

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
CURSO DE ENGENHARIA HÍDRICA

NATÁLIA DE OLIVEIRA PULCINELLI

**PLANEJAMENTO PARA FONTES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA COM
VISTAS A FORNECER ROBUSTEZ E SEGURANÇA HÍDRICA AO
MUNICÍPIO DE IVOTI**

Porto Alegre, RS – Brasil
2021

NATÁLIA DE OLIVEIRA PULCINELLI

PLANEJAMENTO PARA FONTES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA COM
VISTAS A FORNECER ROBUSTEZ E SEGURANÇA HÍDRICA AO
MUNICÍPIO DE IVOTI

Monografia apresentada ao Instituto de Pesquisas
Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador: Guilherme Marques

Coorientador: Pedro Reginato

Porto Alegre, RS – Brasil

2021

NATÁLIA DE OLIVEIRA PULCINELLI

**PLANEJAMENTO PARA FONTES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA
COM VISTAS A FORNECER ROBUSTEZ E SEGURANÇA
HÍDRICA AO MUNICÍPIO DE IVOTI**

Monografia apresentada ao Instituto de Pesquisas
Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Hídrica.

Aprovada em: Porto Alegre, ____ de _____ de 2021.

Prof. Guilherme Marques – IPH/UFRGS

Orientador

Prof. Pedro Reginato – IPH/UFRGS

Coorientador

Prof. Alfonso Risso – IPH/UFRGS

Examinador

Prof. Fernando Dornelles – IPH/UFRGS

Examinador

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo ao meu orientador, professor Guilherme Marques, pelo engajamento com o trabalho que exerce através da docência. Agradecer pelo entusiasmo demonstrado com o processo de criação do meu estudo, e pela confiança em mim depositada, de forma a me permitir chegar mais longe do que jamais chegaria se assim não fosse.

Da mesma forma, agradecer ao meu coorientador, professor Pedro Reginato, por ter aceito o convite de me coorientar, trazendo contribuições fundamentais para o desenvolvimento e estruturação do trabalho, sempre de forma clara e objetiva.

Ainda, agradecer ao criador do método utilizado nesse trabalho, Caetano Fraga, por toda a gentileza que teve para comigo ao longo de meses, realizando ajustes no programa para melhor adequá-lo a realidade do meu estudo, assim como por toda sua disponibilidade em participar de reuniões e sempre me auxiliar na apredizagem do método.

Sem a contribuição dessas pessoas, meu trabalho não poderia ter sido realizado.

Ademais, gostaria de agradecer imensamente a meus pais, Tânia e Aurélio. Eu tenho nessas duas pessoas os dois principais exemplos de vida, o porto seguro para onde eu sei que posso sempre retornar. Por isso, e por tanto mais, tenho a sincera convicção da sorte que tenho, sentimento que me gera profunda gratidão.

Também, agradecer ao meu irmão, André, meu parceiro de vida. Obrigada por todos os momentos em que fostes o equilíbrio na minha vida.

Agradecer aos meus amigos por toda a compreensão diante das ocasiões em que tive de me ausentar, por toda a torcida que sempre manifestaram frente as dificuldades que me observaram passar, assim como pela alegria compartilhada nos momentos de minhas conquistas. Vocês dão muitos sentidos incríveis para a minha vida.

Por fim, gostaria de agradecer a presença do meu companheiro de vida, Lucas Alves, em todos os meus dias. Eu me sinto imensamente grata pelo apoio que me oferece, por fazer questão de me mostrar a imagem que tem de mim, assim pude perceber que a enorme admiração que tenho por ele é recíproca. Junto com a nossa pequena peludinha, Maia, formam a minha familinha, pela qual cultivo imenso amor. Agradecer a pequena Maia, que foi minha principal companhia em cada página escrita deste trabalho.

Acredito que a grande riqueza da vida é o cultivar das relações e por isso não posso me sentir mais grata: colho todos os dias os frutos de plantar sementes fortes.

RESUMO

A expansão da produção de água é um fator sócio-ambiental que tem sido exigido dos sistemas de abastecimento de água já estabelecidos em cidades consolidadas, as quais têm suas taxas de crescimento populacional ascendentes. Essa exigência se dá em função da escassez hídrica e/ou pela demanda crescente dos usos de água. Realizar uma efetiva gestão dos recursos hídricos em prol do abastecimento de água e da exploração sustentável dos mananciais muitas vezes se torna um desafio, uma vez que as condições de operação e expansão dos sistemas de abastecimento são inúmeras. Como exemplo, pode-se tomar o município de Ivoti, objeto do estudo de caso do presente trabalho, que abastece a sua população – que apresenta índices ascendentes de crescimento – através de sua única fonte de produção de água, seu aquífero, a partir da prática de superexploração, isso é, retira uma quantidade de água superior a oferecida pelo manancial de forma sustentável. Diante de tal problemática, este estudo estrutura 4 objetivos que contemplam a realização da análise do sistema de abastecimento de água do município e de possíveis ações de solução, os quais são: definir a quantidade de água a ser produzida nos próximos 20 anos a partir do sistema atual; definir o déficit hídrico que será ocasionado se caso a produção de água obedecer a vazão sustentável do aquífero; verificar se a diminuição dos índices de perdas do sistema, que apresentam-se em torno de 50%, supre o déficit e, por fim, analisar a implementação de uma nova fonte produtora de água, de modo a operar concomitantemente ao sistema atual de abastecimento. A metodologia utilizada é um programa computacional que combina modelos de programação dinâmica, otimização e de cálculo de balanço hídrico, com a função de retonar como resultado um planejamento de 20 anos futuros para o sistema de abastecimento, em que identifica quando tomar decisões e quanto deve ser realizado, apresentando os índices de demanda e de perda de água pelo sistema, expansão da(s) fonte(s) produtora(s) de água e custos associados. Os principais resultados a que se foram chegados são: a demanda por água em 2040 será de 3.725.000,00 m³/ano, o custo de operacional acumulado será de R\$ 3.693.843,00 e o custo acumulado de expansão do sistema de R\$ 4.026.532,75; ao explorar somente a vazão sustentável do aquífero o déficit de água acumulado ao final dos 20 anos simulados será de 26.606.540,23 m³, quando 54,10% da população estará desabastecida; diminuindo as perdas do sistema a índices muito baixos, praticamente impossíveis de serem executados, ainda faltaria água, cerca de 354.985,52 m³ acumulados ao longo dos 20 anos considerados; a implementação de uma nova fonte de produção de água se mostrou uma ótima alternativa para atingir os propósitos de respeitar a condição natural do aquífero e atender a demanda da população por água, mesmo na eventualidade das mudanças climáticas reduzirem a disponibilidade de água nos mananciais.

Os custos associados relativos aos custos operacionais do novo sistema apresentaram-se inferiores aos custos operacionais do sistema atual de abastecimento de água do município. Conclui-se que, primeiro, deve-se tomar uma decisão quanto a frear a superexploração do aquífero de Ivoti, assim como manter o atendimento de água para a população. Quanto ao mais, investimentos em redução de perda devem ser realizados, no intento de diminuir o desperdício de água e de capital financeiro do órgão gestor do sistema de abastecimento de água de Ivoti, assim como devem ser aprofundados os estudos de incorporação de uma nova fonte de produção de água ao sistema atual de abastecimento, de modo a operarem em concomitância.

