribuição, considerando a demanda de água a Xm^3 a companhia deve captar e transportar $1,66Xm^3$ de água considerando um índice de perda de 40%. Os custos gerados por essa operação recairão por sobre $1,66X$, o volume explorado, porém a receita tarifária será multiplicada por X , o volume faturado.

Conhecendo melhor o custo e os principais fatores que o afetam, podemos agora calcular o retorno π_i do poço i :

$$\pi_i = r_i - c_i$$

Sabemos, porém, que ao retirar uma quantidade excessiva de água de um certo poço tubular i , ocorre o rebaixamento no nível do lençol freático em formato de cone. O que incorre em uma maior profundidade de coleta da água para esse poço e a depender dessa profundidade e condições de qualidade da água pode ocorrer o colapso do poço, qual seja a inatividade deste poço tubular devido a impossibilidade de coleta de água até que o lençol freático se recupere de forma natural. A isto, chamaremos de colapso do poço tubular.

Se um poço tubular colapsa atribuiremos um valor ao seu retorno igual a δ , vamos supor que δ seja igual a zero, o que queremos dizer é que se um poço tubular colapsa, seu retorno π_i será igual a zero, cada poço tubular tem uma probabilidade β de colapsar, que chamaremos risco.

Note que existe uma relação de distância entre os poços tubulares de forma que o dano causado por um poço tubular no lençol freático afeta também a probabilidade de colapso de um poço em uma vizinhança próxima, portanto, podemos afirmar que o risco do poço tubular i colapsar está positivamente relacionado à quantidade da vazão do próprio poço, à quantidade de vazão dos poços na vizinhança e ao inverso da distância para com esses poços.

Isto é, quanto maior a vazão do próprio poço i e quanto maior a vazão dos poços vizinhos à i maior será o risco do colapso de i , por outro lado, quanto maior for a distância dos demais poços de i menor será a probabilidade de um colapso de i .

O critério de vizinhança a ser adotado pode variar de acordo com a simulação e será devidamente explicado, em geral este critério dependerá de um raio r que pode ter como centro um determinado ponto fixo, tal qual a estimativa para a localização do centro do cone de abatimento piezométrico ou ter como centro um determinado poço i , neste caso, todo poço tubular que esteja dentro de um determinado raio a partir do poço i será considerado vizinho de i e impacta diretamente no risco do poço i colapsar.

Calcularemos então o risco de i colapsar conforme a seguinte expressão, sendo que $d_{i,vizinho}$ é a distância entre o poço i e o poço vizinho.:

$$\text{Risco}_i = \beta \cdot v_i$$

O parâmetro β da expressão acima mede o grau de sensibilidade do risco para com certas características do poço tubular i , o parâmetro β mede a sensibilidade do risco com relação vazão verificada do poço. Se o poço i retira uma maior quantidade de água do aquífero é razoável supor que o risco deste poço em colapsar é superior à um outro poço, mantidas estáticas as demais características, que retira um menor volume de água.

Desta forma, criamos uma maneira de modelar o risco que o poço i tem de colapsar. Podemos, então, calcular o retorno esperado do preço i usando a seguinte expressão:

$$(\text{RetornoEsperado})_i = (1 - \text{Risco}_i)r_i + \text{Risco}_i \delta$$

Com r_i sendo o retorno do poço do i e δ o custo de um eventual colapso deste poço no retorno.

Agora que temos o retorno esperado para cada poço, podemos calcular a matriz de covariância Ω da seguinte forma:

$$\text{Cov}(a, b) = (r_a - (\text{RetornoEsperado})_a)(r_b - (\text{RetornoEsperado})_b)$$

Uma vez que estabelecemos uma forma de identificar as relações existentes entre os poços, podemos nos concentrar no que seria a escolha da companhia, ou seja, qual é a carteira eficiente. Um ativo i possui um retorno e um risco associados a ele. Ao optar por vários ativos de diversos poços a companhia está construindo seu portfólio de ativos. Vamos tratar agora sobre como podemos obter o retorno esperado e o risco de uma carteira de ativos.

Como vimos, tomamos por ativo i o m^3 de água explorado do poço i , portanto, o peso que a companhia dá ao poço i na sua carteira é justamente a quantidade de ativos que ela possui de i dividida pela quantidade total de ativos que a companhia possui, ou seja, a vazão do poço i dividida pela soma da vazão de todos os poços V é o peso x_i que o ativo i possui no portfólio.

Estamos implicando um modelo estático no qual a quantidade de água coletada no total V é constante. Um importante fundamento do modelo de Markowitz é que o investidor ao escolher seus ativos não tem poder de mercado de alterar o risco e o retorno esperado por esses ativos. No nosso caso o risco e o retorno esperado serão determinados por condições geológicas e de localização. Podemos argumentar que no curto prazo a decisão da companhia em modificar os pesos dos ativos de sua carteira não está, de fato, alterando o risco de colapso específico de determinado poço, (alterando sim o risco da carteira), pois este risco especificamente localizado foi construído durante determinado tempo, segundo PERRONI u. a. (2018) o rebaixamento de 110 metros da cota do cone foi gerado em cerca de 50 anos e até que a natureza possa se recuperar é razoável supor que não se tratar de curto prazo.

A Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - ARES-PCJ, cuja responsabilidade é de definição, fixação, reajuste e revisão dos valores das taxas, tarifas e outras formas de contraprestação dos serviços públicos de saneamento básico nos municípios consorciados e conveniados, que assegurem o equilíbrio econômico e financeiro do prestador e a modicidade tarifária. Em PARECER CONSOLIDADO Nº 28/2019-CRBG apresentou alguns dados que podemos utilizar como diretriz para os parâmetros que necessitamos na composição dos modelos que apresentaremos.

Segue tabela do parecer da ARES-PCJ relativo à custos e receitas no período entre outubro de 2018 e setembro de 2019.

*Também extraímos do mesmo relatório dados relativos ao volume faturado de 55.168.729 m³ no período de um ano. O volume faturado é diferente da vazão explorada pois calcula-se que o índice de perda de água é por volta de 55%, considerado bastante elevado, de acordo com o SNIS, portanto, $V_{\text{volume faturado}} = V_{\text{vazão total}} * (1 - u)$, sendo que $V_{\text{vazão total}}$ é igual a soma da vazão explorada de todos os poços tubulares e u é o índice de perda.*

A ARES-PCJ calcula o CMA, custo médio para o ano de 2018, considerando custos de Exploração, custos com Depreciação, remuneração do prestador dos serviços igual a 4,8008R\$/m³ considerando o total do volume faturado de água. A Tarifa média praticada é calculada dividindo-se a receita tarifária (faturamento) pelo volume faturado e é igual ao valor de 6,4094R\$/m³.

Perceba que vamos utilizar esses valores como comparação entre os valores encontrados nas simulações e aquele calculado para o ano de 2018, utilizaremos como já foi exposto dois componentes como forma de aferir o custo de produção 1 m³, chamamos de custo 1 e custo 2 e estão associados à exploração e a distribuição respectivamente, de forma que também estão associados à vazão dos poços tubulares e não ao volume faturado, porém para efeitos de comparação considerando o índice de perdas na distribuição igual a u , nas simulações que seguem será calculado o volume faturado. E então, poderemos dividir o custo total em função dos custos 1 e 2 pelo volume faturado e chegaremos no custo médio em cada simulação pelo mesmo método da ARES-PCJ.

DESCRIÇÃO	VALOR REALIZADO	VALOR PROJETADO	VALOR TOTAL (R\$)
	out/18 jun/2019	jul/19 set/2019	
1. Despesas de Exploração	223.319.205,24	78.286.451,37	301.605.656,61
1.1 Pessoal	62.687.883,46	21.522.839,99	84.210.723,45
1.2 Materiais	8.536.806,14	2.845.602,05	11.382.408,19
1.3 Serviços de Terceiros	88.897.363,28	29.632.454,43	118.529.817,71
1.3.1 Concessão Esgoto	61.340.590,50	20.446.863,50	81.787.454,00
1.3.2 Outros Serviços de Terceiros	27.556.772,78	9.185.590,93	36.742.363,71
1.4 Energia Elétrica	48.099.152,82	19.252.888,40	67.352.041,22
1.5 Outras	15.097.999,54	5.032.666,51	20.130.666,05
2. DAP	1.182.460,25	518.369,03	1.700.829,28
2.1 Depreciação e Amortização	0,00	,00	0,00
2.2 Amortização de Dívidas	1.182.460,25	518.369,03	1.700.829,28
2.3 Provisões	0,00	0,00	0,00
3. Investimentos Realizados	6.144.859,25	0,00	6.144.859,25
TOTAL DAS DESP. E INVESTIMENTOS	230.646.524,74	78.804.820,39	309.451.345,13
4. Receita Tarifária (Faturamento)	265.200.000,66	88.400.000,22	353.600.000,88

Figura 10-4: PARECER CONSOLIDADO No28/2019-CRBG - ARES-PCJ

É importante notar que com a vazão dos poços tubulares que temos em mão a quantidade de água explotada é 19800 m³/h, ou 173.449.479 m³/ano, mantendo o índice de perdas igual a 55% o volume faturado seria de 78.052.266 um valor substancialmente maior que os 55.168.729, cerca de 41% superior àquele de 2018. Considerando uma margem de contribuição de 0,8 por m³ de água isso elevaria o lucro da companhia em cerca de R\$ 62 milhões. Essa ressalva foi necessária, pois as simulações a seguir utilizam os dados relativos a cada poço e essa diferença exposta pode causar estranheza no otimismo que as simulações aparentaram ter no que diz respeito ao lucro.

Consultando o SNIS percebemos que há uma menor variação nos dados referentes ao volume faturado que no volume explotado, o que sugere uma maior confiabilidade nos valores do volume faturado. Portanto, parece exagerado que o volume faturado seria de 78.052.266 m³ para 2020, outra grande divergência a ser levada em consideração é o índice de perdas que varia entre 15,89% em 2014 e 61,48% em 2016, um intervalo bastante grande o que sugere inconsistência dos dados.

Dito isso, uma comparação cuidadosa com os dados da ARES deve ser realizada, sendo mais adequada uma comparação entre as simulações.

10.2. Modelo com dois ativos

Neste exercício de simulação vamos estabelecer alguns critérios para os quais vamos estimar determinados valores não observados de forma a construir o cenário de onde partiremos para a simulação.

Para construção da fronteira eficiente precisamos construir os objetos Ω , R_e e X , sejam eles a matriz de covariância, o retorno esperado e o vetor de pesos, respectivamente.

Vamos considerar apenas dois ativos. O ativo 1 é o ativo que está dentro do raio r cujo centro é a estimativa da localização do centro de abatimento do cone piezométrico (UTM-EW = 207041, UTM-NS=7657163). Todos os poços que estão dentro do raio r serão considerados apenas um poço teórico cuja vazão é a soma da vazão de todos os poços dentro do raio r , a densidade populacional considerada para o cálculo do custo deste poço será a média da densidade dos poços pertencentes a esta vizinhança (que estão dentro do raio r). De forma similar, o ativo 2 será composto pelos poços que estão fora do raio restabelecendo um poço teórico cuja vazão é a soma da vazão de todos os poços fora do raio r e cujo setor de densidade populacional será a média da densidade populacional de cada poço.

Neste modelo o retorno esperado da carteira será dado pela seguinte expressão:

$$E(R) = (1 - \text{Risco}_i - \text{Risco}_j) \cdot R_{i+j} + \text{Risco}_i \cdot R_j + R_i \cdot \text{Risco}_j$$

Note que a expressão acima é uma elaboração da equação apresentada na seção 4 para quando o colapso δ é igual a zero.

Teremos como premissas do modelo que $\text{Risco}_2 < \text{Risco}_1 < (10)^{(-11)}$ e que o $\text{Risco}_i = \text{Vazão}_i \cdot \beta$. A intuição para as premissas que supomos é que o risco de um colapso na área externa do círculo de raio r é menor que o risco de colapso na área interna do círculo de raio r cujo centro é a estimativa da localização do centro do cone de abatimento. Vamos considerar que o $\text{Risco}_2 <$

$Risco_1$ é menor que um em 100 bilhões, ou seja, a chance de inatividade de todos os poços do Município o que inviabilizaria o abastecimento de água do Município. Seria um extremo de uma situação onde os poços se tornariam inativos. Ainda, o $risco_i$ será diretamente relacionado com a $Vazão_i$ multiplicada pelo parâmetro β .

Na simulação deste modelo vamos fazer uso dos seguintes dados: densidade populacional do setor, vazão e distância para o centro do cone de abatimento. E consideraremos os seguintes parâmetros para variação do cenário: o raio r e o valor de beta. Também serão utilizados dados para 119 poços tubulares onde os dados faltantes para vazão e densidade populacional serão estimados através da média.

O código em linguagem R para elaboração das tabelas é o seguinte:

```
library(Matrix)
library(sfsmisc)
library(NMCF)
library(ggplot2)
library(readxl)

n = 119 #numero de pocos
a2 = function (){
  vazao2=0
  vazao1=0
  densidade1 = 0
  densidade2 = 0
  n2=0
  n1=0
  i=1
  while(i<=n){
    if (distCentro[i] <= raio1) {
      vazao1 = vazao1 + vazao[i]
      densidade1 = densidade1 + densidade[i]
      n1=n1+1}
    if (distCentro[i]> raio1) {vazao2 = vazao2 + vazao[i]
      densidade2 = densidade2 + densidade[i]
      n2=n2+1}
    i=i+1
  }
}
```

```

densidade1 = densidade1/n1
densidade2 = densidade2/n2
w = c(vazao1/(vazao1+vazao2), vazao2/(vazao1+vazao2))
CustoTotal1 = custo_1*1 + custo_2*1*10000/densidade1
CustoTotal2 = custo_1*1 + custo_2*1*10000/densidade2
retorno1 = 1*tarifa*(1-u) - CustoTotal1
retorno2 = 1*tarifa*(1-u) - CustoTotal2
retornoTotal = w[1]*retorno1+w[2]*retorno2
#R1 = risco de colapsar o centro
#R2 = risco de colapsar a periferia
#1-R1-R2 = probabilidade de se manter
#Retorno Esperado = (1-R1-R2)*retornoTotal + #R1*retornoPeriferia+R2*retornodocentro
#R2<R1<10^-11
#Premissa dentro do raio e uma vazao apenas
#R1 = vazao*Beta_1
R1 = vazao1*beta_1
R2 = vazao2*beta_1
R_E1 = (1-R1)*retorno1
R_E2 = (1-R2)*retorno2
Var1 = (retorno1 - R_E1)^2
var2 = (retorno2 - R_E2)^2
cov12 = (retorno1 - R_E1)*(retorno2 - R_E2)
Eretorno = c(R_E1,R_E2)
Omegal = matrix(c(Var1,cov12,cov12,var2),2,2)
Omegal = matrix(nearPD(Omegal)$mat)
Omegal = matrix(Omegal, nrow=2)
tempo = 24*365
R_E = t(w)%*%Eretorno

Risco_Carteira = sqrt(t(w)%*%Omegal%*%w)
CustoAgregado1 = CustoTotal1*vazao1*tempo
CustoAgregado2 = CustoTotal2*vazao2*tempo
CustoAgregadoTotal = CustoAgregado1+CustoAgregado2
ReceitaAgregada1 = tarifa*vazao1*tempo*(1-u)
ReceitaAgregada2 = tarifa*vazao2*tempo*(1-u)
ReceitaAgregadaTotal = ReceitaAgregada1 + ReceitaAgregada2
LucroAgregado = ReceitaAgregadaTotal - CustoAgregadoTotal
CMA = CustoAgregadoTotal/((vazao1 + vazao2)*tempo*(1-u))
TMP = ReceitaAgregadaTotal/((vazao1 + vazao2)*tempo*(1-u))
results = c(rai01, n1, n2, u, beta_1, R_E, Risco_Carteira, R1, R2, custo_1, custo_2, t
results <-< results
Eretorno <-< Eretorno
Omegal <-< Omegal
Risco_Carteira <-< Risco_Carteira
R_E <-< R_E
return(results)
}

```

Nos cenários seguintes vamos considerar a tarifa média igual ao valor de R\$ 6,40 por m³ de água. O índice de perdas $\mu = 55\%$. Os parâmetros que compõem o custo total, custo 1 e custo 2, serão

variados, de forma a captar os efeitos de economia de densidade urbana. Porém, para estabelecer uma comparação do modelo proposto com os parâmetros normalmente usados, vamos calcular o custo médio através da seguinte fórmula:

$$\text{CustoMédio} = \frac{\text{CustoAgregadoTotal}}{\text{VolumeFaturado}}$$

sendo que $\text{VolumeFaturado} = \text{VazaoTotal}(1 - u)$, onde u é o índice de perdas.

Tabela 10-1: Modelo com 2 ativos

	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Raio 1	5,500	6,000	6,500
Nº de poços Ativo 1	67	76	83
Nº de poços Ativo 2	52	43	36
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-16	1.00E-16	1.00E-16
Retorno Esperado	0.720	0.703	0.713
Volatilidade	7.17E-13	7.68E-13	8.29E-13
Risco 1	1.02E-12	1.19E-12	1.30E-12
Risco 2	9.63E-13	7.89E-13	6.80E-13
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.800	4.837	4.815
Custo Agregado Total	374,627,738.000	377,540,239.000	375,806,692.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	124,906,760.000	121,994,259.000	123,727,807.000

Podemos notar que a volatilidade que é uma medida de risco para a carteira de ativos aumenta conforme aumentamos o raio r , afinal o risco do ativo 1 foi declarado como sendo maior que o risco do ativo 2 e, portanto, quanto mais poços e maior vazão esteja atrelada ao ativo 1 maior será esse componente na carteira, nota-se a possibilidade de riscos menores para um lucro maior, porém, o raio r é definido pela natureza e podemos apenas supor qual será sua extensão. Na tabela abaixo vamos diminuir o componente custo 1 de 0,5 para 0,4. Simulando, por exemplo, um menor custo de captação de água do aquífero como uma diminuição na tarifa de energia elétrica ou uma melhora das condições do poço tubular possibilitando maior eficiência na exploração de água (menor substituição de peças danificadas devido à má qualidade da água) e/ou custos de energia elétrica.

Note que os valores tomados para os custos 1 e 2 não possuem uma relação direta com a importância de cada um deles na composição do custo final pois eles se relacionam com variáveis de outras grandezas de forma que pretende-se apenas mostrar possíveis consequências de alterações no retorno da operação de exploração de água. Vamos agora na tabela abaixo diminuir de 1,25 para 1,15 o custo 2.

Tabela 10-2: Modelo com 2 ativos

	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6
Raio 1	5,500	6,000	6,500
Nº de poços Ativo 1	67	76	83
Nº de poços Ativo 2	52	43	36
Índice de perda	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-16	1.00E-16	1.00E-16
Retorno Esperado	0.820	0.803	0.813
Volatilidade	8.16E-13	8.72E-13	9.38E-13
Risco 1	1.02E-12	1.19E-12	1.30E-12
Risco 2	9.63E-13	7.89E-13	6.80E-13
Custo 1	0.400	0.400	0.400
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.577	4.615	4.593
Custo Agregado Total	357,282,790.000	360,195,291.000	358,461,744.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	142,251,708.000	139,339,207.000	141,072,755.000

Tabela 10-3: Modelo com 2 ativos

	Simulação 7	Simulação 8	Simulação 9
Raio 1	5,500	6,000	6,500
Nº de poços Ativo 1	67	76	83
Nº de poços Ativo 2	52	43	36
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-16	1.00E-16	1.00E-16
Retorno Esperado	0.853	0.837	0.847
Volatilidade	8.49E-13	9.03E-13	9.70E-13
Risco 1	1.02E-12	1.19E-12	1.30E-12
Risco 2	9.63E-13	7.89E-13	6.80E-13
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.150	1.150	1.150
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.505	4.539	4.519
Custo Agregado Total	351,595,498.000	354,274,999.000	352,680,135.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	147,939,000.000	145,259,499.000	146,854,363.000

A economia causada pelo custo 2 é aquela associada à densidade do setor e também a distribuição de água, uma melhora na eficiência da distribuição poderia diminuir o custo 2 e levar

à economia como exposta na tabela. Na tabela a seguir vamos simular uma diminuição tanto do custo 1 quanto do custo 2.

Em uma comparação entre as simulações com os raios em 5500 (m), 6000 (m) e 6500 (m). Podemos notar como a volatilidade da carteira aumenta na medida que incluímos cada vez mais poços no raio, repare que a volatilidade aumenta sem que o retorno esperado sofra grandes alterações. Podemos entender esse experimento da seguinte forma: quanto maior o raio, menor é a diversificação da carteira, além do que, mais poços estão expostos ao Risco₁, que por premissa sempre será maior que o Risco₂ por representar justamente o risco de proximidade com o cone de abatimento piezométrico.

Ainda que não saibamos ao certo a partir de qual distância um poço possa se considerar "seguro", isto é, não contribui para o rebaixamento da cota do cone e também não sofre as consequências de um eventual colapso da região do cone, podemos afirmar que quanto maior a distância maior a segurança, ou seja, menor o risco. Não é de se estranhar, portanto, que quanto maior o número de poços pertencentes ao nosso ativo 2, menor é a volatilidade da carteira para um mesmo retorno esperado.

Perceba que o risco de exploração apenas se altera entre as simulações conforme variamos o raio r . Embora os custos 1 e 2 tenham a ver com eficiência operacional, e os mesmos alteram de forma importante o resultado da companhia os riscos 1 e 2 permanecem inalterados, mas não o risco da carteira (volatilidade), pois como vimos podemos ter ganhos de diversificação. A quantidade de água explotada continua sendo a mesma, vamos simular um cenário propondo uma redução em 40% da vazão explotada e mantendo o volume faturado inalterado, ou seja, estamos supondo uma melhora no índice de perdas de distribuição de 55% para 25%.

Nas simulações 13, 14 e 15 podemos notar o retorno adquirido por uma melhora no índice de perdas e o efeito na volatilidade mais significativa, ou seja, no risco da operação de exploração como um todo.

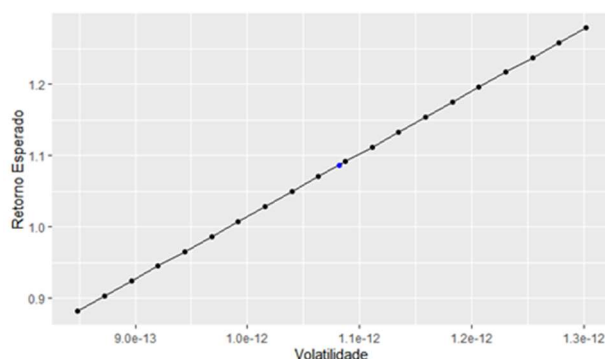
Vamos construir a carteira eficiente de forma a entender como a alocação dos ativos 1 e 2 influenciam a relação retorno e risco. Nas tabelas acima podemos observar que para os mesmos fatores de risco, $Risco_1$ e $Risco_2$ podemos esperar retornos maiores em determinadas condições.

O custo 1 está relacionado com o custo de exploração de 1 m^3 de água, que tende a aumentar quanto menor for a cota do cone de rebaixamento, portanto, podemos esperar retornos cada vez menores em cenários assim, que intensificados por ineficiência na distribuição também levam a um custo 2 maior.

A fronteira eficiente é algo muito próximo de uma reta como podemos visualizar no gráfico seguinte referente a simulação 1 (raio de 5500m).

Tabela 10-4: Modelo com 2 ativos

	Simulação 13	Simulação 14	Simulação 15
Raio 1	5,500	6,000	6,500
Nº de poços ativo 1	67	76	83
Nº de poços ativo 2	52	43	36
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-16	1.00E-16	1.00E-16
Retorno Esperado	1.550	1.542	1.547
Volatilidade	9.23E-13	9.67E-13	1.02E-12
Risco 1	6.10E-13	7.15E-13	7.80E-13
Risco 2	5.78E-13	4.73E-13	4.08E-13
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	1.773	1.784	1.778
Custo Agregado Total	138,405,743.000	139,279,493.000	138,759,429.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	361,128,755.000	360,255,005.000	360,775,069.000



Podemos notar que existe uma forte correlação entre o ativo 1 e o ativo 2. No ponto em azul no gráfico encostado na fronteira eficiente está representado a atual combinação de pesos da companhia para este cenário, neste caso $w_1 = 0,5137893$ e $w_2 = 0,4862107$. Conforme consideramos mais poços como pertencentes a zona de Risco₁, aquela mais ao centro e com maior risco, mais caminhamos para cima e para a direita na reta do gráfico, isto é, aumentando a exposição ao risco e também o retorno esperado.

10.3. Modelo com três ativos

Vamos acrescentar ao modelo com 2 ativos elaborado na seção anterior um terceiro ativo, de forma a representar uma maior possibilidade de diversificação. Os mesmos pressupostos serão herdados da seção anterior com a seguinte modificação: $Risco_3 < Risco_2 < Risco_1 < 10^{-11}$, sendo o $Risco_i$ o risco de colapso do ativo i , de forma que vamos considerar o colapso como sendo retorno igual a zero com a probabilidade $Risco_i$.

Vamos supor 2 círculos concêntricos onde no círculo 1 encontraremos todos poços, representados por um único poço (Ativo 1), cuja distância para a estimativa do centro do cone de abatimento piezométrico seja menor que o raio₁. O Ativo 2 será a representação de todos os poços que façam parte do círculo 2, ou seja, uma distância menor que raio₂ menos os poços que já são parte do Ativo 1. E o Ativo 3 representará os poços cuja distância é maior ao raio₂.

O código para elaboração das tabelas a seguir é o seguinte:

```

distCentro = as.numeric(unlist(distCentro))
vazao = as.numeric(unlist(vazao))
densidade = as.numeric(unlist(densidade))

a3 = function (){
  vazao2=0
  vazao1=0
  densidade1 = 0
  densidade2 = 0
  vazao3=0
  densidade3 = 0
  n2=0
  n1=0
  n3=0
  i=1
  while(i<=n){
    if (distCentro[i] <= raio1) {
      vazao1 = vazao1 + vazao[i]
      densidade1 = densidade1 + densidade[i]
      n1=n1+1}
    if (raio1<distCentro[i] & distCentro[i]<raio2) {vazao2 = vazao2 + vazao[i]
      densidade2 = densidade2 + densidade[i]
      n2=n2+1}
    if (distCentro[i]>raio2){vazao3 = vazao3 + vazao[i]
      densidade3 = densidade3 + densidade[i]
      n3=n3+1}
    i=i+1
  }
  densidade1 = densidade1/n1
  densidade2 = densidade2/n2
  densidade3 = densidade3/n3
}

```



```

w = c(vazao1/(vazao1+vazao2+vazao3), vazao2/(vazao1+vazao2+vazao3), vazao3/(vazao1+vazao2+vazao3))
CustoTotal1 = custo_1*1 + custo_2*1*10000/densidade1
CustoTotal2 = custo_1*1 + custo_2*1*10000/densidade2
CustoTotal3 = custo_1*1 + custo_2*1*10000/densidade3
retorno1 = 1*tarifa*(1-u) - CustoTotal1
retorno2 = 1*tarifa*(1-u) - CustoTotal2
retorno3 = 1*tarifa*(1-u) - CustoTotal3
retornoTotal = w[1]*retorno1+w[2]*retorno2+w[3]*retorno3
R1 = vazao1*beta_1
R2 = vazao2*beta_1
R3 = vazao3*beta_1
R_E1 = (1-R1)*retorno1
R_E2 = (1-R2)*retorno2
R_E3 = (1-R3)*retorno3
Var1 = (retorno1 - R_E1)^2
var2 = (retorno2 - R_E2)^2
var3 = (retorno3 - R_E3)^2
cov12 = (retorno1 - R_E1)*(retorno2 - R_E2)
cov13 = (retorno1 - R_E1)*(retorno3 - R_E3)
cov23 = (retorno2 - R_E2)*(retorno3 - R_E3)
Eretorno = c(R_E1,R_E2,R_E3)
Omegal = matrix(c(Var1, cov12, cov13, cov12, var2, cov23, cov13, cov23, var3), 3, 3)
Omegal = matrix(nearPD(Omegal)$mat)
Omegal = matrix(Omegal, nrow=3)
tempo = 24*365
R_E = t(w)%*%Eretorno
Risco_Carteira = sqrt(t(w)%*%Omegal%*%w)
CustoAgregado1 = CustoTotal1*vazao1*tempo
CustoAgregado2 = CustoTotal2*vazao2*tempo
CustoAgregado3 = CustoTotal3*vazao3*tempo
CustoAgregadoTotal = CustoAgregado1+CustoAgregado2+CustoAgregado3
ReceitaAgregada1 = tarifa*vazao1*tempo*(1-u)
ReceitaAgregada2 = tarifa*vazao2*tempo*(1-u)
ReceitaAgregada3 = tarifa*vazao3*tempo*(1-u)
ReceitaAgregadaTotal = ReceitaAgregada1 + ReceitaAgregada2 + ReceitaAgregada3
LucroAgregado = ReceitaAgregadaTotal - CustoAgregadoTotal

```

```

CMA = CustoAgregadoTotal/((vazao1 + vazao2 + vazao3)*tempo*(1-u))
TMP = ReceitaAgregadaTotal/((vazao1 + vazao2 + vazao3)*tempo*(1-u))
results = c(raio1 , raio2 , n1, n2, n3, u, beta_1, R_E, Risco_Carteira , R1, R2, R3, custo1, custo2)
results <- results
Eretorno <- Eretorno
Omegal <- Omegal
Risco_Carteira <- Risco_Carteira
R_E <- R_E
return(results)
}

```

Vamos variar os custos 1 e 2 como foi feito na seção anterior para possibilitar a comparação entre os diferentes cenários dada à eficiência ou não da companhia no abastecimento de água.

Tabela 10-5: Modelo com 3 ativos

	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Raio 1	4,200	4,600	5,000
Raio 2	6,700	7,200	7,500
Nº de poços ativo 1	48	56	60
Nº de poços ativo 2	37	34	32
Nº de poços ativo 3	34	29	27
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Retorno Esperado	0.697	0.690	0.698
Volatilidade	5.55E-12	5.96E-12	6.28E-12
Risco 1	7.00E-12	8.46E-12	9.14E-12
Risco 2	6.44E-12	5.87E-12	5.51E-12
Risco 3	6.36E-12	5.47E-12	5.14E-12
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.852	4.867	4.849
Custo Agregado Total	378,686,333.000	379,916,790.000	378,494,141.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	120,848,165.000	119,617,709.000	121,040,357.000

Pela **Tabela 10-6** vemos que a volatilidade da carteira aumenta conforme o raio dos círculos concêntricos aumentam, um resultado esperado e similar ao caso anterior, quanto maior a vazão do ativo maior o risco, quando esvaziamos o ativo 1 (caso da simulação 1) obtemos uma menor volatilidade e encontramos um risco para a exploração de água menor. Na tabela 10 vamos verificar os efeitos de uma redução no custo 1, qual seja, redução do custo da tarifa de energia elétrica ou mesmo

na reposição de peças necessárias à operação de exploração de água devido a melhora na qualidade da água.

Na **Tabela 10-7** vamos diminuir o parâmetro custo 2 de 1,25 para 1,15. A economia causada pelo custo 2 é aquela associada à densidade do setor e também a distribuição de água, uma melhora na eficiência da distribuição poderia diminuir o custo 2 e levar à uma economia como exposta na tabela.

Tabela 10-6: Modelo com 3 ativos

	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6
Raio 1	4,200	4,600	5,000
Raio 2	6,700	7,200	7,500
Nº de poços ativo 1	48	56	60
Nº de poços ativo 2	37	34	32
Nº de poços ativo 3	34	29	27
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Retorno Esperado	0.831	0.825	0.832
Volatilidade	5.55E-12	5.96E-12	6.28E-12
Risco 1	7.00E-12	8.46E-12	9.14E-12
Risco 2	6.44E-12	5.87E-12	5.51E-12
Risco 3	6.36E-12	5.47E-12	5.14E-12
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.150	1.150	1.150
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.552	4.567	4.550
Custo Agregado Total	355,329,405.000	356,461,426.000	355,152,589.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	144,205,093.000	143,073,073.000	144,381,909.000

Tabela 10-7: Modelo com 3 ativos

	Simulação 7	Simulação 8	Simulação 9
Raio 1	4,200	4,600	5,000
Raio 2	6,700	7,200	7,500
Nº de poços ativo 1	48	56	60
Nº de poços ativo 2	37	34	32
Nº de poços ativo 3	34	29	27
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Retorno Esperado	0.797	0.790	0.798
Volatilidade	5.33E-12	5.75E-12	6.07E-12
Risco 1	7.00E-12	8.46E-12	9.14E-12
Risco 2	6.44E-12	5.87E-12	5.51E-12
Risco 3	6.36E-12	5.47E-12	5.14E-12
Custo 1	0.400	0.400	0.400
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.629	4.645	4.627
Custo Agregado Total	361,341,385.000	362,571,842.000	361,149,193.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	138,193,113.000	136,962,656.000	138,385,305.000

E, finalmente, na Tabela 10-8 temos o caso em que ambos os custos sofrem uma diminuição frente ao custo base gerando um ganho de eficiência geral.