Palavras-chave: gestão hídrica, sistema de abastecimento de água, planejamento, fontes de produção de água, alocação de água, disponibilidade hídrica, segurança hídrica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 3.1. Distribuição da água no solo.</i>	24
<i>Figura 3.2. Diferentes zonas de umidade no solo e subsolo.</i>	25
<i>Figura 3.3. Diferentes tipologias de aquíferos.</i>	26
<i>Figura 3.4. Classificação dos tipos de aquíferos, quanto a porosidade.</i>	27
<i>Figura 3.5. Mapa de aquíferos aflorantes no Brasil.</i>	28
<i>Figura 3.6. Interação entre água superficial e subterrânea.</i>	29
<i>Figura 3.7. Mapa das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil.</i>	32
<i>Figura 3.8. Representação esquemática da localização do aquífero Guarani na América do Sul.</i>	34
<i>Figura 3.9. Efeitos da urbanização sobre os recursos hídricos.</i>	41
<i>Figura 3.10. Média anual de água retirada no Brasil.</i>	58
<i>Figura 3.11. Média anual de água consumida no Brasil.</i>	59
<i>Figura 3.12. Demanda de água por finalidade no Brasil.</i>	60
<i>Figura 3.13. Avaliação da oferta e da demanda por água nas localidades brasileiras.</i>	61
<i>Figura 3.14. Definições acerca do assunto de perdas de água – Balanço hídrico da IWA.</i>	63
<i>Figura 3.15. Perdas de água na distribuição dos sistemas de abastecimento, para diferentes regiões do Brasil.</i>	64
<i>Figura 3.16. Estimativa do potencial de reuso no curto e médio prazo.</i>	68
<i>Figura 4.1. Localização do município de Ivoti.</i>	78
<i>Figura 4.2. Bacia hidrográfica do rio Caí.</i>	80
<i>Figura 4.3. Bacia hidrográfica do rio dos Sinos.</i>	81
<i>Figura 4.4. Altimetria do município de Ivoti.</i>	82
<i>Figura 4.5. Geomorfologia do município de Ivoti.</i>	82
<i>Figura 4.6. Precipitações médias para o município de Ivoti.</i>	84
<i>Figura 4.7. Insolação média do município de Ivoti.</i>	84
<i>Figura 4.8. Umidade relativa do ar média do município de Ivoti.</i>	85
<i>Figura 4.9. Evaporação média mensal do município de Ivoti.</i>	85
<i>Figura 4.10. Hidrogeologia do município de Ivoti.</i>	88
<i>Figura 4.11. Sistema abastecimento de água do município de Ivoti.</i>	90
<i>Figura 4.12. Localização dos poços de abastecimento público que compõem o sistema de abastecimento público do município de Ivoti, 2018.</i>	92
<i>Figura 5.1. Diagrama com as operações possível de alocação.</i>	98
<i>Figura 6.1. Desenvolvimento populacional do município de Ivoti.</i>	102
<i>Figura 6.2. Curva representante do custo operacional do sistema de abastecimento de água de Ivoti.</i>	110
<i>Figura 6.4. Gráfico dos custos de expansão do sistema de abastecimento de água e ajuste de uma função linear.</i>	114
<i>Figura 6.5. Gráfico da função de custo de redução de perdas para uma variação de índices que variam de 50 a 30%.</i>	116
<i>Figura 6.6. Gráfico da função de custo de redução de perdas para uma variação de índices que variam de 30% a 0%.</i>	116
<i>Figura 7.1. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S0.</i>	122
<i>Figura 7.2. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S1.</i>	127
<i>Figura 7.3. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S1R.</i>	132
<i>Figura 7.4. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S2.</i>	136
<i>Figura 7.5. Sub-bacia de contribuição do ponto de exploração de água superficial do rio dos Sinos e demais informações.</i>	140
<i>Figura 7.6. Localização da estação pluviométrica 2951081, a qual foi utilizada para determinar a chuva média incidente sobre o município de Ivoti.</i>	142
<i>Figura 7.7. Ilustração da curva de custo operacional variável da fonte superficial produtora de água.</i>	148
<i>Figura 7.8. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3a.</i>	151
<i>Figura 7.9. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3b.</i>	156
<i>Figura 7.10. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3c.</i>	161
<i>Figura 7.11. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3d.</i>	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do município.	83
Tabela 4.2. Variação da precipitação média anual para a bacia do rio Caí.	86
Tabela 4.3. Variação da vazão Q90, em m ³ /s, para o exutório bacia do rio dos Sinos.	86
Tabela 4.4. Vazão sustentável de exploração do aquífero fonte produtora de água para o sistema de abastecimento público do município de Ivoti.	90
Tabela 6.1. Desenvolvimento populacional das áreas urbana e rural do município de Ivoti.	103
Tabela 6.2. Demanda per capita do município de Ivoti, dos últimos 5 anos.	103
Tabela 6.3. Índice de perdas de água pelo sistema de abastecimento público do município de Ivoti.	104
Tabela 6.4. Produção de água pelo sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela CORSAN.	106
Tabela 6.5. Produção de água pelo sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti.	106
Tabela 6.6. Custo de energia em relação ao funcionamento dos poços do sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela CORSAN.	107
Tabela 6.7. Gasto de energia anual e respectivos gastos associados, do sistema de abastecimento de água de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti.	107
Tabela 6.8. Custos atrelados ao tratamento da água explorada pelo sistema público de abastecimento de Ivoti.	108
Tabela 6.9. Aproximação da variação dos custos de tratamento da água, produzida pelo sistema de abastecimento, ao ano, tendo como referência os custos em energia elétrica.	108
Tabela 6.10. Descrição dos custos considerados para a elaboração da curva de custo operacional do sistema de abastecimento de água de Ivoti.	109
Tabela 6.11. Produção de água e folha de pagamento dos anos de 2018, 2019 e 2020.	111
Tabela 6.12. Custos atribuídos ao aumento da capacidade do sistema de abastecimento de água de Ivoti.	113
Tabela 7.1. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário So.	119
Tabela 7.2. Resultados referentes ao cenário de simulação S0.	121
Tabela 7.3. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S1.	124
Tabela 7.4. Resultados referentes ao cenário de simulação S1.	126
Tabela 7.5. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S1R.	129
Tabela 7.6. Resultados referentes ao cenário de simulação S1R.	131
Tabela 7.7. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S2.	134
Tabela 7.8. Resultados referentes ao cenário de simulação S2.	135
Tabela 7.9. Informações da disponibilidade de água do rio dos Sinos para o ponto em que ocorre o bombeamento de água para alimentar a fonte SX2.	139
Tabela 7.10. Chuva média ocorrente no município de Ivoti.	142
Tabela 7.11. Volumes considerados para o dimensionamento do novo reservatório e o custo do mesmo.	144
Tabela 7.12. Resultado da perda de carga distribuída da adutora que leva a água da ETA até Ivoti.	145
Tabela 7.13. Altura manométrica entre o sistema de abastecimento de água de Ivoti e a ETA de Campo Bom.	145
Tabela 7.14. Cálculo da potência da bomba que elevará a água da ETA, em Campo Bom, para Ivoti.	146
Tabela 7.15. Energia gasta anualmente para aduzir água da ETA, em Campo Bom, para Ivoti.	146
Tabela 7.16. Custo em energia elétrica do último ano da simulação, para levar a vazão necessária, a cumprir a demanda, da ETA em Campo Bom até Ivoti.	147
Tabela 7.17. Informações a partir das quais a curva de custo operacional variável da fonte superficial produtora de água foi gerada.	147
Tabela 7.18. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3a.	149
Tabela 7.19. Resultados referentes ao cenário de simulação S3a.	150
Tabela 7.20. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3b.	153
Tabela 7.21. Resultados referentes ao cenário de simulação S3b.	155
Tabela 7.22. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3c.	158
Tabela 7.23. Resultados referentes ao cenário de simulação S3c.	160
Tabela 7.24. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3d.	163
Tabela 7.25. Resultados referentes ao cenário de simulação S3d.	165
Tabela 8.1. Valores acumulados, respectivos aos 20 anos simulados, de produção de água e custos associados de cada cenário.	174

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional Vigilância Sanitária
APA	Área de Proteção Ambiental
AR4	Fourth Assessment Report
AR5	Fifth Assessment Report
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
COP	Conference Of The Parties
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Clima
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
CTAS	Câmara Técnica de Águas Subterrâneas
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCE	Depressão Central Gaúcha
DM	Decision Maker
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAO	Food and Agricultural Organization of United Nations
FAR	First Assessment Report
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GEE	Gases de Efeito Estufa
GMBS	Grupo Moto-Bomba Submersa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	International Panel On Climate Change
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
MA	Análise Multicriterial
MCDA	Multiple Criteria Decisioidid
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MDT	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OD	Oxigênio Dissolvido
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Pruduto Interno Bruto
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Policloreto de vinil

RGE	Rio Grande Energia
SAR	Second Assessment Report
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIOUT	Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SRU	Secretaria Executiva
TAR	Third Assessment Report
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UTS	Unidade de Tratamento Simplificada
WRI	World Resources Institute

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1. Gestão ambiental	20
3.2. Recursos hídricos	21
3.3. Aquíferos	22
3.3.1. Caracterização de aquíferos	23
3.3.2. Recarga	28
3.3.3. Reservas	29
3.3.4. Principais funções dos aquíferos	30
3.3.5. Sistemas aquíferos do Brasil	31
3.4. Águas subterrâneas	35
3.4.1. Superexploração	36
3.5. Gestão dos recursos hídricos	39
3.5.1. Métodos de gestão dos recursos hídricos	40
3.5.2. Normativas dos recursos hídricos	44
3.5.3. Indicadores da gestão de recursos hídricos	45
3.6. Gestão das águas subterrâneas	47
3.7. Estratégias de Proteção e Conservação das Águas Subterrâneas	48
3.8. Escassez na disponibilidade de águas urbanas	50
3.9. Disponibilidade dos recursos hídricos no contexto atual	50
3.9.1. Tendências climáticas	52
3.10. Resiliência, confiabilidade e robustez aplicadas a sistemas de abastecimento de água	53
3.11. Segurança hídrica	55
3.12. Os sistemas brasileiros de abastecimento de água	57
3.12.1. Sistema de abastecimento público de água	57
3.12.2. Demanda por água	58
3.12.3. Perdas de água nos sistemas de abastecimento	62
3.12.4. Carências dos sistemas de abastecimentos de água	64
3.12.5. Soluções aplicadas às crises hídricas	65
3.12.5.1. Transposição de bacias	65
3.12.5.2. Reservatórios artificiais	65
3.12.5.3. Reúso da água	67
3.12.5.4. Bombeamento de água subterrânea	70
3.12.6. Cidades que apresentaram insuficiência de água em seus sistemas subterrâneos para cumprimento da demanda	71
3.12.6.1. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil	71
3.12.6.1.1. Grande Recife, Pernambuco	72
3.12.6.1.2. Microbacia III do Rio Salgado, Ceará	74
3.12.6.1.3. Boa Esperança, Espírito Santo	76
4. ÁREA DE ESTUDO	78
4.1. Localização	78
4.2. História	78
4.3. Meio sócio-econômico	79
4.4. Bacia hidrográfica	79
4.5. Relevo	81
4.5.1. Geomorfologia	82
4.6. Clima	83
4.6.1. Precipitação	84
4.6.2. Insolação	84
4.6.3. Umidade relativa do ar	85
4.6.4. Evaporação	85
4.6.5. Tendências climáticas	85

4.7. Hidrogeologia	86
4.8. Disponibilidade de água do sistema aquífero explotado	88
4.9. Sistema de abastecimento de água	90
4.9.1. Poços tubulares	91
4.9.2. Tratamento de água	92
4.9.3. Estações de bombeamento	93
4.9.4. Reservação de água	93
4.9.5. Rede de distribuição	93
4.9.6. Perdas de água	93
5. METODOLOGIA	95
5.1. O modelo	95
5.2. Programação dinâmica	96
5.3. Modelo de otimização quadrática	97
5.4. Multiplicadores de Lagrange	99
5.5. Dados de entrada	100
6. O ESTUDO DE CASO – Aplicação dos dados	102
6.1. População	102
6.2. Demanda por água	103
6.3. Índice de perdas	104
6.4. Capacidade máxima do sistema público de abastecimento de água	104
6.5. Custo operacional variável	105
6.5.1. Produção de água	106
6.5.2. Energia elétrica	106
6.5.3. Produtos químicos	107
6.5.4. Curva de custo operacional variável	109
6.6. Custos fixos	111
6.7. Custos de expansão	112
6.8. Custo redução de perdas	114
7. CENÁRIOS E RESULTADOS	118
7.1. S0 – Validação do programa	118
7.1.1. Resultados	120
7.2. S1 – Cenário inercial	124
7.2.1. Resultados	125
7.3. S1R – Cenário restritivo	128
7.3.1. Resultados	130
7.4. S2 – Cenário restritivo com diminuição de perdas	133
7.5.1. Resultados	134
7.5. S3 – Cenário com 2 fontes produtoras de água	138
7.6.1. Caracterização da nova fonte produtora de água	138
7.6.1.1. Disponibilidade de água e demandas existentes	138
7.6.1.1.1. Variações climáticas	140
7.6.1.2. Características do sistema	143
7.6.1.3. Custos iniciais	143
7.6.1.4. Curva de custo operacional variável	144
7.6.2. S3a - S1R + SX2	148
7.6.2.1. Resultados	149
7.6.3. S3b – S2 + SX2	153
7.6.3.1. Resultados	154
7.6.4. S3c – S3a + variações climáticas	158
7.6.4.1. Resultados	159
7.6.5. S3d – S3b + variações climáticas	163
7.6.5.1. Resultados	164
8. DISCUSSÕES	169
9. CONCLUSÃO	175