Tabela 10-8: Modelo com 3 ativos

	Simulação 10	Simulação 11	Simulação 12
Raio 1	4,200	4,600	5,000
Raio 2	6,700	7,200	7,500
Nº de poços ativo 1	48	56	60
Nº de poços ativo 2	37	34	32
Nº de poços ativo 3	34	29	27
Índice de perdas	0.550	0.550	0.550
Beta	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Retorno Esperado	0.931	0.925	0.932
Volatilidade	6.21E-12	6.65E-12	6.99E-12
Risco 1	7.00E-12	8.46E-12	9.14E-12
Risco 2	6.44E-12	5.87E-12	5.51E-12
Risco 3	6.36E-12	5.47E-12	5.14E-12
Custo 1	0.400	0.400	0.400
Custo 2	1.150	1.150	1.150
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	4.330	4.345	4.328
Custo Agregado Total	337,984,457.000	339,116,478.000	337,807,641.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	161,550,041.000	160,418,021.000	161,726,857.000

Podemos notar que em um raio de 4200 metros já temos mais poços e também uma maior vazão do ativo 1 do que os ativos 2 e 3, o que sugere um espaço para diversificação, já que este é

justamente o ativo com maior risco associado. A fronteira eficiente no caso com 3 ativos possui um formato mais interessante para análise. Vamos agora através da tabela 13, como fizemos na simulação com 2 ativos, observar o caso de melhora no índice de perdas de 55% para 25%. Considerando a demanda por água e, portanto, o volume faturado idêntico aos casos anteriores, porém diminuindo a vazão explotada para 60% da exploração atual.

*Podemos observar no gráfico da **Figura 10-5** a fronteira eficiente para simulação 1, o ponto em azul é a escolha da companhia. Lembrando, a companhia escolhe a vazão a ser explotada por cada poço, no caso do nosso modelo os 3 poços representados pelos ativos 1, 2 e 3.*

*Nos gráficos das **Figura 10-6** e **Figura 10-7** podemos notar a fronteira de eficiência com uma aparência mais usual, quanto mais para a esquerda e para baixo caminhamos na fronteira de eficiência maior será a participação do ativo 3 na composição da carteira, aquele cujo risco é menor e quanto mais a direita e para cima maior é a participação do ativo 1 aquele cujo risco é o maior.*

10.4. Estimativas de cenários futuros

Na simulação de cenários futuros serão introduzidas duas variáveis, o crescimento populacional previsto e o crescimento da demanda de água per capita ou consumo per capita.

Tabela 10-9: Modelo com 3 ativos

	Simulação 13	Simulação 14	Simulação 15
Raio 1	4,200	4,600	5,000
Raio 2	6,700	7,200	7,500
Nº de poços ativo 1	96	112	120
Nº de poços ativo 2	74	68	64
Nº de poços ativo 3	68	58	54
Índice de perdas	0.25	0.25	0.25
Beta	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Retorno Esperado	0.697	0.690	0.698
Volatilidade	2.80E-12	3.04E-12	3.22E-12
Risco 1	4.20E-12	5.08E-12	5.49E-12
Risco 2	3.86E-12	3.52E-12	3.31E-12
Risco 3	3.82E-12	3.28E-12	3.09E-12
Custo 1	0.500	0.500	0.500
Custo 2	1.250	1.250	1.250
Tarifa	6.400	6.400	6.400
Custo Médio	2.911	2.920	2.910
Custo Agregado Total	227,211,800.000	227,950,074.000	227,096,485.000
Receita Agregada Total	499,534,498.000	499,534,498.000	499,534,498.000
Lucro Agregado	272,322,699.000	271,584,424.000	272,438,013.000

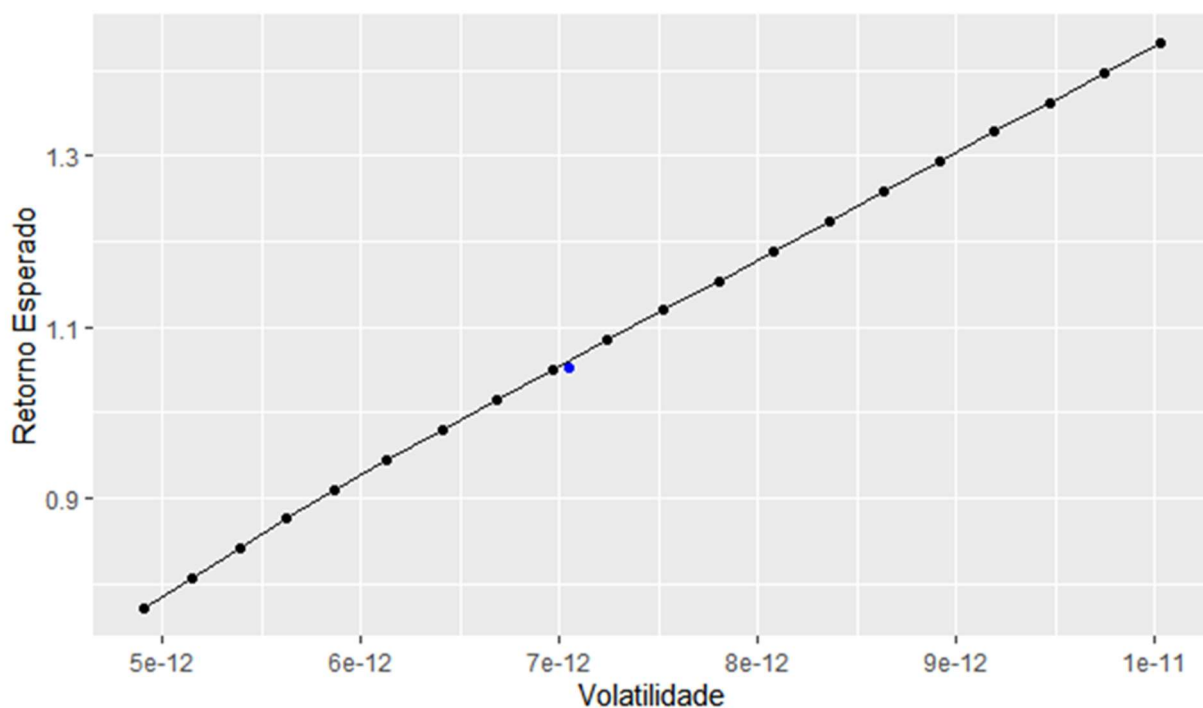


Figura 10-5: Fronteira Eficiente - Simulação 1

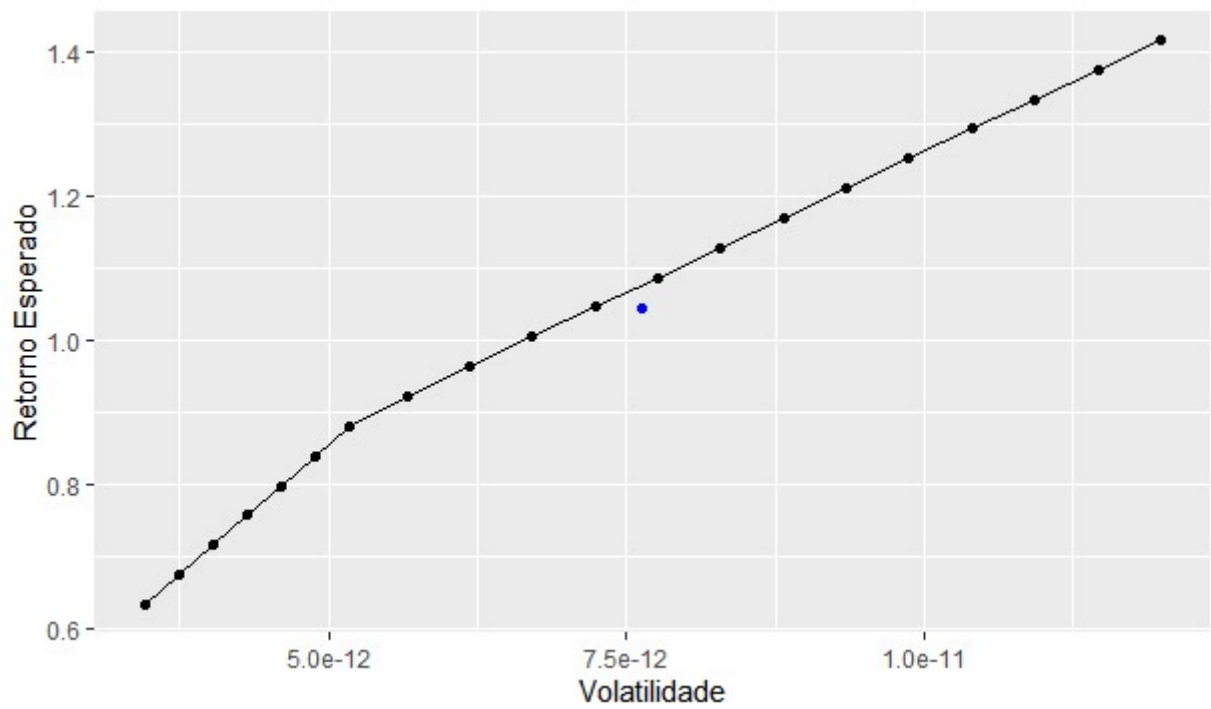


Figura 10-6: Fronteira Eficiente - Simulação 2

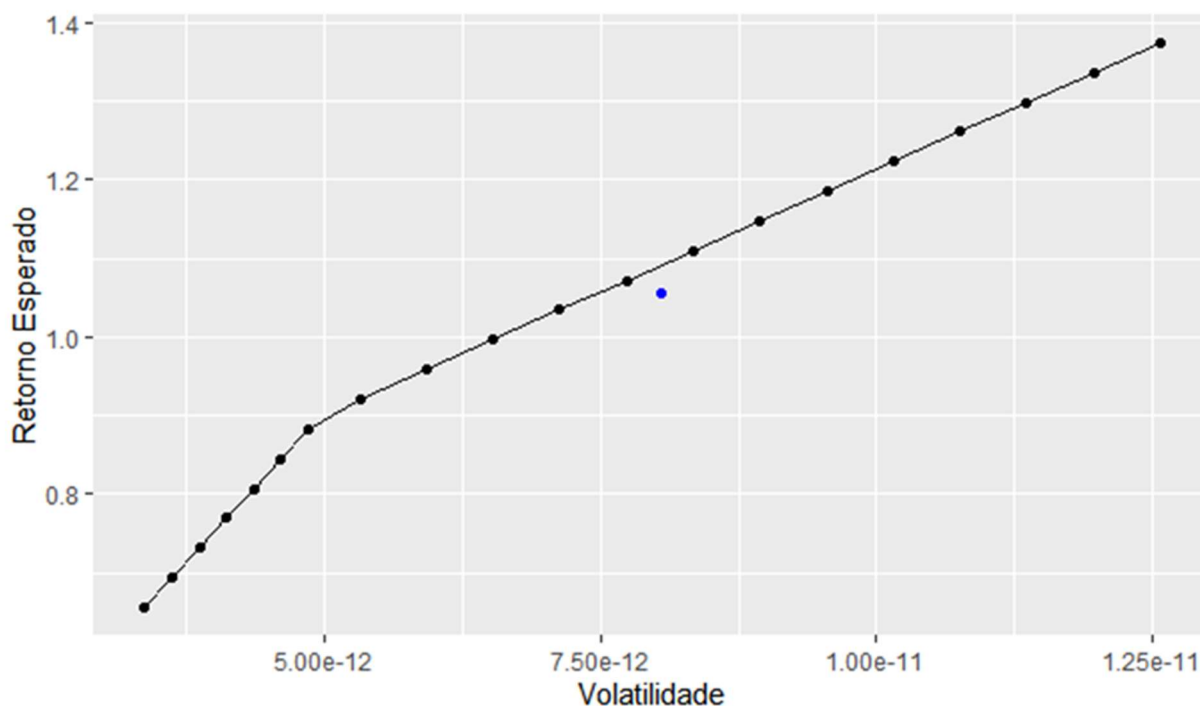


Figura 10-7: Fronteira Eficiente - Simulação 3

$$\text{ConsumoPerCapita} = \frac{\text{VolumeTotalFaturado}}{\text{Populacao}}$$

Segundo de Souza Guedes u. a. (2016) alguns fatores podem influenciar na alteração do consumo per capita de água tais como: nível socioeconômico da população abastecida, clima e porte da cidade. De acordo com Feil und Haetinger (2014) fatores como a tarifa média também podem ter influência no consumo per capita, porém, foi possível perceber também, que não foram encontradas correlações fortes entre o consumo per capita de água e os seguintes parâmetros socioeconômicos: população total, população urbana e renda per capita (Feil und Haetinger, 2014).

A variação destes parâmetros entre cidades apresenta alguma evidência em alguns estudos, porém, para uma mesma cidade em um período relativamente curto de tempo vamos considerar apenas uma pequena variação neste fator em relação a média dos últimos 18 anos de modo a compor os cenários a seguir.

Tabela 10-10: Evolução do consumo per capita

Ano	Consumo per capita m^3/ano
2018	81,99
2017	78,35
2016	62,71
2015	82,91
2014	88,44
2013	90,01
2012	96,74
2011	85,34
2010	85,76
2009	89,75
2008	87,74
2007	88,70
2006	79,59
2005	80,85
2004	81,80
2003	87,12
2002	84,56
2001	85,91
Média	84,35
Desvio padrão	6,97

Portanto, usaremos como valor base $84,35 m^3/ano.habitante$, multiplicado por um fator δ que representará variações de forma a compor 3 cenários, sendo um otimista, um neutro e um pessimista.

Os dados relativos ao crescimento populacional foram obtidos através do SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, fundação vinculada à Secretaria de Governo, que utiliza dados do IBGE para projetar a previsão de crescimento populacional para os municípios paulistas. Através do seguinte gráfico retirado do site da fundação podemos observar a tendência de crescimento da população de Ribeirão Preto.

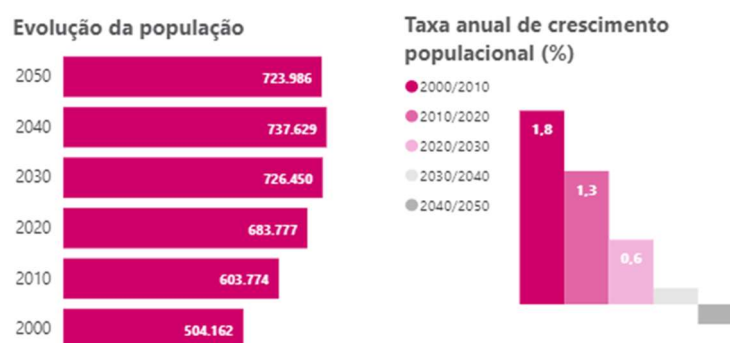


Figura 10-8: Evolução da população de Ribeirão Preto

Assim, podemos estimar a demanda de água para os anos seguintes como sendo igual ao consumo de água per capita multiplicado pela população do período.

Para uma estimativa do lucro da operação vamos considerar a tarifa média praticada no ano de 2018, que inclui os serviços de água e esgoto, essa opção foi feita pela impossibilidade de separar a partir dos dados do SNIS as despesas de água e esgoto. Sendo assim a despesa média por m³ de água explorado foi calculada como sendo a despesa total para exploração dos serviços de água e esgoto dividido pela soma do volume de água explorado com o volume de esgoto faturado, este resultado será apresentado como lucro 1.

Outra opção é tomar a tarifa média de água (sem esgoto) que está disponível nos dados do SNIS (calculando a receita da água dividido pelo volume faturado) e então, para obter o custo de exploração dividimos as despesas com exploração pelo volume de água explorada, para obtenção do lucro multiplicamos a tarifa média de água com o volume faturado e subtraímos a multiplicação do volume explorado com o custo de exploração e esse resultado será apresentado como lucro 2. Desta forma, o valor do lucro pode aparecer em negativo pois está desconsiderando a economia de escopo devido à ausência do esgoto e, claro, a tarifa do esgoto.

De qualquer forma a apresentação dos lucros na tabela com os cenários futuros é uma forma de ilustrar as consequências das alterações dos fatores que estamos simulando, sejam eles o índice de perdas, o crescimento da população ou a variação no consumo per capita.

Na **Tabela 10-11** para composição do cenário foi considerado o consumo per capita, ou a demanda por água, igual ao valor base de 84,35 m³/ano.habitante e o índice de perdas igual 55%.

Na **Tabela 10-12** vamos manter o valor do consumo per capita e vamos trazer o índice de perdas para mais razoáveis 25%.

Tabela 10-11: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	59866,32	133036,26	95786,11	4,80
2030	726450	61276,06	136169,02	98041,69	4,80
2035	736128	62092,40	137983,10	99347,83	4,80
2040	737629	62219,01	138264,46	99550,41	4,80
2045	733026	61830,74	137401,65	98929,19	4,80
2050	723986	61068,22	135707,15	97709,15	4,80

Tabela 10-12: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	59866,32	79821,75	210729,43	2,88
2030	726450	61276,06	81701,41	215691,72	2,88
2035	736128	62092,40	82789,86	218565,24	2,88
2040	737629	62219,01	82958,67	219010,90	2,88
2045	733026	61830,74	82440,99	217644,22	2,88
2050	723986	61068,22	81424,29	214960,13	2,88

Vemos na **Tabela 10-13** que o valor do consumo per capita aumenta em 10% atingindo o valor de 92.785 m³/ano.habitante e o índice de perda é igual a 55%

Tabela 10-13: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	65852,95	146339,88	105364,72	4,80
2030	726450	67403,66	149785,92	107845,86	4,80
2035	736128	68301,64	151781,41	109282,62	4,80
2040	737629	68440,91	152090,90	109505,45	4,80
2045	733026	68013,82	151141,82	108822,11	4,80
2050	723986	67175,04	149277,87	107480,07	4,80

Vamos manter o valor do consumo per capita em 92,785 m³/ano.habitante e reduzir o valor do índice de perdas para 25% na **Tabela 10-14**.

Tabela 10-14: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	65852,95	87803,93	231802,38	2,88
2030	726450	67403,66	89871,55	237260,89	2,88
2035	736128	68301,64	91068,85	240421,76	2,88
2040	737629	68440,91	91254,54	240911,99	2,88
2045	733026	68013,82	90685,09	239408,64	2,88
2050	723986	67175,04	89566,72	236456,14	2,88

Agora, na **Tabela 10-15**, aumentamos em 5% o valor do consumo per capita, ou seja, 88,5675 m³/ano.habitante e o índice de perdas igual a 55%.

Tabela 10-15: Previsão de demanda - índice de perdas = 55%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	62859,63	139688,07	100575,41	4,80
2030	726450	64339,86	142977,47	102943,78	4,80
2035	736128	65197,02	144882,26	104315,23	4,80
2040	737629	65329,96	145177,68	104527,93	4,80
2045	733026	64922,28	144271,73	103875,65	4,80
2050	723986	64121,63	142492,51	102594,61	4,80

E, finalmente, vamos simular para o consumo per capita de 88,5675 m³/ano.habitante com o valor do índice de perdas em 25% na **Tabela 10-16**.

Tabela 10-16: Previsão de demanda - índice de perdas = 25%

Ano	População	Demanda	Volume de água produzida	Lucro	Custo Médio
2025	709737	62859,63	83812,84	221265,90	2,88
2030	726450	64339,86	85786,48	226476,31	2,88
2035	736128	65197,02	86929,36	229493,50	2,88
2040	737629	65329,96	87106,61	229961,45	2,88
2045	733026	64922,28	86563,04	228526,43	2,88
2050	723986	64121,63	85495,51	225708,14	2,88

As economias feitas neste relatório a partir da diminuição do índice de perdas na distribuição não levam em consideração os investimentos e custos de manutenção necessários para que se alcance esse resultado. Porém, ao analisar os resultados que obtivemos podemos observar uma grande economia baseada nesta tarefa que aliada a diversificação dos poços pode reduzir significativamente os riscos com o qual o abastecimento de água da cidade sofre.

Com base nas estimativas de balanço hídrico, em 2016 pode-se calcular a vazão total extraída de 15.759 m³/h e a vazão total de recarga de 5.251 m³/h, resultando em um déficit hídrico de 10.508 m³/h. Se o índice de perda foi da ordem de 61% segundo dados do SNIS então podemos supor que a demanda por água em 2016 era de cerca de 6.146 m³/h. Se o índice de perdas pudesse ser melhorado através da reservação, pois o elevado índice de perda se deve provavelmente ao excesso de pressão causado pelo bombeamento direto dos poços na rede de distribuição, para 25%, ainda assim para suprir a demanda por água precisaria ser extraído cerca de 8.195 m³/h o que diminuiria o déficit hídrico para 2.943 m³/h.

Aplicando-se esse déficit para a área total do Município de 651 km², resulta em um déficit por unidade de área de 4,52 m³ /h/km², resta saber se granulando o déficit por unidade de área em regiões menores podemos encontrar regiões dentro da cidade avitárias para que a diversificação de poços tubulares possa diminuir o restante do déficit hídrico que a eficiência não poderá

alcançar. Pois nem a diversificação nem o aumento da eficiência sozinhos parecem ser capazes de solucionar o déficit hídrico”.

11. ANÁLISE ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS

As alternativas para melhorar as condições de sustentabilidade da exploração do SAG para o sistema de abastecimento de Ribeirão Preto, cuja viabilidade econômica será analisada nesse item, são:

1. **Ampliação da área de captação sem setorização:** com dispersão do volume explorado, em direção à periferia, mas sem alteração do índice de perdas atual de 55%;
2. **Ampliação da área de captação com setorização:** com dispersão do volume explorado, em direção à periferia, mas reduzindo-se o índice de perdas para 30% com um investimento da ordem de R\$ 140.000.000,00.

A análise de viabilidade dessas alternativas se baseia em dois indicadores: I_1 - custo anual de exploração e I_2 - capacidade específica média do sistema, utilizando parâmetros hidráulicos e econômicos apresentados anteriormente: a despesa com energia elétrica, a tarifa média de energia elétrica, o volume explorado de água e a capacidade específica dos poços.

Estes dois indicadores permitem que sejam analisadas as vantagens e desvantagens de determinada configuração do sistema.

O índice I_1 representa o custo total com energia elétrica, mensurado em termos anuais, dado pelo somatório do custo unitário (gasto com energia elétrica por m^3/h) multiplicado pela vazão total anual do poço:

Equação 11-1: índice I_1 - custo anual de exploração

$$I_1 = \sum_{i=1}^{i=n} C_i V_i$$

Onde, C_i é o custo unitário em R\$/m³ do poço i ; e V_i é a vazão do poço i .

O valor médio da tarifa de energia elétrica é de R\$ 0,44 por kWh e foi calculado com base nos dados, disponibilizados pelo DAERP, relativos às despesas com energia elétrica, considerando todos os poços e os 12 meses de 2.019, independentemente da modalidade tarifária, englobando os acréscimos decorrentes de demanda contratada, energia reativa excedente e ultrapassagem de demanda contratada.

O índice I_2 mensura qual a capacidade específica média do sistema. Como visto anteriormente quanto maior a capacidade específica de um poço maior o volume explotado para um dado nível de rebaixamento piezométrico. O indicador I_2 é uma média ponderada da capacidade específica e será calculado mediante a seguinte expressão:

Equação 11-2: índice I_2 - capacidade específica média do sistema

$$I_2 = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{i=n} V_i K_i$$

Onde V é a vazão total do sistema; e K_i é a capacidade específica do poço i medida em m³/h.m.

Nas simulações a seguir, serão consideradas todas variáveis constantes (*ceteris paribus*), exceto, a localização do poço. Esta premissa, de se manter todas as demais variáveis constantes, se justifica devido à ausência de dados sobre as demais variáveis das quais depende a capacidade específica.

O índice I_2 considera que as variações do valor da capacidade específica dos poços (vazão específica) são decorrentes apenas da interferência entre poços, desprezando eventuais variações devidas às características construtivas dos poços e da permeabilidade e espessura da camada aquífera.

Sabe-se que, em média, existe uma relação inversa entre o custo unitário com a energia elétrica e a capacidade específica do poço. Optou-se pela análise conjunta dos dois indicadores,

justamente para que essa complementaridade dê mais robustez aos resultados diante da qualidade dos dados.

O limite adotado da vazão é de 250 m³/h, de acordo com licenças emitidas pelo DAERP para novos poços. Inclusive para poços que possuam vazão aferida acima deste valor para o ano de 2019.

As simulações realizadas têm como objetivo minimizar o custo total da operação de exploração de água e maximizar a capacidade específica média do sistema. Os cálculos foram feitos pelo SOLVER no EXCEL com os métodos LP Simplex e GRG não linear disponível.

O desempenho do sistema será avaliado por meio de I_1 e I_2 para dois cenários. Lembrando que as **Simulações Grupo 1** serão realizadas *sem* setorização, mas com dispersão mais eficiente da exploração de acordo com características de custo de energia elétrica e capacidade específica dos poços, e também, o mesmo índice de perdas atual (55%). Já as **Simulações Grupo 2** serão realizadas *com* a setorização e, então, diminuição do índice de perdas de 55% para 30%, porém com um investimento de R\$ 141.130.804,47.

Na configuração atual do sistema de poços, os valores de I_1 e I_2 , são R\$ 62.586.922,81 e 7,7136 m³/h.m, respectivamente. Os resultados das simulações do Grupo 1 e Grupo 2, serão comparados com esses resultados da configuração atual.

As simulações do Grupo 1 e Grupo 2 estão divididas em 3 diferentes critérios: (i) a minimização do custo total da operação de exploração de água, (ii) a maximização da capacidade específica média do sistema, e (iii) a minimização do custo total, com a restrição que a capacidade específica média seja igual ou maior que a atual.

Para cada simulação e cada cenário, serão adotadas diferentes premissas quanto a capacidade máxima de exploração dos poços. Tais premissas permitirão que a capacidade máxima de exploração de cada poço varie 5%, 10% ou 25% para além de sua vazão aferida atualmente. A motivação para tanto é evitar que poços que foram eventualmente projetados para uma vazão inferior à 250 m³/h tenham suas vazões exageradamente aumentadas no momento do cálculo.

A minimização do índice I_1 e a maximização do índice I_2 serão feitas alterando-se valores de V_i .

É considerado para a atual configuração do sistema uma vazão total de 19.189 m³/h. O consumo de água pela população obtido no SNIS é de 8.130,10 m³/h, este valor será considerado constante nas simulações a seguir. O índice de perdas será considerado de 55% na simulação 1 e 30% nas Simulações Grupo 2.

Nas Simulações Grupo 3, será utilizado o indicador I_1 para análise do seguinte cenário: serão desativados 10 poços, localizados no centro do cone de abatimento e com baixa eficiência energética. Para completar a oferta de água serão construídos poços adicionais na periferia, com maior eficiência energética.

11.1. Simulações Grupo 1

Os critérios adotados são apresentados na **Tabela 13-1**, com índice de perdas de 55%. Ainda assim, nota-se que uma configuração mais adequada nos valores das vazões de cada poço tubular pode alterar significativamente a economia e a sustentabilidade do sistema, representados pelos indicadores I_1 e I_2 .

Tabela 11-1: Simulações Grupo 1

Simulação	ΔQ	Critério	I_1	ΔI_1	I_2	ΔI_2	quantidade de poços ineficientes
1.1	5%	Minimizar I_1	59.351.219,35	3.235.703,46	7,712	-0,020%	8
1.2	5%	Maximizar I_2	61.748.046,59	838.876,22	7,926	2,760%	7
1.3	5%	Minimizar I_1 $\Delta K \geq 0$	59.351.633,49	3.235.289,32	7,714	0,000%	7
1.4	10%	Minimizar I_1	58.322.716,89	4.264.205,93	7,734	0,260%	11
1.5	10%	Maximizar I_2	61.860.088,92	7.823.997,24	8,096	4,960%	2
1.6	10%	Minimizar I_1 $\Delta K \geq 0$	58.322.762,71	4.264.160,10	7,737	0,300%	11
1.7	25%	Minimizar I_1	55.917.620,52	6.669.302,29	7,855	1,840%	20
1.8	25%	Maximizar I_2	60.210.164,09	2.376.758,72	8,518	10,430%	26
1.9	25%	Minimizar I_1 $\Delta K \geq 0$	55.917.620,45	6.669.302,36	7,812	1,280%	17

Uma pequena mudança na configuração, considerando a capacidade máxima de produção de água de cada poço tubular como sendo 5% superior à vazão atual, pode possibilitar uma

economia de R\$3.235.289,32/ano em energia elétrica, mantendo-se o mesmo valor para a capacidade específica média do sistema, simulação (1.3).

Esta simulação (1.3) ainda considera a desativação de 7 poços tubulares, a configuração encontrada que obtém tais resultados pode ser vista no final desta subseção.

Pelas simulações aqui apresentadas, nota-se também que a capacidade específica média (I_2) pode ser substancialmente elevada, ao mesmo tempo que se obtém economia de custo, simplesmente modificando a configuração do sistema. Como pode ser notado na simulação (1.5). É interessante observar que algumas configurações parecem ser dominantes em relação às outras, por exemplo, compare as simulações (1.4) e (1.5). As variações de I_1 e I_2 são superiores em (1.5) quando comparados com (1.4). A configuração (1.5) seria preferida em relação à configuração (1.4), isto, claro, considerando apenas os custos com energia elétrica na produção de água pelos poços tubulares.

Ainda na comparação de (1.4) com (1.5), vemos que o número de poços considerados ineficientes é de 11 na simulação (1.4) e de 2 na simulação (1.5). Os poços considerados ineficientes são aqueles com valor de vazão igual à zero na tabela ao final desta subseção. O método computacional de minimização atribui valor zero à alguns poços tubulares devido ao alto custo unitário de produção de água e/ou baixa capacidade específica do poço tubular de acordo com o objetivo da simulação.

Como I_1 considera apenas o custo de energia elétrica na produção de água, descartando outros custos ligados à manutenção do poço tubular, o número de poços ineficientes também é um parâmetro interessante a ser analisado. A desativação de um maior número de poços ineficientes certamente geraria uma economia ainda maior. Por essa ótica, ainda devemos considerar a simulação (1.5) no páreo e mais análises seriam necessárias.

Uma vez que os poços tubulares tenham custos fixos de manutenção, cada poço desativado geraria uma economia extra que não está contabilizada nessas simulações.

Se as especificações dos poços tubulares permitirem que a capacidade máxima de produção do poço seja pelo menos 25% maior que a vazão atual, sempre obedecendo o limite de 250 m³/h. Podemos alcançar valores significativos de economia, cerca de R\$6 milhões por ano, como vemos nas simulações (1.7) e (1.9). Economia que poderia ser ainda maior desativando poços ineficientes, encontramos 20 poços ineficientes na simulação (1.7) e 17 poços ineficientes na simulação (1.9).

Tabela 11-2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização)

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.1) Vazão	(1.2) Vazão	(1.3) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.1) Vazão	(1.2) Vazão	(1.3) Vazão
3	165,9	165,9	165,9	165,9	192	246,8	246,8	246,8	246,8
9	252	250,0	250,0	250,0	193	206,9	206,9	206,9	206,9
50A	24,15	24,2	0,0	24,2	194	46,2	46,2	46,2	46,2
58	27,3	0,0	27,3	0,0	195	258,3	250,0	250,0	250,0
64	63	63,0	63,0	63,0	196	198,5	198,5	0,0	198,5
65	17,85	0,0	17,9	0,0	197	52,5	52,5	0,0	52,5
68	79,8	79,8	79,8	79,8	198	177,5	177,5	177,5	177,5
72	31,5	31,5	31,5	31,5	199	241,5	241,5	241,5	241,5
79	90,3	90,3	90,3	90,3	200	219,5	219,5	219,5	219,5
87	105	105,0	105,0	105,0	202	248,9	248,9	248,9	248,9
101	30,45	0,0	30,5	0,0	203	204,8	204,8	204,8	204,8
104	22,05	0,0	22,1	0,0	204	260,4	250,0	250,0	250,0
114	52,5	52,5	52,5	52,5	205	202,7	202,7	202,7	202,7
115	108,15	108,2	108,2	108,2	206	242,6	242,6	242,6	242,6
119	59,85	59,9	59,9	59,9	207	155,4	155,4	155,4	155,4
120	100,8	100,8	100,8	100,8	208	182,7	182,7	182,7	182,7
123	67,2	67,2	67,2	67,2	209	148,1	148,1	148,1	148,1
124	170,1	170,1	170,1	170,1	210	204,8	204,8	204,8	204,8
127	140,7	0,0	140,7	0,0	211	182,7	182,7	182,7	182,7
131	88,2	88,2	88,2	88,2	212	151,2	151,2	151,2	151,2
135	111,3	111,3	111,3	111,3	213	189,0	189,0	189,0	189,0
137	225,75	225,8	225,8	225,8	214	238,4	238,4	238,4	238,4
140	77,7	77,7	77,7	77,7	215	180,6	180,6	180,6	180,6
141	127,05	127,1	127,1	127,1	216	168,0	168,0	168,0	168,0
142	240,45	240,5	240,5	240,5	217	143,9	143,9	143,9	143,9
143	58,8	0,0	0,0	0,0	218	163,8	163,8	163,8	163,8
147	81,9	81,9	81,9	81,9	219	261,5	250,0	250,0	250,0
149	173,25	173,3	173,3	173,3	220	259,4	250,0	250,0	250,0
151	219,45	219,5	219,5	219,5	221	261,5	250,0	250,0	250,0
152	66,15	66,2	66,2	66,2	222	183,8	183,8	183,8	183,8
153	192,15	192,2	192,2	192,2	223	123,9	123,9	123,9	123,9
155	65,1	0,0	65,1	0,0	224	218,4	218,4	218,4	218,4
157	192,15	192,2	192,2	192,2	225	205,8	205,8	205,8	205,8
161	200,55	200,6	200,6	200,6	226	244,7	244,7	244,7	244,7
162	202,65	202,7	202,7	202,7	227	167,0	167,0	167,0	167,0
163	212,1	212,1	212,1	212,1	229	194,3	194,3	194,3	194,3
165	241,5	241,5	241,5	241,5	230	252,0	250,0	250,0	250,0
166	77,7	77,7	77,7	77,7	231	190,1	190,1	190,1	190,1
168	191,1	191,1	191,1	191,1	234	182,7	182,7	182,7	182,7
169	261,45	250,0	250,0	250,0	235	266,7	250,0	250,0	250,0
170	201,6	201,6	201,6	201,6	236	108,2	108,2	108,2	108,2
171	226,8	226,8	226,8	226,8	237	213,2	100,6	213,2	96,0
172	202,65	202,7	202,7	202,7	238	181,7	181,7	181,7	181,7
173	152,25	152,3	152,3	152,3	239	22,1	22,1	22,1	22,1
174	262,5	250,0	250,0	250,0	240	130,2	130,2	130,2	130,2
175	207,9	207,9	207,9	207,9	241	133,4	133,4	0,0	133,4
176	226,8	226,8	226,8	226,8	242	168,0	168,0	168,0	168,0
177	194,25	194,3	194,3	194,3	243	143,9	143,9	143,9	143,9
178	208,95	209,0	209,0	209,0	244	255,2	250,0	250,0	250,0
179	211,05	211,1	211,1	211,1	245	174,3	174,3	174,3	174,3
180	134,4	134,4	134,4	134,4	246	195,3	195,3	195,3	195,3
181	222,6	222,6	222,6	222,6	247	325,5	250,0	250,0	250,0
183	143,85	143,9	143,9	143,9	248	262,5	250,0	250,0	250,0
184	267,75	250,0	209,8	250,0	249	190,1	190,1	190,1	190,1