10. RECOMENDAÇÕES _____ **177**

11. REFERÊNCIAS _____ **178**

1. INTRODUÇÃO

Juntamente com o desenvolvimento das cidades, diferentes formas de explorar os recursos hídricos disponíveis nos ecossistemas se configuraram, práticas essas que, ao decorrer do tempo, incentivaram a criação de um sistema organizacional, que, idealmente, compreendesse a demanda local, concomitante a disponibilidade real dos mananciais, visando à integração entre usuário e meio ambiente de forma sustentável.

Aplicações que compreendem perspectivas de longo prazo acerca do aproveitamento dos recursos hídricos, o equilíbrio entre alternativas de expansão de capacidade e gestão da demanda, bem como iniciativas voltadas ao controle de poluição na fonte, constituem elementos de uma visão recente de gestão, chamada de gestão integrada (SILVA e PORTO, 2003), a qual possui como principal fundamento o uso sustentável dos recursos, e para tanto, oferece uma abordagem multissetorial e emprega medidas não estruturais (MUÑOS, 2000).

Atualmente, encontram-se em diversas partes do Brasil cenários que apresentam falta de disponibilidade de água para abastecimento, podendo-se citar como exemplos a cidade de São Paulo (CÔRTEZ, TORRENTE, PINTO, RUIZ, DIAS e RODRIGUES, 2015), a região nordeste, bem como a sudeste do Brasil, locais que primam pela elaboração de um planejamento de longo prazo, que estime as influências das decisões tomadas no presente em um futuro incerto e pondere como esse reagirá às diferentes considerações. Para tanto, os cenários integrados se fazem importantes ferramentas para a realização de simulações que abarquem grande quantidade de conhecimento quantitativo e qualitativo, transmitindo seus resultados através de uma análise global. Etapas como identificação do problema (falta de investimento, infraestrutura e disponibilidade hídrica) e das condições do local (variabilidade hídrica, condições edáficas e hidrogeológicas, aumento da população e da demanda por água, meio ambiente, situação social e econômica) são fundamentais para solucionar a problemática de disponibilidade hídrica (DÖLL, MENDIONDO e FUHR, 2015).

Com a falta da devida atenção por parte dos políticos e tomadores de decisão dos sistemas de abastecimento de água a serem estudados, construídos e/ou reformulados a partir da oferta de possibilidades dos sistemas hídricos naturais e do uso múltiplo, por vezes excessivo, de água para atividades humanas, propicia-se uma realidade imprópria aos usuários através do desenvolvimento de impactos e vulnerabilidade ecossistêmica. Fatores como a proliferação de doenças e a falta de disponibilidade hídrica podem ser salientados dentre a deterioração dos

recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, uma vez que por meio desses a situação econômica, social e ambiental regional poder-se-á modificar negativamente (TUNDISI, 2006).

Com o intuito de permear os serviços de água, como suprimento de alimentos, transporte, recreação, regulação de ciclos e reserva de fontes de água para abastecimento humano, bem como os efeitos de seus impactos na economia, na saúde pública, na qualidade de vida humana e na biodiversidade, considerandos-os na composição de um cenário ideal, a integração entre pesquisa e gerenciamento melhoram a gestão e otimizam os usos múltiplos (FREDERICK, 1993).

Para tanto, analisar a totalidade da bacia hidrográfica, circunscrita a região de interesse, é a forma mais apropriada de realizar a integração das atividades multi e interdisciplinares, por se comportar como uma unidade física (NAKAMURA e NAKAJIMA, 2002; TUNDISI, 2003), agregadora de todos os processos biogeofísicos, econômicos e sociais. A bacia hidrográfica permite não somente a união da pesquisa com o gerenciamento, mas também a integração institucional que configura a governança dentro da gestão, a qual oferece aos usuários, ao poder público e a iniciativa privada a possibilidade de, em conjunto, obterem segurança em relação à disponibilidade e a vulnerabilidade dos recursos naturais, assim como aprofundar e melhorar a sustentabilidade da oferta e da demanda (TUNDISI, 2008).

2. OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa se dividem entre o objetivo principal, que busca demonstrar o resultado que o trabalho se propõe a obter e os objetivos secundários, os quais descrevem as intenções quanto a cada etapa que o trabalho percorrerá e que o possibilitarão alcançar a conclusão. Ambos são descritos a seguir.

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo que aqui se expõe consiste em fornecer ao município de Ivoti uma análise do seu sistema público de abastecimento de água, de modo a dar luz a informações relevantes que bem orientem um planejamento futuro, assim como a análise quanto a uma sugestão de uma nova fonte produtora de água, que integre o sistema produtor de água existente no município, a fim de conferir robustez ao sistema de abastecimento de água e segurança hídrica para a população, bem como garantir a sustentabilidade local.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a situação de superexploração em que o sistema de abastecimento de água de Ivoti está inserido;
- Verificar o montante de água que será demandada ao longo dos próximos anos em função do aumento da taxa de crescimento populacional, logo, aumento da demanda por água;
- Verificar a quantidade faltante de água para os próximos 20 anos caso se altere o regime de superexploração do aquífero, a partir do sistema de poços tubulares, para uma exploração sustentável do manancial subterrâneo, em que a vazão bombeada respeite a vazão de projeto determinada para o funcionamento do sistema de abastecimento;
- Avaliar o desenvolvimento, assim como o desempenho da diminuição dos índices de perda do sistema de abastecimento de água frente a demanda crescente do município de Ivoti, para os próximos 20 anos, e custos associados;
- Indicar uma alternativa de fonte de produção de água, a atuar conjuntamente a fonte já estabelecida em Ivoti, bem como analisar a sua trajetória de desenvolvimento e determinação dos custos correlacionados com essa intercorrência;

- Avaliar a interferência das variações climáticas previstas para os próximos 20 anos a partir da pior situação hídrica prevista, ou seja, da consideração dos maiores índices de redução da disponibilidade de água dos mananciais hídricos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os aspectos e definições a serem abordadas pelo trabalho, visando elucidar a fundamentação teórica a partir de uma revisão da literatura acadêmica disponível e das informações referentes ao estudo de caso.

3.1. Gestão ambiental

De maneira geral, a gestão possui como princípio básico a intenção de conciliar recursos escassos com necessidades abundantes. Segundo Tolba (1982), a gestão ambiental refere-se ao gerenciamento de todas as atividades antrópicas que possam produzir impactos significativos ao meio ambiente. Tem como objetivo premente a realização das necessidades humanas, levando-se em consideração as restrições e o potencial dos sistemas ambientais, traçando como meta principal a qualidade ambiental.

A gestão pode ser interpretada como um conjunto de métodos que se destinam a captar e sistematizar informações a fim de ponderar processos que são capazes de induzir modificações dinâmicas ao funcionamento de ecossistemas, avaliando as consequências das alternativas determinadas que forem ser implementadas conforme as metas estabelecidas, consciente dos conflitos de valores e de interesses gerados entre os segmentos sociais envolvidos. Cita-se como um dos principais instrumentos de gestão o planejamento, o qual é explicado como sendo um conjunto de práticas que busca definir diretrizes para o uso e ocupação de determinado recurso e/ou espaço.

Para Souza (1993), a gestão ambiental pode ser vista como o grupo de procedimentos que visam a conciliação entre o desenvolvimento e a qualidade ambiental, baseando-se em necessidades discernidas pela sociedade civil ou pelo Estado. Para o autor, a gestão ambiental é determinada na legislação, na política e na participação da sociedade, sendo essas as principais ferramentas de ação.

Moraes (1994) segue na mesma linha de pensamento, quando determina a gestão ambiental como um instrumento para objetivar a política nacional de meio ambiente, através de ações públicas, exercidas por um conjunto de agentes que pertencem à estrutura política. Defende o autor, a premência de um modelo institucional descentralizado para o melhor funcionamento da gestão ambiental e salienta que só assim poder-se-ia obter uma sólida interface com a sociedade e seus respectivos governos, fator básico que atuaria como fornecedor de êxitos para qualquer proposta de gestão ambiental.

A respeito das diretrizes e práticas da gestão ambiental, ainda se está longe da demonstração de resultados consideráveis devido a não total inserção das questões ambientais nas práticas de elaboração e produção do espaço perante a própria sociedade, tanto quanto ao Estado. Para tanto, áreas- piloto de gestão, como o gerenciamento de bacias hidrográficas, podem contribuir para a implementação de estratégias que compatibilizem viabilidade econômica quanto às medidas estruturais, equidade social, autonomia política e sustentabilidade, uma vez que bacias hidrográficas comportam-se como sistemas fechados, facilitando o planejamento para um determinado local (VIEIRA, 1995).

Segundo alguns especialistas, as crises por água são geradas devido à crises de gerenciamento e não propriamente por estresse e escassez de água (ROGERS et al., 2006). Para outros, as crises por água são o resultado de problemas ambientais associados a problemas de desenvolvimento social e de cunho econômico (GLEICKE, 2000). Já, para Somlyody & Varis (2006), as crises decorrem de reais problemas resultantes da pouca disponibilidade de água atrelada ao aumento da demanda concomitantemente a uma gestão ainda setorial, que não implementa diretrizes preditivas e que não possui uma abordagem sistêmica.