Tabela 11 2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.1) Vazão	(1.2) Vazão	(1.3) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.1) Vazão	(1.2) Vazão	(1.3) Vazão
187	265,65	250,0	250,0	250,0	250	139,7	139,7	0,0	139,7
188	262,5	0,0	250,0	4,6	251	135,5	135,5	135,5	135,5
189	204,75	204,8	204,8	204,8	252	77,7	77,7	0,0	77,7
190	226,8	226,8	226,8	226,8	253	204,8	204,8	204,8	204,8
191	242,55	242,6	242,6	242,6	255	180,6	180,6	180,6	180,6
					Soma		19189,0	19189,0	19189,0

Tabela 11 2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.4) Vazão	(1.5) Vazão	(1.6) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.4) Vazão	(1.5) Vazão	(1.6) Vazão
3	173,8	173,8	173,8	173,8	192	258,5	250,0	250,0	250,0
9	264,0	250,0	250,0	250,0	193	216,7	216,7	216,7	216,7
50A	25,3	19,5	25,3	25,3	194	48,4	48,4	38,0	48,4
58	28,6	23,2	0,0	0,0	195	270,6	250,0	250,0	250,0
64	66,0	51,3	66,0	66,0	196	207,9	207,9	0,0	207,9
65	18,7	18,7	0,0	0,0	197	55,0	55,0	37,7	55,0
68	83,6	83,6	83,6	83,6	198	185,9	185,9	185,9	185,9
72	33,0	26,8	33,0	33,0	199	253,0	250,0	250,0	250,0
79	94,6	94,6	94,6	94,6	200	229,9	229,9	229,9	229,9
87	110,0	110,0	110,0	110,0	202	260,7	250,0	250,0	250,0
101	31,9	29,8	0,0	0,0	203	214,5	214,5	214,5	214,5
104	23,1	19,2	0,0	0,0	204	272,8	250,0	250,0	250,0
114	55,0	55,0	55,0	55,0	205	212,3	212,3	212,3	212,3
115	113,3	113,3	113,3	113,3	206	254,1	250,0	250,0	250,0
119	62,7	48,2	62,7	62,7	207	162,8	162,8	162,8	162,8
120	105,6	90,3	105,6	105,6	208	191,4	191,4	191,4	191,4
123	70,4	70,4	70,4	70,4	209	155,1	155,1	155,1	155,1
124	178,2	178,2	178,2	178,2	210	214,5	214,5	214,5	214,5
127	147,4	147,4	0,0	0,0	211	191,4	191,4	191,4	191,4
131	92,4	92,4	92,4	92,4	212	158,4	158,4	97,3	158,4
135	116,6	116,6	116,6	116,6	213	198,0	198,0	198,0	198,0
137	236,5	236,5	236,5	236,5	214	249,7	249,7	249,7	249,7
140	81,4	73,5	81,4	81,4	215	189,2	189,2	189,2	189,2
141	133,1	130,3	133,1	133,1	216	176,0	176,0	176,0	176,0
142	251,9	250,0	250,0	250,0	217	150,7	150,7	150,7	150,7
143	61,6	39,2	0,0	0,0	218	171,6	171,6	171,6	171,6
147	85,8	55,2	85,8	85,8	219	273,9	250,0	250,0	250,0
149	181,5	181,5	181,5	181,5	220	271,7	250,0	250,0	250,0
151	229,9	229,9	229,9	229,9	221	273,9	250,0	250,0	250,0
152	69,3	52,8	69,3	69,3	222	192,5	192,5	192,5	192,5
153	201,3	201,3	201,3	201,3	223	129,8	129,8	129,8	129,8
155	68,2	68,2	0,0	0,0	224	228,8	228,8	228,8	228,8
157	201,3	201,3	201,3	201,3	225	215,6	215,6	215,6	215,6
161	210,1	210,1	210,1	210,1	226	256,3	250,0	250,0	250,0
162	212,3	212,3	212,3	212,3	227	174,9	174,9	118,6	174,9
163	222,2	222,2	222,2	222,2	229	203,5	203,5	203,5	203,5
165	253,0	250,0	250,0	250,0	230	264,0	250,0	250,0	250,0
166	81,4	81,4	81,4	81,4	231	199,1	199,1	199,1	199,1
168	200,2	200,2	0,0	0,0	234	191,4	191,4	191,4	191,4
169	273,9	250,0	250,0	250,0	235	279,4	250,0	250,0	250,0

Tabela 11 2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.4) Vazão	(1.5) Vazão	(1.6) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.4) Vazão	(1.5) Vazão	(1.6) Vazão
170	211,2	211,2	211,2	211,2	236	113,3	113,3	75,8	113,3
171	237,6	237,6	71,4	71,4	237	223,3	0,0	223,3	0,0
172	212,3	212,3	212,3	212,3	238	190,3	190,3	190,3	190,3
173	159,5	159,5	159,5	159,5	239	23,1	23,1	20,1	23,1
174	275,0	250,0	250,0	250,0	240	136,4	136,4	66,7	136,4
175	217,8	217,8	0,0	0,0	241	139,7	139,7	34,3	139,0
176	237,6	237,6	237,6	237,6	242	176,0	176,0	66,0	176,0
177	203,5	203,5	203,5	203,5	243	150,7	150,7	129,9	150,7
178	218,9	218,9	218,9	218,9	244	267,3	250,0	250,0	250,0
179	221,1	221,1	221,1	221,1	245	182,6	182,6	182,6	182,6
180	140,8	92,9	140,8	140,8	246	204,6	204,6	204,6	204,6
181	233,2	233,2	233,2	233,2	247	341,0	250,0	250,0	250,0
183	150,7	150,7	150,7	150,7	248	275,0	250,0	250,0	250,0
184	280,5	0,0	250,0	250,0	249	199,1	199,1	199,1	199,1
187	278,3	250,0	250,0	250,0	250	146,3	146,3	53,4	146,3
188	275,0	250,0	0,0	0,0	251	141,9	141,9	62,8	141,9
189	214,5	214,5	214,5	214,5	252	81,4	81,4	39,9	78,1
190	237,6	237,6	237,6	237,6	253	214,5	214,5	214,5	214,5
191	254,1	250,0	250,0	250,0	255	189,2	189,2	107,0	189,2
Soma							19189	19189	19189,02

Tabela 11 2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.7) Vazão	(1.8) Vazão	(1.9) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.7) Vazão	(1.8) Vazão	(1.9) Vazão
3	197,5	197,5	197,5	197,5	192	258,5	250,0	250,0	250,0
9	300,0	250,0	250,0	250,0	193	216,7	246,3	246,3	246,3
50A	28,8	28,8	0,0	28,8	194	48,4	55,0	0,0	55,0
58	32,5	0,0	0,0	0,0	195	270,6	250,0	250,0	250,0
64	75,0	75,0	0,0	75,0	196	207,9	236,3	0,0	236,3
65	21,3	0,0	21,3	0,0	197	55,0	62,5	0,0	62,5
68	95,0	95,0	95,0	95,0	198	185,9	211,3	211,3	211,3
72	37,5	37,5	0,0	37,5	199	253,0	187,8	250,0	0,0
79	107,5	107,5	107,5	107,5	200	229,9	250,0	250,0	250,0
87	125,0	125,0	125,0	125,0	202	260,7	250,0	250,0	250,0
101	36,3	0,0	36,3	0,0	203	214,5	243,8	243,8	243,8
104	26,3	0,0	0,0	0,0	204	272,8	250,0	250,0	250,0
114	62,5	62,5	62,5	62,5	205	212,3	241,3	241,3	241,3
115	128,8	128,8	128,8	128,8	206	254,1	250,0	250,0	250,0
119	71,3	71,3	0,0	71,3	207	162,8	185,0	185,0	185,0
120	120,0	120,0	120,0	120,0	208	191,4	217,5	217,5	217,5
123	80,0	80,0	80,0	80,0	209	155,1	176,3	176,3	53,6
124	202,5	202,5	202,5	202,5	210	214,5	243,8	243,8	243,8
127	167,5	0,0	167,5	0,0	211	191,4	217,5	217,5	217,5
131	105,0	105,0	105,0	105,0	212	158,4	180,0	0,0	67,8
135	132,5	132,5	132,5	132,5	213	198,0	225,0	225,0	225,0
137	268,8	250,0	250,0	250,0	214	249,7	250,0	250,0	250,0
140	92,5	92,5	92,5	92,5	215	189,2	215,0	215,0	215,0
141	151,3	151,3	151,3	151,3	216	176,0	200,0	200,0	200,0
142	286,3	250,0	250,0	250,0	217	150,7	171,3	171,3	171,3
143	70,0	0,0	0,0	0,0	218	171,6	195,0	195,0	195,0

Tabela 11 2: Alternativas de configuração de exploração (simulação sem setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.7) Vazão	(1.8) Vazão	(1.9) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(1.7) Vazão	(1.8) Vazão	(1.9) Vazão
147	97,5	97,5	0,0	97,5	219	273,9	250,0	250,0	250,0
149	206,3	206,3	206,3	206,3	220	271,7	0,0	250,0	0,0
151	261,3	250,0	250,0	250,0	221	273,9	250,0	250,0	250,0
152	78,8	78,8	0,0	78,8	222	192,5	218,8	218,8	218,8
153	228,8	228,8	228,8	228,8	223	129,8	147,5	147,5	147,5
155	77,5	0,0	77,5	0,0	224	228,8	250,0	250,0	250,0
157	228,8	228,8	228,8	228,8	225	215,6	245,0	245,0	245,0
161	238,8	238,8	238,8	238,8	226	256,3	250,0	250,0	250,0
162	241,3	241,3	241,3	241,3	227	174,9	0,0	0,0	0,0
163	252,5	250,0	250,0	250,0	229	203,5	231,3	231,3	231,3
165	287,5	250,0	250,0	250,0	230	264,0	250,0	250,0	250,0
166	92,5	92,5	92,5	92,5	231	199,1	226,3	226,3	226,3
168	227,5	0,0	227,5	0,0	234	191,4	217,5	217,5	217,5
169	311,3	250,0	250,0	250,0	235	279,4	250,0	250,0	250,0
170	240,0	240,0	240,0	240,0	236	113,3	128,8	0,0	128,8
171	270,0	0,0	250,0	0,0	237	223,3	0,0	177,8	0,0
172	241,3	241,3	241,3	241,3	238	190,3	216,3	216,3	216,3
173	181,3	181,3	181,3	181,3	239	23,1	26,3	0,0	26,3
174	312,5	250,0	250,0	250,0	240	136,4	155,0	0,0	155,0
175	247,5	0,0	247,5	0,0	241	139,7	0,0	0,0	40,9
176	270,0	250,0	250,0	250,0	242	176,0	200,0	0,0	200,0
177	231,3	231,3	231,3	231,3	243	150,7	171,3	171,3	171,3
178	248,8	248,8	248,8	248,8	244	267,3	250,0	250,0	250,0
179	251,3	250,0	250,0	250,0	245	182,6	0,0	207,5	169,8
180	160,0	160,0	0,0	160,0	246	204,6	232,5	0,0	232,5
181	265,0	250,0	250,0	250,0	247	341,0	250,0	250,0	250,0
183	171,3	171,3	171,3	171,3	248	275,0	250,0	250,0	250,0
184	318,8	0,0	0,0	0,0	249	199,1	0,0	226,3	0,0
187	316,3	250,0	250,0	250,0	250	146,3	0,0	0,0	143,9
188	312,5	0,0	250,0	0,0	251	141,9	161,3	0,0	161,3
189	243,8	243,8	243,8	243,8	252	81,4	0,0	0,0	68,0
190	270,0	250,0	250,0	250,0	253	214,5	243,8	243,8	243,8
191	288,8	250,0	250,0	250,0	255	189,2	215,0	0,0	215,0
					Soma		19189	19189	19189

11.2. Simulações Grupo 2

Nestas simulações o índice de perdas cai de 55% para 30%, e o volume necessário de exploração cai de 19.189 m³/h para 11.614,43 m³/h. Neste caso, lembremos do investimento de cerca de R\$ 140 milhões advindos do projeto de setorização que seria necessário para a conquista dessa meta (diminuir o índice de perdas). O consumo de água permanece constante, 8.130,10 m³/h. Assim como as demais simulações desta seção, não é considerado outros eventuais custos na produção de água pelos poços.

Na **Tabela 11-3** vemos os resultados do Grupo 2 considerando o efeito da diminuição das perdas, notamos que ao comparar a economia possibilitada pelo projeto de setorização com os resultados obtidos da configuração atual, a economia é considerável. O número de poços considerados ineficientes também é enorme e, considerando o consumo de água pela população, poderiam ser desativados gerando ainda mais economia. A economia no custo de energia elétrica poderia ficar entre R\$ 30 milhões e R\$40 milhões por ano nos casos das simulações 1, 3, 4, 7 e 8.

Tabela 11-3: Simulações Grupo 2

Simulação	ΔQ	Critério	I_1	ΔI_1	I_2	ΔI_2	Quantidade de Poços ineficientes
1	5%	Minimizar I_1	28.782.539,50	33.804.383,32	7,784	0,910%	54
2	5%	Maximizar I_2	34.596.923,07	27.989.999,74	10,262	33,040%	58
3	5%	Minimizar $I_1 \mid \Delta K \geq 0$	32.936.895,72	33.758.299,95	8,282	7,360%	7
4	10%	Minimizar I_1	28.493.553,36	34.093.369,45	7,769	0,710%	56
5	10%	Maximizar I_2	34.798.849,35	27.788.073,46	10,360	34,310%	60
6	10%	Minimizar $I_1 \mid \Delta K \geq 0$	33.006.535,59	29.580.387,23	8,230	6,690%	6
7	25%	Minimizar I_1	27.884.342,61	34.702.580,20	7,884	2,200%	60
8	25%	Maximizar I_2	35.305.465,96	27.281.456,85	10,582	37,180%	63
9	25%	Minimizar $I_1 \mid \Delta K \geq 0$	27.884.342,60	34.702.580,22	7,884	2,200%	60

A capacidade específica média do sistema também seria elevada em cerca de 30% proporcionando um grande aumento de sustentabilidade na operação de exploração de água do Município de Ribeirão Preto. Tal valor foi alcançado nas simulações (2), (5) e (8). Naturalmente, o objetivo destas simulações era minimização do risco de diminuição da vazão dos poços ao longo dos anos, e devido à grande diminuição do índice de perdas foi possível uma economia de pelo menos de R\$27 milhões de reais por ano nessas simulações. Tendo em vista o montante a ser investido de R\$140 milhões, o valor seria recuperado em 5,2 anos.

Dos 74 poços que temos dados referentes à energia elétrica 30 possuem um consumo unitário de energia elétrica inferior à 1 kWh/m³, uma proporção de 41%, e apenas 8 possuem um consumo unitário de energia elétrica inferior à 0,6 kWh/m³, meramente 11% de 74 poços.

Fica evidente a presença de um grande número de poços ineficientes mantidos em operação, como fica claro pelos resultados encontrados na Tabela 13-3. Em algumas simulações, mais da

metade dos poços são considerados ineficientes. Ou seja, seria possível com a devida diminuição do índice de perdas, mantendo-se praticamente a mesma capacidade específica média do sistema e respeitando o valor máximo de produção de 250 m³/h, uma economia de R\$ 38.885.481,05. Além da economia gerada pela desativação de mais da metade dos poços.

Tabela 11-4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização)

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.1) Vazão	(2.2) Vazão	(2.3) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.1) Vazão	(2.2) Vazão	(2.3) Vazão
3	165,9	165,9	165,9	165,9	192	246,8	246,8	246,8	152,5
9	252,0	250,0	0,0	131,9	193	206,9	0,0	206,9	81,5
50A	24,2	0,0	0,0	20,8	194	46,2	46,2	0,0	38,8
58	27,3	0,0	0,0	16,8	195	258,3	250,0	250,0	249,7
64	63,0	63,0	0,0	50,5	196	198,5	198,5	0,0	70,4
65	17,9	0,0	17,9	15,8	197	52,5	0,0	0,0	40,3
68	79,8	79,8	79,8	68,1	198	177,5	177,5	0,0	113,4
72	31,5	0,0	0,0	26,6	199	241,5	0,0	241,5	0,0
79	90,3	90,3	0,0	69,8	200	219,5	0,0	0,0	79,2
87	105,0	105,0	105,0	89,3	202	248,9	0,0	248,9	149,1
101	30,5	0,0	0,0	23,7	203	204,8	0,0	204,8	101,0
104	22,1	0,0	0,0	0,0	204	260,4	250,0	250,0	250,0
114	52,5	52,5	0,0	45,1	205	202,7	0,0	0,0	78,6
115	108,2	0,0	108,2	75,8	206	242,6	242,6	242,6	135,6
119	59,9	0,0	0,0	42,6	207	155,4	155,4	155,4	116,5
120	100,8	100,8	0,0	78,1	208	182,7	182,7	182,7	127,1
123	67,2	0,0	67,2	54,1	209	148,1	0,0	0,0	60,5
124	170,1	0,0	170,1	93,8	210	204,8	204,8	204,8	204,8
127	140,7	0,0	140,7	4,3	211	182,7	182,7	182,7	123,9
131	88,2	0,0	88,2	64,3	212	151,2	0,0	0,0	49,8
135	111,3	0,0	111,3	81,8	213	189,0	189,0	0,0	108,2
137	225,8	225,8	225,8	134,3	214	238,4	238,4	238,4	146,3
140	77,7	0,0	0,0	55,4	215	180,6	0,0	0,0	83,4
141	127,1	127,1	0,0	82,9	216	168,0	0,0	0,0	61,2
142	240,5	240,5	240,5	218,3	217	143,9	143,9	143,9	143,9
143	58,8	0,0	0,0	23,1	218	163,8	0,0	0,0	53,5
147	81,9	0,0	0,0	50,5	219	261,5	250,0	250,0	250,0
149	173,3	173,3	0,0	92,2	220	259,4	0,0	250,0	0,0
151	219,5	0,0	0,0	102,1	221	261,5	250,0	250,0	250,0
152	66,2	66,2	0,0	51,3	222	183,8	183,8	183,8	127,6
153	192,2	0,0	192,2	124,6	223	123,9	123,9	123,9	123,9
155	65,1	0,0	0,0	44,3	224	218,4	218,4	218,4	191,7
157	192,2	0,0	0,0	84,0	225	205,8	0,0	205,8	130,2
161	200,6	0,0	200,6	110,5	226	244,7	244,7	0,0	129,7
162	202,7	202,7	0,0	113,1	227	167,0	0,0	0,0	45,8
163	212,1	0,0	212,1	124,6	229	194,3	194,3	49,5	121,6
165	241,5	241,5	241,5	110,7	230	252,0	250,0	250,0	139,8
166	77,7	77,7	77,7	77,7	231	190,1	190,1	190,1	126,4
168	191,1	0,0	0,0	32,9	234	182,7	182,7	182,7	120,8
169	261,5	250,0	0,0	250,0	235	266,7	250,0	250,0	250,0
170	201,6	201,6	0,0	100,4	236	108,2	108,2	0,0	74,9

Tabela 11 4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.1) Vazão	(2.2) Vazão	(2.3) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.1) Vazão	(2.2) Vazão	(2.3) Vazão
171	226,8	0,0	226,8	104,9	237	213,2	0,0	0,0	12,9
172	202,7	157,8	202,7	161,4	238	181,7	181,7	0,0	108,0
173	152,3	152,3	152,3	122,3	239	22,1	22,1	0,0	19,9
174	262,5	0,0	250,0	0,0	240	130,2	130,2	0,0	81,6
175	207,9	0,0	0,0	31,9	241	133,4	0,0	0,0	48,2
176	226,8	226,8	226,8	142,4	242	168,0	168,0	0,0	89,5
177	194,3	0,0	194,3	123,5	243	143,9	0,0	0,0	69,1
178	209,0	0,0	209,0	103,0	244	255,2	250,0	250,0	250,0
179	211,1	211,1	211,1	143,6	245	174,3	0,0	174,3	106,3
180	134,4	134,4	0,0	85,4	246	195,3	195,3	0,0	100,7
181	222,6	222,6	222,6	167,5	247	325,5	250,0	250,0	250,0
183	143,9	0,0	0,0	60,6	248	262,5	250,0	250,0	250,0
184	267,8	0,0	0,0	0,0	249	190,1	0,0	0,0	40,9
187	265,7	0,0	250,0	0,0	250	139,7	0,0	0,0	48,7
188	262,5	0,0	250,0	0,0	251	135,5	135,5	0,0	111,6
189	204,8	204,8	204,8	135,7	252	77,7	0,0	0,0	47,0
190	226,8	226,8	0,0	119,6	253	204,8	204,8	0,0	114,0
191	242,6	242,6	242,6	165,6	255	180,6	180,6	0,0	94,9
Soma						11614,43	11614,43	11614,43	11614,43

Tabela 11 4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.4) Vazão	(2.5) Vazão	(2.6) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.4) Vazão	(2.5) Vazão	(2.6) Vazão
3	173,8	173,8	173,8	173,8	192	258,5	250,0	250,0	145,2
9	264,0	250,0	0,0	130,6	193	216,7	0,0	216,7	77,0
50A	25,3	0,0	0,0	21,0	194	48,4	48,4	0,0	39,2
58	28,6	0,0	0,0	17,0	195	270,6	250,0	250,0	249,6
64	66,0	66,0	0,0	51,2	196	207,9	0,0	0,0	79,5
65	18,7	0,0	18,7	15,8	197	55,0	0,0	0,0	41,0
68	83,6	83,6	83,6	67,8	198	185,9	185,9	0,0	116,0
72	33,0	0,0	0,0	26,8	199	253,0	0,0	250,0	86,8
79	94,6	94,6	0,0	70,4	200	229,9	0,0	0,0	80,1
87	110,0	110,0	110,0	88,5	202	260,7	0,0	250,0	134,3
101	31,9	0,0	0,0	23,8	203	214,5	0,0	214,5	92,2
104	23,1	0,0	0,0	0,0	204	272,8	250,0	250,0	250,0
114	55,0	55,0	0,0	45,1	205	212,3	0,0	0,0	78,5
115	113,3	0,0	113,3	73,3	206	254,1	250,0	250,0	133,0
119	62,7	0,0	0,0	43,3	207	162,8	162,8	162,8	113,3
120	105,6	105,6	0,0	79,3	208	191,4	191,4	191,4	124,5
123	70,4	0,0	70,4	53,2	209	155,1	0,0	0,0	62,0
124	178,2	0,0	178,2	91,2	210	214,5	214,5	214,5	214,5
127	147,4	0,0	147,4	3,1	211	191,4	191,4	191,4	121,3
131	92,4	0,0	92,4	63,5	212	158,4	0,0	0,0	54,3
135	116,6	0,0	116,6	77,9	213	198,0	198,0	0,0	110,6
137	236,5	236,5	217,6	132,1	214	249,7	249,7	0,0	144,2
140	81,4	0,0	0,0	56,1	215	189,2	0,0	0,0	84,2
141	133,1	133,1	0,0	84,5	216	176,0	0,0	0,0	62,0
142	251,9	250,0	250,0	199,2	217	150,7	150,7	150,7	147,7
143	61,6	0,0	0,0	24,3	218	171,6	0,0	0,0	56,5
147	85,8	0,0	0,0	52,1	219	273,9	250,0	250,0	250,0

Tabela 11 4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.4) Vazão	(2.5) Vazão	(2.6) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.4) Vazão	(2.5) Vazão	(2.6) Vazão
149	181,5	181,5	0,0	94,7	220	271,7	0,0	250,0	0,0
151	229,9	0,0	0,0	101,4	221	273,9	250,0	250,0	250,0
152	69,3	69,3	0,0	52,1	222	192,5	192,5	192,5	124,0
153	201,3	0,0	201,3	116,4	223	129,8	129,8	129,8	129,8
155	68,2	0,0	0,0	44,5	224	228,8	228,8	203,1	188,8
157	201,3	0,0	0,0	87,9	225	215,6	0,0	215,6	116,4
161	210,1	0,0	210,1	103,4	226	256,3	250,0	0,0	128,8
162	212,3	212,3	0,0	115,0	227	174,9	0,0	0,0	50,8
163	222,2	0,0	222,2	116,5	229	203,5	203,5	0,0	120,6
165	253,0	229,0	250,0	108,6	230	264,0	250,0	250,0	136,2
166	81,4	81,4	81,4	79,3	231	199,1	199,1	199,1	123,6
168	200,2	0,0	0,0	38,3	234	191,4	191,4	191,4	119,1
169	273,9	250,0	0,0	250,0	235	279,4	250,0	250,0	250,0
170	211,2	211,2	0,0	103,8	236	113,3	113,3	0,0	77,0
171	237,6	0,0	237,6	86,0	237	223,3	0,0	0,0	20,1
172	212,3	0,0	212,3	144,5	238	190,3	190,3	0,0	109,8
173	159,5	159,5	142,6	121,1	239	23,1	23,1	0,0	19,9
174	275,0	0,0	250,0	0,0	240	136,4	136,4	0,0	85,1
175	217,8	0,0	0,0	36,4	241	139,7	0,0	0,0	53,3
176	237,6	237,6	237,6	134,3	242	176,0	176,0	0,0	95,3
177	203,5	0,0	203,5	116,6	243	150,7	0,0	0,0	71,9
178	218,9	0,0	218,9	94,0	244	267,3	250,0	250,0	250,0
179	221,1	221,1	221,1	138,2	245	182,6	0,0	182,6	93,5
180	140,8	140,8	0,0	88,4	246	204,6	204,6	0,0	105,7
181	233,2	233,2	233,2	162,6	247	341,0	250,0	250,0	250,0
183	150,7	0,0	0,0	62,7	248	275,0	250,0	250,0	250,0
184	280,5	0,0	0,0	0,0	249	199,1	0,0	0,0	45,4
187	278,3	0,0	250,0	0,0	250	146,3	0,0	0,0	53,7
188	275,0	0,0	250,0	0,0	251	141,9	141,9	0,0	115,1
189	214,5	214,5	214,5	131,3	252	81,4	0,0	0,0	48,8
190	237,6	237,6	0,0	121,0	253	214,5	214,5	0,0	115,8
191	254,1	250,0	250,0	154,4	255	189,2	189,2	0,0	100,3
					Soma		11614,43	11614,43	11614,43

Tabela 11 4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.7) Vazão	(2.8) Vazão	(2.9) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.7) Vazão	(2.8) Vazão	(2.9) Vazão
3	197,5	197,5	197,5	197,5	192	258,5	250,0	250,0	250,0
9	300,0	250,0	0,0	250,0	193	216,7	0,0	246,3	0,0
50A	28,8	0,0	0,0	0,0	194	48,4	55,0	0,0	55,0
58	32,5	0,0	0,0	0,0	195	270,6	250,0	250,0	250,0
64	75,0	75,0	0,0	75,0	196	207,9	0,0	0,0	0,0
65	21,3	0,0	21,3	0,0	197	55,0	0,0	0,0	0,0
68	95,0	95,0	95,0	95,0	198	185,9	211,3	0,0	211,3
72	37,5	0,0	0,0	0,0	199	253,0	0,0	250,0	0,0
79	107,5	107,5	0,0	107,5	200	229,9	0,0	0,0	0,0
87	125,0	125,0	125,0	125,0	202	260,7	0,0	250,0	0,0
101	36,3	0,0	0,0	0,0	203	214,5	0,0	243,8	0,0
104	26,3	0,0	0,0	0,0	204	272,8	250,0	250,0	250,0
114	62,5	62,5	0,0	62,5	205	212,3	0,0	0,0	0,0
115	128,8	0,0	128,8	0,0	206	254,1	250,0	250,0	250,0
119	71,3	0,0	0,0	0,0	207	162,8	185,0	185,0	185,0
120	120,0	120,0	0,0	120,0	208	191,4	217,5	217,5	217,5
123	80,0	0,0	80,0	0,0	209	155,1	0,0	0,0	0,0
124	202,5	0,0	202,5	0,0	210	214,5	243,8	243,8	243,8
127	167,5	0,0	167,5	0,0	211	191,4	217,5	217,5	217,5
131	105,0	0,0	105,0	0,0	212	158,4	0,0	0,0	0,0
135	132,5	0,0	132,5	0,0	213	198,0	225,0	0,0	225,0
137	268,8	250,0	0,0	250,0	214	249,7	250,0	0,0	250,0
140	92,5	0,0	0,0	0,0	215	189,2	0,0	0,0	0,0
141	151,3	0,0	0,0	0,0	216	176,0	0,0	0,0	0,0
142	286,3	250,0	250,0	250,0	217	150,7	171,3	171,3	171,3
143	70,0	0,0	0,0	0,0	218	171,6	0,0	0,0	0,0
147	97,5	0,0	0,0	0,0	219	273,9	250,0	250,0	250,0
149	206,3	0,0	0,0	0,0	220	271,7	0,0	250,0	0,0
151	261,3	0,0	0,0	0,0	221	273,9	250,0	250,0	250,0
152	78,8	0,0	0,0	0,0	222	192,5	218,8	218,8	218,8
153	228,8	0,0	228,8	0,0	223	129,8	147,5	147,5	147,5
155	77,5	0,0	0,0	0,0	224	228,8	250,0	0,0	250,0
157	228,8	0,0	0,0	0,0	225	215,6	0,0	245,0	0,0
161	238,8	0,0	238,8	0,0	226	256,3	250,0	0,0	250,0
162	241,3	241,3	0,0	241,3	227	174,9	0,0	0,0	0,0
163	252,5	0,0	250,0	0,0	229	203,5	231,3	0,0	231,3
165	287,5	0,0	0,0	0,0	230	264,0	250,0	250,0	250,0
166	92,5	92,5	92,5	92,5	231	199,1	226,3	226,3	226,3
168	227,5	0,0	0,0	0,0	234	191,4	217,5	217,5	217,5
169	311,3	26,9	0,0	26,9	235	279,4	250,0	250,0	250,0
170	240,0	240,0	0,0	240,0	236	113,3	128,8	0,0	128,8
171	270,0	0,0	250,0	0,0	237	223,3	0,0	0,0	0,0
172	241,3	0,0	241,3	0,0	238	190,3	216,3	0,0	216,3
173	181,3	181,3	46,9	181,3	239	23,1	26,3	0,0	26,3
174	312,5	0,0	250,0	0,0	240	136,4	155,0	0,0	155,0
175	247,5	0,0	0,0	0,0	241	139,7	0,0	0,0	0,0
176	270,0	250,0	250,0	250,0	242	176,0	200,0	0,0	200,0
177	231,3	0,0	231,3	0,0	243	150,7	0,0	0,0	0,0
178	248,8	0,0	248,8	0,0	244	267,3	250,0	250,0	250,0
179	251,3	250,0	250,0	250,0	245	182,6	0,0	207,5	0,0
180	160,0	160,0	0,0	160,0	246	204,6	232,5	0,0	232,5
181	265,0	250,0	250,0	250,0	247	341,0	250,0	250,0	250,0
183	171,3	0,0	0,0	0,0	248	275,0	250,0	250,0	250,0
184	318,8	0,0	0,0	0,0	249	199,1	0,0	0,0	0,0

Tabela 11 4: Alternativas de configuração de exploração (simulação com setorização) - continuação

Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.7) Vazão	(2.8) Vazão	(2.9) Vazão	Nº Poço	Capacidade Máxima	(2.7) Vazão	(2.8) Vazão	(2.9) Vazão
187	316,3	0,0	250,0	0,0	250	146,3	0,0	0,0	0,0
188	312,5	0,0	250,0	0,0	251	141,9	161,3	0,0	161,3
189	243,8	243,8	243,8	243,8	252	81,4	0,0	0,0	0,0
190	270,0	250,0	0,0	250,0	253	214,5	243,8	0,0	243,8
191	288,8	250,0	250,0	250,0	255	189,2	215,0	0,0	215,0
					Soma		11614,43	11614,43	11614,43

11.3. Simulações Grupo 3

Pode parecer conflituoso que o fechamento de poços tubulares aumentaria a eficiência do sistema com o argumento que a pulverização de poços para a periferia é necessária para conter a expansão do cone de abatimento piezométrico. Uma vez que a depender da localização dos poços que permanecerem ativos o cone de abatimento possa ser prejudicado. Foi visto que os poços ineficientes coincidem em sua maioria, justamente com a localização do cone de abatimento piezométrico. Portanto, a maior parte dos poços desativados pelas simulações até aqui, seriam justamente os que estão sobre o cone.