Então, a partir das premissas citadas, pode-se destacar a necessidade da gestão dos recursos hídricos ser realizada de forma integrada, sistêmica e preditiva (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Como parte fundamental da gestão ambiental encontra-se a gestão dos recursos hídricos, a qual tem a intenção de, através de um planejamento do uso da água, atender demandas atuais e futuras, levando-se em consideração a disponibilidade restrita do recurso. Para Setti (1996), a gestão dos recursos hídricos é:

“a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer uso adequado, visando a otimização dos recursos [e] portanto, realiza-se mediante procedimentos integrados de planejamento e administração” (p.57).

3.2. Recursos hídricos

Em uma visão global, a água cobre mais de dois terços da superfície terrestre, apresentando-se majoritariamente como mares e oceanos. Uma pequena parte dessa quantia de água, cerca de 2,7%, conforme dados levantados pela UNESCO, se enquadra como água doce, representando 38 milhões de km³, a qual divide-se entre geleiras, icebergs, calotas polares

(77,2%), rios, lagos e pântanos (0,36%), aquíferos e lençóis subterrâneos (22,4%) e atmosfera (0,04%), totalizando a disponibilidade hídrica do planeta Terra.

A noção de recursos hídricos tem sido aplicada restritivamente às águas doces, em virtude de somente essas serem utilizáveis para a maior parte das necessidades humanas, uma vez que dificuldades técnicas e custos financeiros elevados inviabilizam a dessalinização em grande escala.

Movida pela ação da energia solar, a água cumpre um ciclo, chamado de ciclo hidrológico, em que evapora dos oceanos, lagos e rios, precipita na forma de chuva, neve e gelo, corre pela superfície, infiltra no solo, escoar pelos cursos d'água superficiais e aquíferos e retorna aos mares. É graças a esses processos físicos que o recurso natural é constantemente renovado e isso beneficia a todos os seres vivos do planeta, uma vez que a partir desse ciclo permanente a água salgada se transforma em água doce e as águas poluídas auto depuram-se. Contudo, esse ciclo é imperfeito aos olhos da humanidade, em função da distribuição espacial das chuvas se darem de forma desigual na superfície do globo e da temporalidade dos processos em curso não acompanharem o ritmo das atividades sociais e econômicas, uma vez que a água se desloca com velocidades muito baixas. Um exemplo característico é a recarga dos aquíferos, onde a água pode demorar anos para percorrer alguns metros (COUTINHO, 1999).

3.3. Aquíferos

Aquíferos, do latim: aqua = água + feros = levar, é definido como toda e qualquer formação geológica em que a água pode ser armazenada abaixo da superfície do solo, de maneira a preencher os espaços vazios entre as rochas e/ou grãos, e que possua permeabilidade suficiente para permitir que a mesma se movimente. Portanto, para ser um aquífero, uma rocha ou sedimento tem que ter porosidade suficiente para armazenar água e os respectivos poros ou espaços vazios tenham dimensões suficientes para possibilitar que a água flua de um lugar a outro, por meio da ação de um diferencial de pressão hidrostática (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2020).

Outras formações geológicas relacionadas aos aquíferos são os aquíferos, do latim: aqui = água + tardare = retardar, que se define por uma formação semipermeável, delimitada no topo e/ou na base por camadas de permeabilidade muito alta, funcionando como uma membrana semipermeável, através da qual pode ocorrer uma filtração vertical ou drenança, quando uma das camadas que limita o aquífero pode perder ou receber água.

Geralmente, os aquíferos são formados por sequências alternadas de siltes/siltitos ou por misturas em proporções variadas de argilas, siltes/siltitos e arenitos finos. Devido a menor granulometria apresentada pelas famílias dos siltes e argilas quando comparados às areias, os

interstícios - pequenos espaços e dimensões presentes entre os grãos e as partículas de solo - podem ser preenchidos, diminuindo a porosidade do solo em questão. Assim, os volumes de água subterrânea estocada nessas camadas são menores e seus fluxos mais lentos ou tardios. Entretanto, os locais em que se fazem presentes camadas arenosas se comportam como aquíferos relativamente promissores, podendo proporcionar vazões suficientes para abastecimento (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2020).

Ainda, outra formação existente são os aquícludes, do latim: aqui = água + claudere = aprisionar, onde a possibilidade de se encontrar água é grande, mas a capacidade de transmiti-la em condições naturais é inexistente. A água subterrânea, presente no interior dessa formação, está sob condição de aprisionamento devido à formação de solo ser composta por rochas sedimentares submetidas a intensos processos de compactação/cimentação e/ou presença de solo predominantemente argiloso. Sua porosidade total pode atingir valores consideráveis quanto ao armazenamento de água, contudo a condutividade hidráulica se apresenta muito baixa, de forma que o volume de água que flui sob ação do gradiente hidráulico natural é praticamente nulo (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2020).

3.3.1 Caracterização de aquíferos

Abaixo da superfície do terreno a água é distribuída verticalmente. As forças que retêm essa água no solo são de três tipos: atração elétrica, capilar e gravitacional.

A água retida via atração elétrica pode ser de dois cunhos, água hidrocópica que só pode ser recuperada em forma de vapor, por estar adsorvida pelas superfícies dos grãos sólidos e a água pelicular, que forma uma espécie de película sobre a superfície dos grãos sólidos e sobre a água hidrocópica, podendo ser despreendida somente por centrifugação. Do ponto de vista hidrogeológico, esses tipos de água não despertam interesse de exploração devido à impossibilidade de serem extraídas do substrato via bombeamento.

A segunda força, capilar, possível de ser chamada de tensão ou sucção, é explicada através do contato entre a água e o ar, onde ocorre uma diferença de pressão na interface que os separa, que é produzida pela tensão superficial que atua sobre as fases de contato. Esse fato, aliado à tendência de adesão das moléculas de água aos grãos sólidos, faz com que a água seja retida pelos finos canais e espaços cheios de ar existentes no solo. Ou seja, a pressão capilar é a tendência de um meio poroso parcialmente saturado succionar a água repelindo o ar.

Por último, mas não menos importante, a força gravitacional - força de atração com que o planeta exerce sobre os corpos - atua sobre a água subterrânea possibilitando que a mesma se desloque por grandes distâncias ou permaneça estanca. Somente a água movimentada por essa força é a que se consegue bombear para aproveitamento.

Contida no solo e nas formações geológicas, dentro do aquífero a água divide-se, basicamente, em duas zonas horizontais: não saturada e saturada. Também chamada de zona de aeração ou zona vadosa, a zona não saturada situa-se entre a superfície do terreno e a superfície freática e nela os poros do solo estão parcialmente preenchidos por gases (principalmente ar e vapor de água) e por água. Essa zona pode ser dividida em três partes (sentido superfície terrestre para lençol freático):

- Zona de água no solo: também chamada de zona de evapotranspiração, situa-se entre a superfície do terreno e os extremos radiculares da vegetação. É nessa zona que a vegetação hidrata-se de água para cumprir suas funções de transpiração e nutrição.
- Zona intermediária: é compreendida entre o limite de alcance das raízes das plantas e o limite de ascensão capilar da água. A umidade existente nessa zona origina-se de água capilar, fora do alcance das raízes, e de água retida por forças não capilares.
- Zona capilar: se estende do limite de ascensão capilar da água até a superfície freática. Como a umidade cresce de cima para baixo, os poros situados na parte inferior, próximos a superfície freática, encontram-se praticamente saturados, assim como nas partes mais superiores, somente os poros menores estão preenchidos por água.

A zona saturada fica situada abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes do solo estão preenchidos com água (ANA, 2016).

Abaixo segue a Figura 3.1 e a Figura 3.2 ilustrativas das zonas descritas acima.

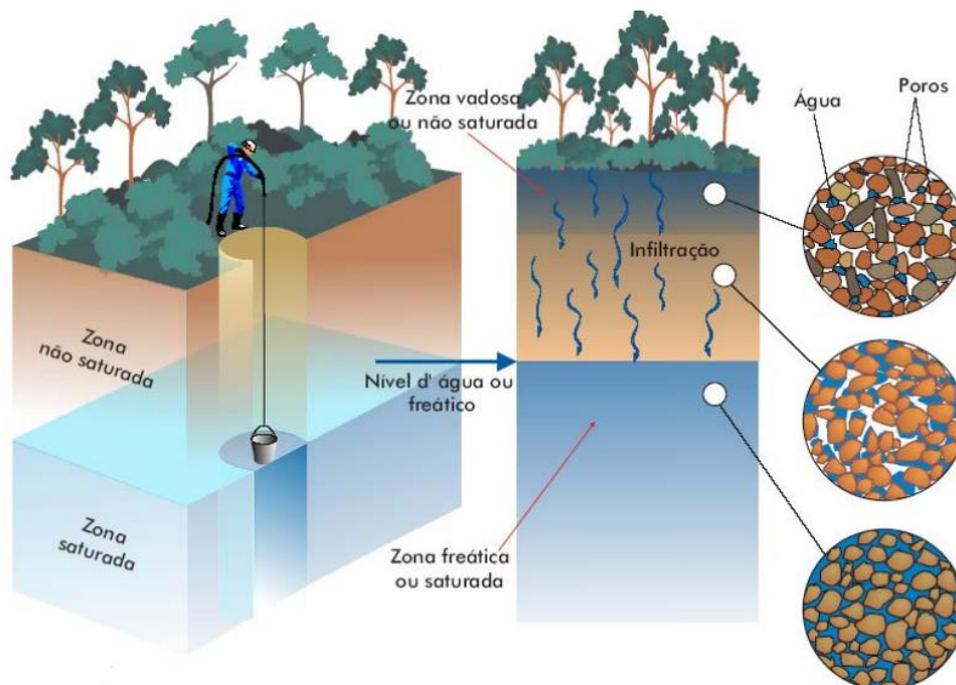


Figura 3.1. Distribuição da água no solo.
(Fonte: Oficina de Capacitação do Progestão, Águas Subterrâneas, ANA, 2016.)

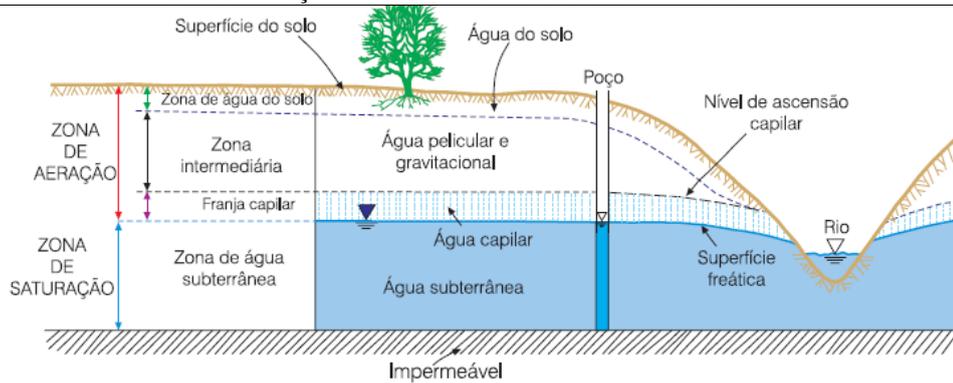


Figura 3.2. Diferentes zonas de umidade no solo e subsolo.
(Fonte: CPRM, Hidrogeologia, 2008.)

Defronte da capacidade de transmissão e da pressão em que a água está submetida nas suas superfícies limítrofes (superior, chamada topo e inferior, chamada base), os aquíferos também podem ser categorizados em: aquíferos livres drenantes e não drenantes; aquíferos confinados drenantes e não drenantes; aquíferos suspensos, conforme segue:

- Aquíferos livres: também chamados de freáticos ou não confinados, são aqueles cujo limite superior está submetido, em todos os pontos do aquífero, à pressão atmosférica. Desse modo, a água presente no solo pode infiltrar desimpedidamente, recarregando o aquífero.

Os aquíferos livres podem ser drenantes, quando sua base é semipermeável, assim como podem ser não drenantes, quando sua base é impermeável. Essa formação possibilita que a recarga possa ocorrer mais rapidamente, devido a maior facilidade, quando comparados a outras formações, de carreamento da água em superfície para armazenagem subterrânea, o que significa maior vulnerabilidade natural consequentemente.

- Aquíferos confinados: também chamados de aquíferos sob pressão, são aqueles onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. A explicação atrelada a este fato é de que o limite superior desse aquífero é composto por um extrato impermeável. A água entra pela zona de recarga - zona livre do aquífero confinado - e, ao encontrar a zona confinada, começa a se comprimir à medida que a adentra, o que acarreta o aumento de pressão dentro do aquífero. A recarga em aquíferos desse tipo é bem mais lenta quando comparada aos aquíferos livres.

Os aquíferos confinados podem ser drenantes, onde, pelo menos, uma das camadas limites é semipermeável, o que permite a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base, através da drenança ascendente ou descendente. As formações semipermeáveis oferecem uma resistência hidráulica relativamente alta à passagem do fluxo de água através delas, apesar disso, quantidades consideráveis de água podem ser perdidas ou ganhas pelos aquíferos drenantes de grande extensão regional.

Já os aquíferos confinados não drenantes possuem suas camadas limítrofes, superior e inferior, impermeáveis. Nessas condições, a dificuldade de furar um poço é maior do que efetuar o mesmo em aquífero livres, por exemplo.

Um poço que penetra num aquífero confinado não drenante pode jorrar água a alturas consideráveis acima da superfície, contudo, o nível da água subterrânea dentro do poço sempre ficará acima do nível da camada confinante superior. Nestes casos, os poços são chamados de artesianos surgentes ou jorrantes (CPRM, 2008).

Pode-se observar a representação dos diferentes tipos de aquíferos, conforme o sistema de pressão de suas águas e com a natureza das camadas que os delimitam, no topo e na base, na Figura 3.3 (CPRM, 2008).

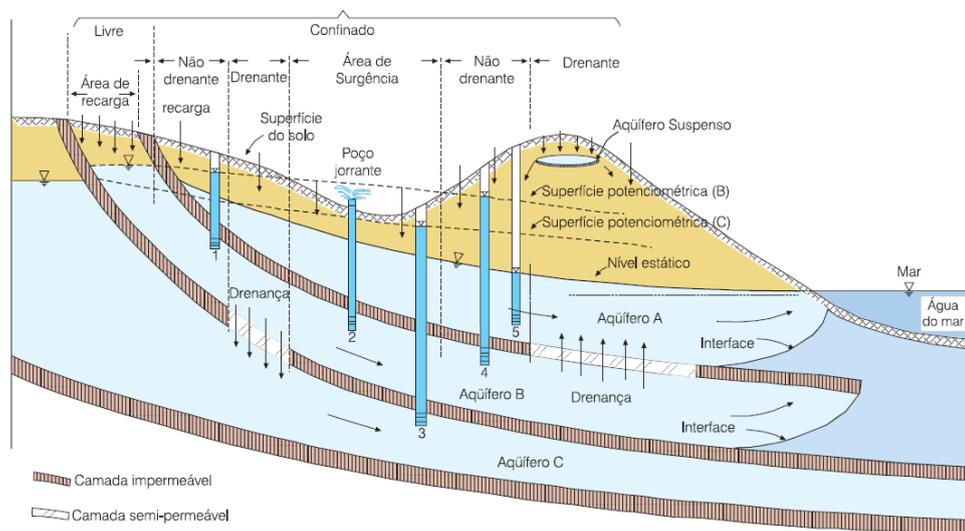


Figura 3.3. Diferentes tipologias de aquíferos.
(Fonte: CPRM, Hidrogeologia, 2008.)

A capacidade de armazenagem de água que um aquífero pode atingir, bem como fornecer para abastecimento, pode ser estimada conforme a porosidade efetiva do solo, que varia conforme a composição de cada ambiente subterrâneo. A porosidade efetiva é determinada pela razão entre o volume de água liberado dos vazios pelas forças gravitacionais e o volume total da rocha/substrato (CPRM, 2008).

Nesse contexto, é importante observar que as rochas são classificadas em três grandes tipos: sedimentares, ígneas e metamórficas. As rochas do tipo sedimentares - conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos, pelitos, folhehos, sedimentos calcários, lentre etc. - são formadas por fragmentos de outras rochas desagregados pela erosão, transportados e acumulados em locais propícios à deposição. Essas são as rochas que compõem as bacias sedimentares e, devido a alcançarem os maiores valores de porosidade quando comparados a outras formações, compreendem os melhores aquíferos.

As rochas do tipo ígneas - granitos, basaltos, diabásio e piroclásticas - são aquelas formadas diretamente pelo magma, material similar aquele lançado pelos vulcões. São também chamadas de rochas cristalinas. Em aquíferos pertencentes a essa formação a água subterrânea se deposita nas fraturas e fissuras.

As rochas metamórficas - metassedimentos, metacalcários, mármore, gnaisse, xisto, milonitos etc. - são formadas pela transformação de outras rochas, sob ação de pressão ou temperatura.

A partir desse entendimento, as principais classes de terrenos hidrogeológicos foram distribuídas em três grandes grupos de ocorrência de águas subterrâneas:

- Aquífero poroso: água armazenada nos espaços entre os grãos do solo subterrâneo. Ocorrente, geralmente, em terrenos sedimentares. Funcionam como esponjas onde os espaços vazios são ocupados por água (MMA, 2008). Em geral, a qualidade de água é boa (ANA, 2016).
- Aquífero fissural: também chamado de cristalino, a água circula por suas fissuras, resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas) (MMA, 2008). No semiárido do Brasil, a água apresenta elevado teor de sais, enquanto no restante do país são de boa qualidade (ANA, 2008).
- Aquífero cárstico: são aquíferos formados em rochas carbonáticas (sedimentares, ígneas ou metamórficas) (MMA, 2008). Quanto à qualidade das águas, pode apresentar limitação, devido a elevada dureza dos cloretos (ANA, 2016). O contato da água com o carbonato permite que ocorra a dissolução do mesmo, o que pode fazer desse aquífero um tipo peculiar de aquífero fraturado, isso porque, a partir desse fenômeno, grandes canais subterrâneos podem ser abertos, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos (MMA, 2008).

A Figura 3.4 traz uma ilustração de cada tipo de aquífero descrito acima. Já a Figura 3.5 ilustra os tipos de aquífero que o Brasil possui, bem como suas respectivas áreas de aflorantes.

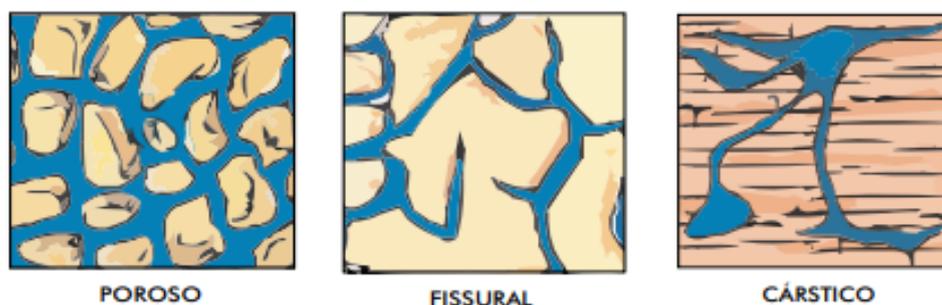


Figura 3.4. Classificação dos tipos de aquíferos, quanto a porosidade.
Fonte: Águas Subterrâneas, Ministérios do Meio Ambiente, 2007.