Esta simulação restringirá o problema de forma que não será possível aumentar a vazão dos poços, ou seja, todo poço já opera em capacidade máxima de produção. Sendo assim, novos poços serão construídos na periferia, de forma que evitaremos a concentração de poços. Ainda, a vazão máxima de um novo poço será limitada à 150 m³/h.

Segundo o projeto de setorização cada poço novo custa R\$2.090.850,00, o ideal é que um poço novo seja construído de forma a ter seu consumo unitário por volta de 0,6 kWh/m³. Pelas estimativas realizadas dos 118 poços apenas 8 possuem consumo unitário menor que 0,6 kWh/m³, uma proporção de 7%.

Vamos considerar o consumo unitário de 1,2 kWh/m³ como o limite de um consumo aceitável. Nesta simulação vamos substituir metade dos poços com consumo unitário superior à 1,2 kWh/m³ e que estejam localizados no centro do cone de abatimento. Os novos poços consumiriam

0,8 kWh/m³ (uma meta mais modesta em relação ao consumo unitário de 0,6 kW h/m³ que seria desejável). Neste caso, 20 poços se encontram nestas condições.

Dos 20 poços com alto consumo unitário e localizados próximos ao centro do cone de abatimento, vamos simular a desativação da metade. De forma que aqueles que permaneceriam, seriam beneficiados pela desativação dos poços vizinhos.

Os poços remanescentes, considerando a totalidade dos poços, seriam responsáveis por uma produção de água de 17.818 m³/h, insuficiente, considerando perdas de 55%. Para abastecimento do Município com este índice de perdas é necessária a produção de 19.189 m³/h, uma diferença de 1.371 m³/h.

Esta diferença seria coberta pela construção de 10 novos poços tubulares à um custo de R\$2.090.850,00 cada um, um total de R\$20.908.500,00. Vamos supor estes novos poços tubulares com consumo unitário de 0,8 kWh/m³ e tarifa sobre energia elétrica de 0,42 R\$/kWh.

O custo anual em energia elétrica deste novo sistema seria de R\$ 59.154.285,30. Uma economia em relação ao valor atual de R\$ 3.432.637,51. Tendo em vista o investimento de R\$20.908.500,00 para substituição dos poços ineficientes, teríamos um retorno em cerca de 6,09 anos.

Na **Tabela 11-5**, podemos ver a nova configuração do sistema de exploração. Os poços que apresentam: 104*, 127*, 143*, 155*, 171*, 175*, 178*, 183*, 216* e 225* equivalem aos poços substitutos, todos com vazão de 150 m³/h, com a numeração equivalente à dos poços que foram desativados no local onde se encontram atualmente hoje.

Tabela 11-5: Simulações Grupo 3

Poço	Vazão (m³/h)	Poço	Vazão (m³/h)	Poço	Vazão (m³/h)	Poço	Vazão (m³/h)
3	158	153	183	193	197	224	208
9	240	155*	150	194	44	225*	29
50A	23	157	183	195	246	226	233
58	26	161	191	196	189	227	159
64	60	162	193	197	50	229	185
65	17	163	202	198	169	230	240
68	76	165	230	199	230	231	181
72	30	166	74	200	209	234	174
79	86	168	182	202	237	235	254
87	100	169	249	203	195	236	103
101	29	170	192	204	248	237	203
104*	150	171*	150	205	193	238	173
114	50	172	193	206	231	239	21
115	103	173	145	207	148	240	124
119	57	174	250	208	174	241	127
120	96	175*	150	209	141	242	160
123	64	176	216	210	195	243	137
124	162	177	185	211	174	244	243
127*	150	178*	150	212	144	245	166
131	84	179	201	213	180	246	186
135	106	180	128	214	227	247	310
137	215	181	212	215	172	248	250
140	74	183*	150	216*	150	249	181
141	121	184	255	217	137	250	133
142	229	187	253	218	156	251	129
143*	150	188	250	219	249	252	74
147	78	189	195	220	247	253	195
149	165	190	216	221	249	255	172
151	209	191	231	222	175		
152	63	192	235	223	118		

12. PROGNÓSTICOS E CENÁRIOS FUTUROS

Esse item apresenta a sistematização dos resultados, focando nos prognósticos e projeções para cenários futuros.

12.1. Superexploração do SAG

Os estudos realizados e os resultados obtidos ratificam os estudos anteriores e indicam que, nas condições atuais, o volume de água explorado do SAG (Sistema Aquífero Guarani) para atendimento do sistema público de abastecimento de água de Ribeirão Preto, estimado em 156.103.200 m³/ano, excede a capacidade natural do manancial subterrâneo, caracterizando-se como superexploração, a qual provoca o progressivo abatimento piezométrico e/ou rebaixamento do nível da água, sendo que o ponto central do cone, localizado a sudoeste da mancha urbana, continua sendo o poço 130-Delboux, onde a cota piezométrica era 434m, em 12/2016, passando a 428 m, em 08/2020, o que representa uma taxa média de 1,5 m/ano e totaliza a diferença da ordem de 90 m, em relação aos dados piezométricos antigos, obtidos por GUIDO, 2004 (apud Cavicchia, 2007).

As medidas de restrição e controle, vigentes desde 2006 (atualmente Deliberação CBH-Pardo 229/2016), não foram suficientes para reverter e nem mesmo reduziram a taxa de avanço do processo de superexploração.

O déficit hídrico gerado pela exploração acima do volume de recarga natural, é estimado atualmente em 150.250.181 m³/ano, devendo ser considerado como o volume que é extraído da reserva permanente. Considerando as estimativas da reserva permanente de água, sem a reposição induzida pelo abatimento piezométrico, além dos limites da área estudada, seria necessário drenar 110 m de espessura saturada da camada aquífera, em uma área de 190 km², para atender o déficit anual atual, durante os próximos 28 anos.

12.2. Crescimento populacional e demanda de água

Os estudos de crescimento populacional, realizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e pela Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados), apresentam projeções para a população máxima do município de Ribeirão Preto da ordem de 740.000 habitantes, que deverá ocorrer, por volta do ano 2040, refletindo tendência de redução da taxa

de crescimento populacional, decorrente do aumento do contingente idoso e da redução do índice de fecundidade, entre outros fatores. No entanto, os estudos realizados pelo DAERP visando a elaboração do projeto de setorização do abastecimento de água, se baseiam nos projetos aprovados de parcelamento do solo urbano e consideram uma taxa média de ocupação dos imóveis de 2,9 hab/unidade habitacional, que totalizam mais de 1.200.000 hab, ou seja, adota uma população imaginária adicional de 460.000 hab, que talvez nunca venha a existir.

Outro fator importante a ser considerado é a taxa de consumo de água, que a ONU (Organização das Nações Unidas), considera que a necessidade de água para consumo e higiene de cada pessoa equivale a 3,3 m³/mês (cerca de 110 L/hab.dia), mas, no Brasil, não é raro que esse valor seja superior a 200 L/hab.dia. O estudo de demanda de água realizado pelo DAERP adota 310 L/hab.dia incluído 30% de perdas totais.

Portanto, é possível que as projeções de demanda de água adotadas pelo DAERP estejam sensivelmente infladas, mas independentemente da avaliação do crescimento populacional e da demanda de água se faz necessário buscar alternativas de solução para a superexploração do SAG pois esse cenário já tem mais de 50 anos de evolução e vem sendo sucessivamente negligenciado. Adicionalmente, as possibilidades de reverter esse cenário, no curto prazo, são remotas, devido ao gerenciamento ineficiente da exploração e aos elevados valores dos investimentos necessários para implantação de soluções alternativas.

12.3. Consequências da superexploração

A principal consequência da superexploração, a qual já sentida atualmente, é o aumento progressivo do custo de produção de água, decorrente do consumo crescente de energia elétrica pelas bombas dos poços, frente à necessidade de elevar a água a alturas maiores.

Atualmente, em algumas áreas, o nível piezométrico já está abaixo do topo camada aquífera e como consequência a tendência é a redução da taxa de rebaixamento do nível da água, nessas

áreas em que o fator de armazenamento, ao mudar de confinado a livre, fica cerca de 1000 vezes maior.

A intensificação da exploração do SAG junto ao limite oeste da cidade de Ribeirão Preto expandirá horizontalmente o cone de abatimento piezométrico além dos limites do município, podendo tornar sensível a interferência entre os poços de Sertãozinho e Ribeirão Preto, o que exigirá que em estudos futuros sejam contemplados em conjunto os poços das duas cidades.

A intensificação da exploração do SAG na região nordeste do município poderá inverter o sentido natural do fluxo subterrâneo nessa área, gerando fluxos de água do Rio Pardo para o aquífero.

No médio e no longo prazo, caso o cenário atual de superexploração, não seja controlado, poderá causar outros impactos negativos, alguns com elevado potencial de gravidade, e de difícil constatação, em sua fase inicial, tais como os impactos aos mananciais superficiais, alterações da qualidade natural da água subterrânea, subsidência do terreno e sismos induzidos pela extração da água subterrânea. Em função do desconhecimento das características geológicas da área, abaixo da cota 150 m, da carga piezométrica e da qualidade da água que pode estar armazenada em camadas mais profundas e com base no princípio da precaução, dever-se-á evitar avanços excessivos do cone de abatimento piezométrico.

12.4. Estratégias de mitigação da superexploração

O caráter predatório do sistema público de abastecimento de água de Ribeirão Preto, desde sua implantação e após um século de desenvolvimento desordenado, é a principal causa dessa situação e possui dois vetores que se retroalimentam: 1) reduzir a superexploração exige investimentos; e 2) o sistema é deficitário devido às perdas e, por isso, não produz os recursos para investimento. O agravamento dessa situação chegou a um patamar em que é inadiável romper esse círculo vicioso e criar um ponto de inflexão na curva de crescimento do problema.

A seguir são listadas algumas alternativas de estratégias para mitigação dos impactos negativos da superexploração, considerando os condicionantes físicos da área:

1. **Redução das perdas:** Tendo em vista que os valores estimados das perdas de água no sistema público de abastecimento de água são de 56,9% (perdas totais) e 39,2% (perdas reais) a implantação das ações para redução de perdas têm grande potencial para redução do volume explorado pela redução de perdas. O projeto de setorização que está sendo elaborado pelo DAERP prevê após a implantação, orçada em mais de R\$ 140 milhões as perdas seriam reduzidas para 30 % (perdas totais) e 17,9% (perdas reais). Analisando as informações disponibilizadas pelo DAERP, o presente estudo, propõe uma sequência de implantação dos setores de abastecimento, em quatro etapas, definidas com base nas localizações e nas taxas de demanda de água. Os setores considerados prioritários são: **06, 08, 13, 14, 16, 28, 31, 35, 36, 37** e **55**. Os setores **06, 08, 14, 35, 36, 37** são grandes importadores de água do sistema, uma vez que os poços tubulares localizados nesses setores não são capazes de suprir a demanda de água pela população dos setores. Os setores **16, 28, 31 e 55** são grandes exportadores de água para o sistema e o setor **13** é praticamente autônomo. Uma vez que estes setores estão localizados na área de abatimento do cone piezométrico seria conveniente priorizar sua implantação para minimizar a exploração de água nesta região. Neste caso, estes setores deveriam ser importadores de água de setores mais distantes do centro do cone de abatimento piezométrico, portanto, os setores **16, 28, 31 e 55** deveriam ter sua demanda suprida pelos demais setores de fora do cone de abatimento piezométrico. À medida do possível a sequência de implantação da setorização deverá atender às prioridades conforme classificação da demanda unitária de cada setor, indicada na **Tabela 8-6** e na **Figura 8-3**. Os resultados da implantação do plano de setorização serão graduais e decrescentes e as respostas do aquífero deverão ser lentas, exigindo a implantação de um sistema moderno e preciso de monitoramento dos poços.

-
2. **Gestão da demanda:** As taxas de demanda de água na cidade de Ribeirão Preto são elevadas, o que exige a implantação de um programa de gestão da demanda para criar incentivos ao uso racional da água através de ações tecnológicas e medidas de conscientização dos usuários. Uma ação que já vem sendo aplicada pela Sabesp é a implantação de planos de concessão de descontos condicionados à redução do consumo. Adicionalmente, existem diversos outros exemplos que têm sido aplicados em outros países, tal como a concessão de financiamentos para substituição de equipamentos com baixa eficiência hídrica. Outras ações não estruturais adotam o princípio do “uso de águas menos nobres para fins menos nobres”, que podem ser implementadas por meio de incentivos para o uso de água da chuva para fins não potáveis (irrigação, limpeza de pisos externos, lavagem de roupas, descarga de vasos sanitários) e o reuso da água cinza (água de enxague das máquinas de lavar roupas).

 3. **Participação do CBH-Pardo:** Recomenda-se que o CBH-Pardo composto por representantes de usuários de água; formuladores de políticas; organizações do setor público e organizações do setor privado, mantenha uma agenda de acompanhamento, de forma totalmente transparente, da implantação das ações mitigadoras e análise o avanço dos resultados, por meio de relatórios semestrais a serem elaborados pelo Departamento Técnico do DAERP, podendo incluir a apreciação de novas propostas, e a revisão de planos e metas.

 4. **Espalhamento do abatimento piezométrico:** Os resultados das simulações efetuadas no presente estudo, avaliando a redução do consumo de energia elétrica nas bombas dos poços, por meio do espalhamento dos poços, sugerem que seria economicamente viável a substituição de 10 poços da área central, por poços novos construídos em áreas periféricas, cujos investimentos seriam amortizados pela economia de energia elétrica gerada nesses novos poços, durante 6 anos. A construção de novos poços deverá priorizar a área leste do município, onde o aquífero se apresenta livre e em melhores condições técnicas e econômicas de aproveitamento para o abastecimento público.

-
5. **Captação superficial:** A cidade de Ribeirão Preto sempre foi abastecida exclusivamente por água subterrânea, utilizando um sistema implantado sem planejamento. O agravamento do cenário de superexploração, faz com que seja considerada a substituição parcial e/ou a complementação da água subterrânea com água superficial por meio da implantação, em médio prazo, de um sistema produtor no Rio Pardo. O uso conjunto de água superficial e subterrânea em sistemas de abastecimento de água é muito comum e representa uma tendência universal, pois possibilita a gestão integrada da água e dos ecossistemas dependentes de água e gera resiliência aos desafios ambientais nos cenários de mudanças climáticas e de uso da terra. Esse tipo de solução permite o uso de técnicas inovadoras (modelos hidroeconômicos) e tradicionais de gestão da água, tais como transferências de água, reúso de água, gestão de demanda e remediação de aquíferos e agrega valor para a sociedade (aumentando o rendimento médio e a confiabilidade, mas pode eventualmente apresentar implicações econômicas devido ao aumento de custos operacionais), segundo (M. PULIDO-VELAZQUEZ, 2016).
6. **Recarga administrada:** Anteriormente, conhecida como recarga artificial de aquíferos a aplicação da recarga administrada já é amplamente adotada, sendo realizada de diversas formas, em diversos países. Considerando o contexto geológico / hidrogeológico de Ribeirão Preto, apenas alguns métodos teriam, teoricamente, viabilidade técnica: 1) A injeção direta da água (tratada) em poços para armazenar o excesso sazonal de água e posteriormente recuperando no mesmo poço, por isso a sigla em inglês é ASR (*Aquifer Storage and Recover*). A inversão sazonal do sentido de fluxo da água nos filtros do poço e no aquífero circundante, reduzindo as obstruções é considerada uma vantagem desse método, bem como o uso do mesmo poço para injeção que reduz o valor dos investimentos; 2) O método de injeção de água tratada em um poço e a sua extração em outro poço é chamado de ASTR (*Aquifer Storage Transfer and Recover*). Esse método utiliza o próprio aquífero para melhorar a qualidade da água, sendo usado principalmente em sistemas de abastecimento de água potável. No médio prazo, a depender da

modernização da legislação vigente, a aplicação dessas tecnologias poderá ser viabilizada para otimizar o uso conjunto de água superficial e subterrânea.