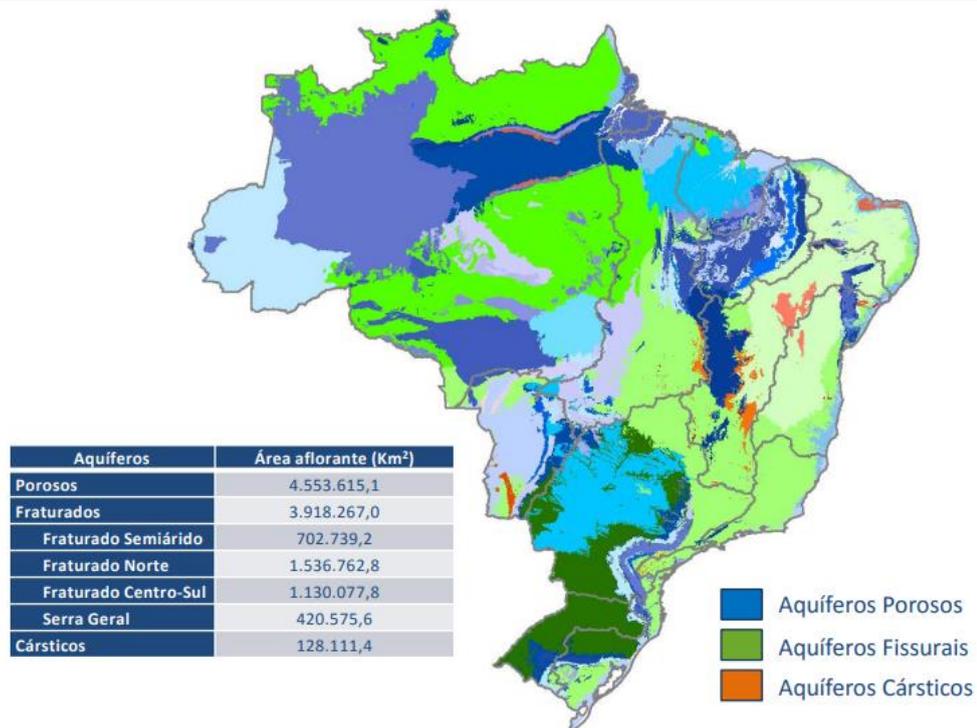


Figura 3.5. Mapa de aquíferos aflorantes no Brasil.
 Fonte: Oficina de Capacitação do Progestão, Águas Subterrâneas, ANA, 2016.

3.3.2 Recarga

A maioria dos aquíferos são constantemente reabastecidos e o processo por meio do qual um aquífero recebe água é chamado de recarga, que pode ser natural ou artificial. A recarga natural depende fundamentalmente do regime pluviométrico (quantidade de chuvas) e do equilíbrio que se estabelece entre a infiltração, escoamento superficial e evaporação. Desse modo, pode-se afirmar que a topografia local, a natureza do solo e a situação atual da cobertura vegetal exercem papel imprescindível na recarga dos aquíferos (MMA, 2008).

Com intuito de minimizar os efeitos nocivos da impermeabilização dos terrenos (calçadas, ruas e avenidas) que são decorrentes da expansão populacional e da superexploração dos sistemas aquíferos, a recarga artificial é utilizada. Essa ação consiste em qualquer processo que induza a infiltração ou injeção de água nos sistemas aquíferos. Pode-se realizar através de caixas ou barragens de infiltração, espalhamento de água sobre o solo, sulcos paralelos às curvas de nível, poços de injeção etc. (Fetter, 1994). Dentre as vantagens de se adotar técnicas de recarga artificial, destaca-se o controle, a manutenção ou elevação dos níveis de água dos sistemas subterrâneos, o controle da subsidência do terreno, a depuração de contaminantes e a mineralização das águas infiltradas. Além disso, a recarga artificial pode gerar uma reserva estratégica de água, a fim de ser utilizada em períodos de escassez. Muitas regiões do mundo têm utilizado a recarga artificial não somente com o intuito de recompor ou elevar o nível e a qualidade de água de seus aquíferos, mas também como estratégia de armazenamento de água (ADASA, 2015).

Seguindo com a recarga natural, quando os aquíferos são reabastecidos por meio de infiltração direta das águas na superfície do solo/rocha chama-se esse tipo de recarga de recarga direta. Essa infiltração ocorre em toda superfície dos aquíferos livres e, no caso dos aquíferos confinados, nas áreas de afloramento (área onde a rocha “aparece” na superfície).

A recarga direta geralmente localiza-se em altos topográficos (morros, serras etc.) e em afloramentos de rochas sedimentares e suas maiores taxas ocorrem em regiões planas, bem arborizadas e nos aquíferos livres. Nos locais em que os aquíferos não estão em contato direto com as águas superficiais, mas continuam sendo recarregados, recebendo água através de outras rochas, chama-se recarga indireta.

As áreas de recarga de aquíferos são extremamente importantes para a manutenção da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas. Para tanto, é fundamental que essas áreas estejam protegidas, evitando-se o desmatamento, o uso incorreto dos solos e a instalação de atividades potencialmente poluidoras (MMA, 2008).

Assim como há a recarga, há a descarga de aquíferos e essa acontece quando o lençol freático intercepta a superfície do terreno, emergindo do sistema: descarga natural; ou por bombeamento: descarga artificial. A descarga dos aquíferos alimenta os rios, lagos e nascentes.

Dessa forma, temos os rios influentes e os rios efluentes. Os rios influentes são aqueles que sofrem com os períodos de estiagem, uma vez que possuem comportamento infiltrante, suas vazões diminuem consideravelmente em épocas de seca. Os rios efluentes, do contrário, se beneficiam nos mesmos períodos, uma vez que recebem água do subsolo. A Figura 3.6 ilustra os dois conceitos apresentados.

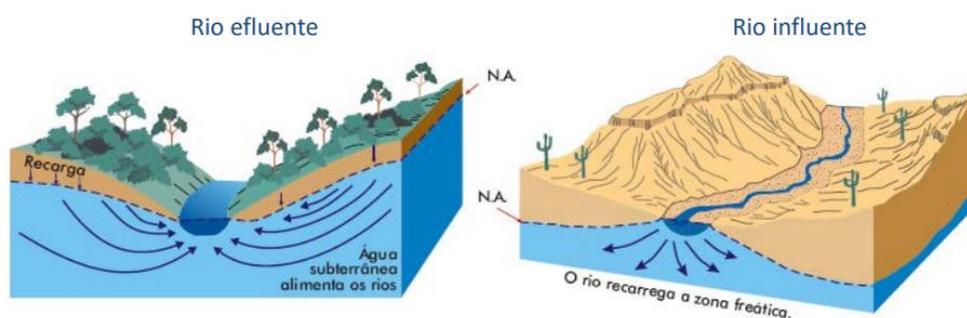


Figura 3.6. Interação entre água superficial e subterrânea.

Fonte: Oficina de Capacitação do Progestão, Águas Subterrâneas, ANA, 2016.

3.3.3 Reservas

As reservas de água subterrânea se traduzem por volumes que representam a totalidade de água armazenada em um aquífero ou sistema aquífero. Esse volume é passível de mobilização e é função da porosidade do aquífero e da capacidade de armazenamento do mesmo (CPRM, 2008).

As reservas destacadas por esse trabalho caracterizam-se em três principais tipos:

- Reservas reguladoras: representam a quantidade de água livre armazenada pelo aquífero ao curso de uma recarga importante, por alimentação natural. São dependentes do ritmo sazonal das precipitações.
- Reservas permanentes: constituem as águas acumuladas no aquífero, que não variam em função das precipitações anuais. Permitem uma exploração em períodos de vários anos.
- Reservas exploráveis: representam as parcelas de recursos aquáticos que podem ser extraídos dos aquíferos de forma sustentável. Há várias discussões em torno da definição de reservas de exploração, em prol da sustentabilidade dos aquíferos e da proteção ambiental dos sistemas (ANA, 2016).

3.3.4 Principais funções dos aquíferos

Em linhas gerais, as principais funções dos aquíferos consistem em (1) produção, ou seja, fornecimento de água em quantidade e qualidade adequada para usos múltiplos, (2) estocagem e regularização, devido a importante característica dos aquíferos de oportunizar estratégias para as cidades que dele fazem uso quanto a problemáticas de falta de água, pois, devido a sua capacidade de armazenar água em épocas de chuvas, torna-se viável a estocagem de água para períodos de estiagem. Essa possibilidade favorece os sistemas de abastecimento de água, tanto quanto os rios e lagos que se alimentam de sistemas subterrâneos aquáticos. (3) Filtragem, isto é, por meio da estrutura de solo e rochas os aquíferos podem atuar como filtros naturais, retendendo impurezas e substâncias maléficas a saúde. Essa condição faz das águas subterrâneas possíveis candidatas a obter um elevado padrão de qualidade físico-química e bacteriológica, o que minimiza custos de tratamentos para consumo. (4) Transporte: os aquíferos conduzem a água de uma área de recarga para as áreas de bombeamento, por exemplo, assim como podem transportar a água por longas distâncias e por muitos anos. (5) Estratégia, por permanecer dentro do solo, a água subterrânea está protegida de questões naturais, como a evaporação de água, assim como de fatores antrópicos, como disputas, sabotagens etc. Através do gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, pode-se realizar o revezamento de práticas de recarga artificial (infiltração de água excedente da capacidade das estações de tratamento, as quais ocorrem nos períodos de menor consumo, águas pluvias e esgotos tratados) com bombeamento do aquífero em períodos de escassez, por exemplo. (6) Energética, quer dizer que, em muitos casos, os aquíferos detêm água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal e essa água pode ser utilizada como fonte de energia elétrica

ou termal. Por fim, (7) ambiental, isto é, os aquíferos fornecem água para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade (BARBOSA E MATOS, 2008).

A partir das funções dos aquíferos supracitadas, pode-se observar que esses sistemas compreendem em si mesmos muitas vantagens do ponto de vista da exploração humana de seu recurso. Contudo, os sistemas aquíferos não são fontes infinitas de água, tão pouco se apresentam como sistemas de fácil operação, do ponto de vista da gestão desse recurso, havendo algumas problemáticas que podem ser associadas às explorações de água desses sistemas:

- O volume de água da recarga dos sistemas aquíferos pode não coincidir com o volume de água retirado dos mesmos, assim como com as velocidades de entrada e retirada de água, o que pode provocar a superexploração ou exaustão do sistema;
- Oor estarem de baixo da superfície, situadas no subsolo, as águas subterrâneas apresentam maior dificuldade para serem avaliadas, o que exige estudos e metodologias complexas;
- A baixa circulação de água em aquíferos fissurais, principalmente em áreas com elevado índice de evaporação, pode provocar a salinização (aumento do teor de sal) no aquífero. O fenômeno se dá devido a presença de sal no material calcário, composição principal de aquíferos fissurais;
- A exploração dos aquíferos de forma inadequada, principalmente em áreas carbonáticas, pode causar subsidência (afundamentos) no terreno, uma vez que, se a superfície está sendo sustentada, em grande parte, por água subterrânea, ao retirá-la o solo superficial cederá;
- No caso de poluição ou contaminação do aquífero, os custos e a complexidade técnica de remediação – processo de despoluição e minimização dos impactos negativos – e recuperação podem ser extremamente elevados, demandando longos períodos (BARBOSA E MATOS, 2008).

3.3.5 Sistemas aquíferos do Brasil

De acordo com a elaboração do mapa das áreas aflorantes dos aquíferos e sistemas aquíferos do Brasil, desenvolvido por Cardoso et al. (2012) e presente na Figura 3.7, o Brasil conta com 182 aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes, categorizados em aquíferos fraturados, porosos e cársticos. O Quadro 3.1 traz a denominação dos aquíferos conforme cada classificação, já mencionadas e explicadas. Os sistemas fraturados foram agrupados em quatro grandes blocos, denominados: Semi-árido; Norte; Centro-Sul e Serra Geral. O Sistema Poroso

Quadro 3.1. Aquíferos e Sistemas Aquíferos Aflorantes Brasileiros.

SISTEMA POROSO		
Aquífero Açú	Aquífero Gorotire	Aquífero Poço Verde
Aquífero Água Bonita	Aquífero Grajáú	Aquífero Ponta Grossa
Sistema Aquífero Alexandra-Guaraqueçaba	Aquífero Guabirota	Aquífero Ponta Verde
Aquífero Algodão	Aquífero Guaporé	Sistema Aquífero Poti-Piauí
Aquífero Alter do Chão	Sistema Aquífero Guarani	Aquífero Prosperança
Sistema Aquífero Alto Paraguai	Aquífero Içá	Aquífero Resende
Sistema Aquífero Alto Tapajós	Sistema Aquífero Icó	Aquífero Rio Bonito
Aquífero Angico	Aquífero Igarapé de Areia	Aquífero Rio Claro
Aquífero Aquidauana	Aquífero Igreja Nova	Aquífero Rio das Barreiras
Sistema Aquífero Araguaia-Bananal	Sistema Aquífero Iguatu	Sistema Aquífero Rio do Peixe
Aquífero Bananeiras	Aquífero Ilhas	Aquífero Rio Ivaí
Aquífero Barra de Itiúba	Sistema Aquífero Inferior da Bacia do Araripe	Aquífero Rio Madeira
Sistema Aquífero Barreiras	Sistema Aquífero Itajaí	Aquífero Rio Naja
Sistema Aquífero Bateias-Campo Alegre	Aquífero Itapecuru	Aquífero Rio Pitanga
Sistema Aquífero Bauru-Caiuá	Aquífero Itaqueri	Aquífero Ronuro
Aquífero Beberibe	Aquífero Itararé	Sistema Aquífero Roraima
Aquífero Beneficente	Aquífero Jaciparaná	Aquífero Sabiá
Sistema Aquífero Betânia	Aquífero Juá	Aquífero Sambaíba
Aquífero Boa Viagem	Aquífero Juatuba	Aquífero Sanga do Cabral
Sistema Aquífero Boa Vista-Areias Brancas	Sistema Aquífero Lavras da Mangabeira	Sistema Aquífero Santa Brígida-Curitiba
Aquífero Brejo Santo	Sistema Aquífero Lima Campos	Aquífero Santa Fé
Aquífero Cabeças	Sistema Aquífero Litorâneo Nordeste	Aquífero Santa Tecla
Aquífero Cabo	Sistema Aquífero Litorâneo Norte	Aquífero Santo Amaro
Aquífero Cachoeirinha	Sistema Aquífero Litorâneo Sul-Sudeste	Sistema Aquífero São José do Belmonte
Aquífero Cachoeirinha Gemaque	Aquífero Longá	Sistema Aquífero São Paulo
Aquífero Calumbi	Aquífero Macacu	Aquífero São Sebastião
Sistema Aquífero Camamu-Almada	Aquífero Maceió	Sistema Aquífero Sergi-Alliança
Aquífero Camaquã	Aquífero Maecuru	Sistema Aquífero Serra do Divisor
Aquífero Campos Novos	Sistema Aquífero Malhada Vermelha	Aquífero Serra do Tucano
Aquífero Cananéia	Sistema Aquífero Marajó	Sistema Aquífero Serra dos Martins
Sistema Aquífero Carnaubeira da Penha	Aquífero Marizal	Aquífero Serra Grande
Aquífero Castro	Sistema Aquífero Marrecas	Aquífero Serraria
Aquífero Cauê	Sistema Aquífero Médio da Bacia do Araripe	Aquífero Sete Barras
Sistema Aquífero Cedro	Sistema Aquífero Mirandiba	Aquífero Solimões
Aquífero Cercadinho	Aquífero Monte Alegre	Sistema Aquífero Superior da Bacia do Araripe
Aquífero Codó	Aquífero Motuca	Aquífero Surucucus
Aquífero Coimbra	Aquífero Muribeca	Aquífero Tacaratu-Inajá
Aquífero Coqueiro Seco	Aquífero Palermo	Aquífero Taubaté
Aquífero Corda	Aquífero Palmeiral	Aquífero Tepequém
Sistema Aquífero Coronel João Pessoa	Sistema Aquífero Pantanal	Aquífero Tocandera
Aquífero Corupá	Sistema Aquífero Parecis	Aquífero Triunfo
Aquífero Cubencranquém	Aquífero Pariqueira-Açu	Aquífero Trombetas
Aquífero Curuá	Sistema Aquífero Passa Dois	Aquífero Tupanciretã
Aquífero Dardanelos	Aquífero Pastos Bons	Aquífero Ufaranda
Aquífero Dois Irmãos	Sistema Aquífero Pau dos Ferros	Sistema Aquífero Urucuaia-Areado
Aquífero Ererê	Aquífero Pedra de Fogo	Aquífero Urucutuca
Aquífero Ervalzinho	Aquífero Penedo	Aquífero Urupi
Sistema Aquífero Fátima	Aquífero Pimenteirias	Aquífero Urutanim
Aquífero Fazenda São Roque	Aquífero Piranhas	Aquífero Viseu
Aquífero Fonseca	Aquífero Piriá	Aquífero Volta Redonda
Aquífero Furnas	Aquífero Poção	
SISTEMA CÁRSTICO		
Aquífero Acauã	Sistema Aquífero Corumbá	Aquífero Paranoá Cárstico
Aquífero Anicuns-Itaberá Cárstico	Aquífero Estiva	Sistema Aquífero Salitre
Sistema Aquífero Araras	Aquífero Frecheirinha	Aquífero Santana
Aquífero Araxá Cárstico	Aquífero Gandarela	Aquífero Sapucari
Sistema Aquífero Bambuí Cárstico	Sistema Aquífero Gramame-Maria Farinha	Aquífero Serra da Mesa Cárstico
Aquífero Barroso	Aquífero Itaítuba	Aquífero Serra do Paraíso
Aquífero Boqueirão	Aquífero Jandaíra	Sistema Aquífero Taquari-Marumim
Aquífero Canastra Cárstico	Aquífero Nova Olinda	Aquífero Vazante Cárstico
Sistema Aquífero Carste da Bacia do Paraná	Sistema Aquífero Olhos D'Água	
SISTEMA FRATURADO		
Sistema Aquífero Fraturado Centro Sul	Sistema Aquífero Fraturado Norte	Sistema Aquífero Fraturado Semi-Árido
Aquífero Serra Geral		

(Fonte: Fonte: Cardoso et al. 2012. ANA.)

Dentre os aquíferos apontados pela tabela acima, destaca-se os principais: Guarani, Alter do Chão, Cabeças, Urucuaia-Areado e Furnas. Os dois primeiros citados são considerados os maiores aquíferos do mundo.

O aquífero Alter do Chão é considerado o maior aquífero do mundo em termos de volume de reserva, chegando à quantidade de 86 mil km³ de água. Possui uma área de 400 mil km², localizado na região norte do Brasil. Compreende a região do Amazonas, Pará e Amapá. É formado por um sistema aquífero livre em sua porção superior (ocupa uma profundidade de 50 metros) e um sistema aquífero confinado (mantido a uma profundidade de 430 metros), o que configura o aquífero Alter do Chão um aquífero do tipo misto (PENA, 2020).

O aquífero Guarani possui cerca de 1,2 milhão de km², estando presente em quatro países da América do Sul: Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. No Brasil, esse aquífero estende-se pelo subsolo dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Conforme a ANA (2012), as reservas permanentes de água são da ordem de 45 mil quilômetros cúbicos e cerca de 65% desse total está localizado em território brasileiro. A Figura 3.8 elucida as proporções de área do aquífero Guarani diante da América do Sul.



Figura 3.8. Representação esquemática da localização do aquífero Guarani na América do Sul. (Fonte: Segundo Heine (2008), adaptado de Boscadin Borghetti et al., 2004.)

O grande armazenamento de água desse aquífero se dá em função da geologia local, composta por pouca argila e muita areia, o que favorece a infiltração e a retenção da água, o que o torna uma fonte importante de água para consumo humano. Tem uma espessura média de 250 metros e um volume de aproximadamente 45 mil km³. Sua profundidade máxima é por volta de 1.500 metros (CERQUEIRA, 2020). Os aspectos litoestratigráficos estão resumidos no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Aspectos litoestratigráficos das formações Pirambóia e Botucatu.