13. PLANO DE GERENCIAMENTO

Diversos estudos anteriores apontam que historicamente os serviços de abastecimento de água de Ribeirão Preto são realizados sem planejamento adequado e que a cada dia fica mais difícil o acesso aos dados e informações que em grande parte não são coletados, registrados e armazenados adequadamente. Os registros de dados e informações disponíveis ainda têm inúmeras precariedades, sendo necessário suprir as ausências ou inconsistências por meio de inferências e/ou estimativas indiretas.

Para que o gerenciamento da exploração do SAG em Ribeirão Preto seja bem-sucedido serão necessárias a implantação e a calibração de modelos integrados hidrogeológicos e hidro econômicos. A precariedade da infraestrutura existente de coleta e armazenamento de dados operacionais, poderá resultar em uma relação benefício x custo desfavorável para a implantação imediata de modelo numéricos, recomendando-se que anteriormente seja implantado um adequado gerenciamento integrado de dados, possibilitando que os dados sejam facilmente detectáveis, disponíveis, acessíveis, confiáveis, compreensíveis e utilizáveis.

São apresentadas as seguir algumas recomendações de condições técnicas para implantação de um sistema integrado de gerenciamento dos dados operacionais, definindo a metodologia de coleta, tratamento e divulgação de informações técnicas, monitoramento e fiscalização do cumprimento das diretrizes.

13.1. Banco de dados operacionais dos poços

O sistema de gerenciamento de dados depende do desenvolvimento de sistemas digitais e integrados de bancos de dados e a modernização das instalações desde os instrumentos de medição e sua aferição, os registros de séries históricas de dados, em diferentes escalas de tempo, transmissão digitalizada de dados e de comandos numéricos e a implantação de robustos sistemas de armazenamento de dados em nuvem.

A liderança influencia fortemente a cultura de uma organização, modela e define os comportamentos e valores. Portanto, o mais importante e talvez o único fator determinante para um bom gerenciamento de dados dentro de uma organização é a prioridade atribuída a ele pela liderança. Isso começa com os profissionais que reconhecem o valor dos dados e se propaga para os líderes de setores, que incluem e aplicam o gerenciamento de dados por meio de políticas e recursos adequados. Os esforços nesta área também são potencializados por exigência de órgãos reguladores.

A primeira etapa de implantação do banco de dados de poços (ativos e desativados) deverá englobar as seguintes atividades:

1. Levantamento topográfico georreferenciado de todos os poços;
2. Digitalização dos dados e informações disponíveis em arquivos físicos dos poços;
3. Elaboração de plantas, memorial descritivo e registro fotográfico das instalações existentes nos poços (casa de química, reservatórios, subestações elétricas, etc.); e
4. Levantamento cadastral detalhado dos equipamentos instalados nos poços, material de reposição e sobressalentes existentes em almoxarifado.

O volume de dados e informações a ser gerenciado exige que seja constituído um setor técnico específico e permanente, incluindo o treinamento dos seus integrantes, para coordenar e executar todas as ações relacionadas à instalação, manutenção e operação dos dispositivos de hardware e software, gerir, analisar e divulgar os dados e informações coletados pelo sistema

municipal de monitoramento do uso da água do Aquífero Guarani para uso no sistema de abastecimento público.

13.2. Sistema de monitoramento operacional dos poços

O projeto de setorização do abastecimento de água elaborado pelo DAERP já prevê: *“Os programas de apoio são os de monitoramento remotos concentrados em um CCO (Centro de Controle Operacional) para uma melhor gestão operacional e de eficácia nas decisões. O SMR (Sistema de Medição Remota) concentrará no CCO, os seguintes parâmetros: vazões dos poços (produção de água), vazões de saídas dos reservatórios setoriais, níveis dos reservatórios setoriais, medição de pressão nos cavaletes dos poços e nos pontos estratégicos das redes de distribuição de cada setor planejado, “status” de liga e desliga, tensão e corrente das EEA e poços, entre outros que poderão ser importantes para uma boa gestão operacional. O CCO deverá, além de concentrar os diversos parâmetros medidos, ter a capacidade de fazer simulações hidráulicas, gestão de perdas, gestão de eficiência energética e emissão de relatórios gerenciais, entre outras facilidades”*. O projeto do DAERP também prevê a implantação de DMC's (Distritos de Medição e Controle) que permitirão monitorar as perdas por setor de abastecimento.

O monitoramento em regime contínuo dos poços em operação deverá incluir os seguintes parâmetros: temperatura do motor da bomba, nível da água no poço, temperatura da água na saída, nível da água no reservatório, vazão instantânea, volume acumulado, tempo de funcionamento da bomba do poço, tensão, corrente, potência consumida, consumo de energia, status de operação, posição de seletoras e falhas de cada fase da alimentação elétrica. As medições deverão ser direcionadas a uma central de processamento – PLC, utilizando sistema de transmissão de dados GSM/GPRS e IHM (interface homem máquina) instalada no local, com devido dispositivos de proteção e segurança contra vandalismos.

Obviamente a implantação do sistema de monitoramento automático em todos os poços terá custo elevado e, por essa razão, recomenda-se que inicialmente sejam instalados em apenas 12

poços (231, 198, 153, 207, 187, 165, 221, 195, 137, 196, 211 e 157), mantendo-se as rotinas de leitura manual nos demais poços.

O monitoramento da profundidade do nível da água manual de poços desativados, que tem sido realizado em 11 poços deverá ser mantido, incorporando outros poços desativados que estejam localizados em áreas ainda não monitoradas e que apresentam características construtivas adequadas.

Adicionalmente, recomenda-se que sejam instalados, pelo menos, 10 sensores do tipo *level logger* autônomo em poços desativados, preferencialmente localizados nas imediações dos poços ativos acima mencionados.

13.3. Monitoramento de qualidade da água

O monitoramento mensal dos parâmetros operacionais dos poços também deverá incluir o controle da qualidade da água bombeada, medindo o pH, a condutividade elétrica e a temperatura da água na saída do poço e observando-se se existe alteração de cor, turbidez e a presença de sólidos em suspensão (areia).

Em função da precariedade e inadequação dos dados hidroquímicos disponíveis atualmente, recomenda-se que no sistema de monitoramento dos poços em operação sejam incluídos parâmetros hidroquímicos a serem determinados/analísados e registrados semestralmente, de forma a constituir séries históricas que no longo prazo poderão indicar tendências, ainda que sutis, de alteração de qualidade natural da água subterrânea.

Deverão ser realizadas medições na água, na saída do poço, dos seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, condutividade elétrica, potencial redox, cor, turbidez, alcalinidade (bicarbonato e carbonato), dureza total. Deverão ser coletadas amostras de água nas saídas dos poços e realizadas análises laboratoriais, independentemente das exigidas pelo sistema de

controle de potabilidade, incluindo parâmetros que viabilizam o cálculo do balanço iônico e permitem avaliar o caráter corrosivo ou incrustante da água, com base nos seguintes parâmetros:

- Cátions: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+3} ;
- Ânions: HCO_3^- , CO_3^{-2} , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , F^- , PO_4^- .

13.4. Relatórios gerenciais

Com o banco de dados digital dos poços e os sistemas de monitoramento operacional automático implantados será possível gerar diversos tipos de relatórios gerenciais para uso interno e externo, com a periodicidades que forem requeridas.

A seguir são relacionados alguns exemplos de relatórios gerenciais:

- Relatórios auditáveis dos volumes explotados e dos rebaixamentos produzidos: com periodicidade semestral, são relatórios destinados principalmente ao público externo, Comitê da Bacia, órgãos reguladores e controle das outorgas. Esse tipo de relatório facilita o acompanhamento das tendências de evolução do abatimento piezométrico, por meio da taxa anual de abatimento piezométrico em cada poço monitorado e o volume de água produzido;
- Relatórios diários de taxa média de consumo de energia elétrica por m^3 de água bombeada, em cada poço. Esse tipo de relatório é fundamental para apoio a decisões operacionais;
- Relatórios gráficos diversos dos parâmetros operacionais de cada poço e sistema de alerta de queda de energia, e outras falhas operacionais e necessidade intervenções e reparos. Esse tipo de relatório poderá ser acessado “on line” pelos supervisores de operações por meio de aparelhos celulares, que terão a possibilidade de enviar comandos operacionais remotos.

13.5. Modelos numéricos

O banco de dados e o sistema de monitoramento viabilizarão a implantação e a calibração de modelos numéricos para gestão do sistema de abastecimento de água, e possibilitará garantir simultaneamente: segurança hídrica, eficiência e sustentabilidade. O modelo numérico hidrogeológico após a sua devida calibração em regime permanente e em regime transitório possibilita a realização de simulações para estudo de viabilidade de novos poços e fornece juntamente com um modelo hidro econômico o suporte técnico confiável para otimização do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. J. JAKEMAN, O. BARRETEAU, R. J. HUNT, J.-D. RINAUDO, A. ROSS, M. ARSHAD, and S. HAMILTON. Integrated groundwater management: an overview of concepts and challenges. *Integrated groundwater management*, pages 3–20, 2016.
- AQUA BAVARIA GUARANI. Gerenciamento de Aquíferos: Um exemplo de Solução Integrada para a Criação de Áreas de Proteção de Captações destinadas ao Abastecimento Público com Uso de Modelos de Sustentabilidade e Sistemas Avançados de Suporte de Tecnologia de Informação. São Paulo: 2004. p. 41.
- ARESPCJ Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. (2020). *Relatório de fiscalização técnica dos sistemas de água e esgoto do município de Ribeirão Preto*. Americana - SP.
- CAVICCHIA, M. E. Desenvolvimento de Modelo Numérico para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos na Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento) – USP – São Carlos, SP, 2007.
- Consórcio Geometrica e Walm Ambiental. (2015). *Plano Municipal de Saneamento Básico de Ribeirão Preto*. Ribeirão Preto - SP: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto.
- C. SAIANI. Déficit de acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil. Prêmio Ipea-Caixa, 2006.
- C. SAIANI and R. TONETO JÚNIOR. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). *Economia e Sociedade*, 19(1):79–106, 2010.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/INSTITUTO GEOLÓGICO (ORG.). 2003. Projeto de Proteção e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani: Memória Seminário Aquífero Guarani 17 a 19 de setembro de 2003. Ribeirão Preto, SP, 232 pg.

DAERP - Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto. (2019). *Projeto de setorização*. Ribeirão Preto SP.

DANIEL, E. &. (2008). *Avaliação das características do relevo da área urbana de São Pedro/SP*. TCC, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro.

FERNANDES, A. J. et al. Estratigrafia dos derrames de basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto – SP) baseada na Geologia Física, Petrografia e Geoquímica. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, v. 10, n.2, p. 73-79, Jul 2010.

FERNANDES, A. J. et al. Modelo Conceitual Preliminar de Circulação de Água Subterrânea no Aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba, PR, 2006. p. 16.

FERNANDES, A. J.; ROULEAU, A. Simulação de Descolamentos em Fraturas em Basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto, SP) e Implicações para a sua Transmissividade. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal, RN, 2008. p. 20.

FERREIRA DA SILVA, A. (2003). *Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do Córrego Tucum, São Pedro-SP, escala 1:10000*. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, Engenharia Civil - Geotecnia, São Carlos-SP.

FIPAI (Fundação Para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial). 1996. Relatório técnico do Projeto de Gestão da Quantidade de Águas Subterrâneas. Ribeirão Preto, SP, 43 p.

FUNDAG – 2019 – Projeto desenvolvimento sustentável do sistema Guarani – área piloto Ribeirão Preto. Relatório Técnico apresentado ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – CBH-Pardo, 86 p.

GEOWATER – Assessoria, Projetos e Comércio Ltda. – EPP. Relatório Final sobre Piezometria e Qualidade da Água. Projeto Pardo 175 "Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani Área Piloto de Ribeirão Preto". Contrato Secofehidro 348/2010, Fundação de

-
- Apoio à Pesquisa Agrícola – FUNDAG - 819, Carta Contrato nº 37. 131 p e 1 anexo, Araraquara. 2017.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo (1:500.000). São Paulo. PT, 2 V.
- MASSOLI, M. Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, no Município de Ribeirão Preto (SP) e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente) – UNESP – Rio Claro, SP, 2007.
- M. M. DOS SANTOS, C. E. ALENCASTRE, M. R. CAETANO-CHANG, C. H. KIANG, D. GASTMANS, and R. CRIVELANTI. Uso atual do sistema aquífero guarani na bacia hidrográfica do rio pardo (UGRHI 04) (SP). Águas Subterrâneas, 2008.
- Massoli, M. (2019). Altos e baixos estruturais do Grupo São Bento na região entre Ribeirão Preto e Sertãozinho, nordeste do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 40, 1-15. doi:DOI 10.33958/revig.v40i2.644
- Milani, Edison & Melo, José & Souza, Paulo & Fernandes, Luiz & FRANÇA, A.. (2007). Bacia do Paraná. Boletim de Geociencias - Petrobras. 15. 265-287.
- M. PULIDO-VELAZQUEZ, G. F. MARQUES, J. J. HAROU, and J. R. LUND. Hydroeconomic models as decision support tools for conjunctive management of surface and groundwater. *Integrated groundwater management*, pages 693–710, 2016.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Aquífero Guarani: Programa Estratégico de Ação - Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável de Sistema Aquífero Guarani. Brasília: 2009. p. 426.
- MONTENEGRO, A.A.A.; Righetto, A.M.; Sinelli, O. 1988. Modelação do Manancial Subterrâneo de Ribeirão Preto. 1. Descrição do domínio. In: V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, SP. Anais. ABAS, São Paulo, 32-41.

-
- MONTEIRO, R.C. Estimativa Espaço-Temporal da Superfície Potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na Cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente) – UNESP – Rio Claro, SP, 2003.
- Paula e Silva, F., Chang, M. C., Chang, K. H., & Sinelli, O. (2008). Arcabouço geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, 56-67.
- PERRONI, Julio, et all. Critérios para Gerenciamento da Exploração do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto – SP, Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil. e-ISSN 2179-9784 (eletrônico)
- SÃO PAULO; SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: Diretrizes de Utilização e Proteção. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013. p. 44.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA/SP). Projeto: Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Área de Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. São Paulo: 2004. p.81.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA/SP). 2008. Memória/II Congresso Aquífero Guarani, 4 a 7 de novembro de 2008. Ribeirão Preto, SP, 207 pg.
- SILVA, R. B. G., 1983. Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SILVA, F. P., CHANG, H. K., CHANG, M. C., & SINELLI, O. (2008). Arcabouço Geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, 56-67.

SINELLI, O. (coord.) 1973. Mapa geológico do nordeste do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000 - Folhas de Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos e Bonfim Paulista. Convênio CNEC/FFCL-Ribeirão Preto-USP.

SINELLI, O. 1984. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos no município de Ribeirão Preto, SP. Anais 3o. Cong. Bras. Ag. Subt., ABAS, Fortaleza: 450 – 464.

SINELLI, O. 1987. Estudos hidrogeológicos da bacia hidrográfica do Rio Pardo (SP), publicado na Revista Águas Subterrâneas, pg. 5 – 25.

SINELLI, O.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, R.; SARDINHA, D. S. & SOUZA, A. D. G. - 2009 – Hidrogeoquímica do Aquífero Guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP). Geociências, UNESP, v 28, nº 1, p. 65 – 77.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SigRH). Deliberação 229 de 02 de dezembro de 2016 - Retifica e Ratifica a Deliberação 201, de 01 de agosto de 2014, que Retirifica Critérios Técnicos para a Autorização de Perfuração de Poços Tubulares Profundos no Município de Ribeirão Preto. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//CBH-PARDO/11966/229-retifica-e-ratifica_del_201_restricao_perfuracao_de_pocos_nov_2016.pdf>. Acesso em: 02 Ago. 2017.

STURARO, J.R. & LANDIM, P.M.B. 1988. Estudo do nível piezométrico por análise geoestatística. Geociências, São Paulo, 7:201-210.

SUNDELL, J., NORBERG, T., HAAF, E., & ROSÉN, L. (2019). Economic valuation of hydrogeological information when managing groundwater drawdown. *Hydrogeological Journal*, 1111-1130. Fonte: <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1906-z>

VILLAR, P. C. A Busca pela Governança dos Aquíferos Transfronteiriços e o Caso do Aquífero Guarani. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – USP – São Paulo, SP, 2012.

VILLAR, P. C. Gestão das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani: o Caso do Município de Ribeirão Preto, São Paulo. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – USP – São Paulo, SP, 2008.

Wahnfried, I. (2010). *Modelo conceitual de fluxo do Aquitarde Serra Geral e do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto, SP*. São Paulo: Tese (Doutorado) : IGc/USP.