ITENS	Pirambóia	Botucatu
Sedimentos	Arenitos	Arenitos
Origem	Flúvio-lacustre/eólico	Eólica desértica
Cor dos sedimentos	Avermelhados a esbranquiçados	Avermelhados
Granulometria	Média a muito fina 0,12 mm	Fina a média 0,18 mm
Textura dos grãos	Heterogeneidade Argila nos poros	Homogeneidade Grãos arredondados
Teor de argila	> 20 %	< 10 %
Porosidade	Baixa (média de 16%)	Alta (média de 17 %)
Condutividade hidráulica	Inferior a 0,01 até 4,6 m/dia	De 0,2 até 4,6 m/dia
Idade	Permiano superior 300 M.a.	Cretáceo 130 M.a.

(Fonte: Conforme Heine (2008), Rebouças, 1976; Araújo et al., 1995; Milani et al., 1994.)

3.4. Águas subterrâneas

As reservas mundiais de água doce, como já referidas neste trabalho, representam apenas 3,4% do volume total dos recursos hídricos. 70% dessa água está inacessível (calotas polares) ou possui função ambiental, a qual impede o uso humano do recurso (umidade do solo, pântanos). O volume restante de água doce é constituído, aproximadamente, por 1,28% de águas superficiais e 98,72% de águas subterrâneas.

Esses números denotam a importância das reservas subterrâneas, contudo os mesmos não significam a disponibilidade ambiental de água doce, razão pela qual, o uso para abastecimento humano dessas reservas deve restringir-se à capacidade de suporte ambiental do sistema aquífero em questão, a fim de garantir a manutenção da diversidade ecológica, as funções ambientais vitais que dependem das águas dos aquíferos, tais como fluxo básico dos rios em períodos de estiagem, o equilíbrio do ecossistema aquático etc.

A Food and Agricultural Organization of the United Nations - FAO (2002) definiu o termo disponibilidade hídrica social, que representa a quantidade anual per capita de água

renovável disponível. O índice é expresso em m³/hab/ano e representa a taxa dos volumes anuais de recursos hídricos renováveis de uma determinada região pela população do ano.

Com a evolução histórica e a tendência crescente da utilização da água no mundo, verifica-se que o uso mundial do recurso aumentou seis vezes no último século. Esse aumento não é está relacionado somente ao crescimento populacional (que cresceu 50% no mesmo período), mas também está diretamente associado ao crescimento das áreas irrigadas e aos processos industriais e de geração de energia, que a utilizam no processo de resfriamento (Morris et al., 2003).

Este comportamento sugere que, como se pode esperar, a demanda por recursos hídricos continuará acompanhando o crescimento demográfico, principalmente devido à agricultura irrigada. Da mesma forma, é importante observar que o crescimento econômico gera demandas concentradas nos grandes centros urbanos, o que aumenta a pressão sobre as reservas hídricas subterrâneas, as quais adquirem, dessa forma, caráter estratégico.

Concomitantemente ao aumento da demanda por água, tanto em ambiente urbano quanto rural, os problemas envolvendo manutenção da qualidade e da quantidade das águas superficiais e subterrâneas tendem a aumentar e/ou se agravar. É importante lembrar que tudo que afeta as águas subterrâneas também pode afetar as águas superficiais, já que estas possuem uma forte relação, como já abordado por este trabalho.

No Brasil, os problemas mais comuns ocorrentes na esfera de água subterrânea estão relacionados com superexploração, impermeabilização do solo e com a poluição.

3.4.1 Superexploração

A condição de quando a extração de água subterrânea ultrapassa o volume infiltrado da mesma caracteriza-se por superexploração de aquífero. Essa prática pode afetar o escoamento básico dos rios, secar nascentes, influenciar os níveis mínimos dos reservatórios, provocar subsidência dos terrenos, induzir o deslocamento de água contaminada, salinizar, provocar impactos negativos na biodiversidade e até mesmo exaurir completamente o aquífero (MMA, 2008).

De acordo com Kalf e Woolley (2005), as taxas de bombeamento de um determinado reservatório subterrâneo não devem provocar perdas das reservas permanentes, para não alterar o equilíbrio dinâmico, ou seja, condições ideais de funcionamento. Em casos que desobedecem este princípio, isto é, com o uso desequilibrado e com a utilização das reservas permanentes, que não prolongadas no tempo e no espaço, há a estimulação de uma situação de mineração do aquífero, com perdas de armazenamento irrecuperáveis, levando ao esgotamento do manancial subterrâneo (HEINE, 2008).

Em áreas litorâneas, a superexploração de aquíferos pode provocar a movimentação da água do mar no sentido do continente, ocupando os espaços deixados pela água doce (processo conhecido como intrusão salina) (MMA, 2008).

Neste sentido, alguns critérios hidrogeológicos são aplicados para definir os limites de utilização da água subterrânea, indicando que apenas uma parcela das reservas é passível de extração, como vista anteriormente, chamada de reserva explorável.

Para efeito de planejamento, existem índices de referência que relevam o potencial explorável de um aquífero, correspondente a uma parcela da reserva reguladora: para Rocha (1997), esses índices são da ordem de 25%, para Rebouças (1992), os índices são mais flexíveis, entre 25 a 50% e para Kalf e Wolley (2005) a taxa é de 30% da média da recarga observada em um longo tempo (HEINE, 2008).

3.4.1.1. Impermeabilização do solo

A partir da construção de casas, prédios, asfaltamento de ruas, ausência de jardins e parques, entre outros, se reduz a capacidade de infiltração da água no solo, fazendo-a escoar pela superfície, adquirindo velocidade nas áreas de declive acentuado, em direção às partes baixas do relevo, resultando esse processo em redução do volume de água na recarga dos aquíferos, erosão dos solos, enchentes e assoreamento dos cursos de água (MMA, 2008).

3.4.1.2. Poluição das águas subterrâneas

Devido às baixas velocidades de infiltração e aos processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo e na zona não saturada, os aquíferos são sistemas naturalmente mais protegidos da poluição. Porém, ao contrário das águas superficiais, uma vez ocorrida a poluição, as baixas velocidades de fluxo tendem a promover uma recuperação muito lenta da qualidade. Dependendo do tipo de contaminante, essa recuperação pode levar anos, com custos muito elevados, não raro, 'proibitivos'.

O risco potencial de um determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e as suas características, tais como: litologia (tipo de rocha), hidrogeologia, gradientes hidráulicos, entre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e à poluição é chamada de vulnerabilidade.

A poluição/contaminação da água subterrânea pode ser direta ou indireta. Ambas podem estar relacionadas com as atividades humanas e/ou por processos naturais.

As fontes mais comuns de poluição e contaminação direta das águas subterrâneas são: esgotos e fossas (lançamento de esgotos diretamente sobre o solo ou na água, como rios, vazamentos em coletores de esgotos e a utilização de fossas construídas de forma inadequada, constituem as principais causas de contaminação da água subterrânea); deposição de resíduos sólidos no solo (lixões a céu aberto recebendo descarte de resíduos industriais, comerciais e/ou

domésticos, infiltração de chorume, líquido resultante do processo de degradação dos resíduos sólidos, juntamente com a água da chuva, carreando substâncias potencialmente poluidoras, metais pesados e organismos patogênicos); atividades agrícolas (fertilizantes e agrotóxicos podem contaminar as águas subterrâneas com substâncias como compostos orgânicos, nitratos, sais e metais pesados); mineração (a exploração de alguns minérios, com ou sem utilização de substâncias químicas em sua extração, produz rejeitos líquidos e/ou sólidos que podem contaminar os aquíferos); vazamento de substâncias tóxicas (tanques de gasolina em postos de combustíveis, oleodutos, gaseodutos etc.); cemitérios (contaminação por microorganismos).

As fontes mais comuns de poluição e contaminação indireta das águas subterrâneas são: filtragem vertical descendente (poluição de um aquífero mais profundo pelas águas de um aquífero livre superior, ocorrente acima do primeiro); contaminação natural (provocada pela transformação química e dissolução de minerais, podendo ser agravada pela ação antrópica, como salinização, presença de ferro, manganês, carbonatos e outros minerais associados à formação rochosa); poços mal contruídos e/ou abandonados (poços construídos sem critérios técnicos, com revestimento corroído/rachado, sem manutenção e abandonados sem o fechamento adequado (tamponamento), podem constituir vias importantes de contaminação das águas subterrâneas) (MMA, 2008).

Além dos aspectos quantitativos e qualitativos do uso da água, deve-se considerar que ela tem funções ambientais vitais para a manutenção dos ecossistemas, o que deve ser considerado ao se realizar uma análise abrangente de sustentabilidade. Para tanto, faz-se necessário conhecer e corretamente determinar às funções ambientais da água em cada ecossistema, abordando todas as peculiaridades e especificidades, a fim de precisar os limites do equilíbrio natural para, então, dimensionar a ação humana sobre o ambiente.

O conceito de desenvolvimento, por muito tempo identificado como progresso econômico, adquire uma nova ótica quando são integrados em uma análise que abrange dimensões sociais, econômicas e institucionais, passando assim para um novo modelo: desenvolvimento sustentável.

Desse modo, a avaliação da sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, representados principalmente pelo abastecimento urbano-industrial e pelo uso rural, assume um caráter complexo frente à contemplação e a interação dos vários reservatórios do ciclo hidrológico, a dinâmica antrópica e as características dos sistemas ambientais das várias regiões fisiográficas. Por tanto, essas considerações sugerem que a análise do uso sustentável dos recursos hídricos deve ser realizada com enfoque sistêmico (HEINE, 2008).

3.5. Gestão dos recursos hídricos

A gestão dos recursos hídricos é considerada um arranjo institucional que contempla a definição da política hídrica, bem como detém instrumentos necessários para executá-la. Entende-se como um processo dinâmico e ambientalmente sustentável, em que se adequa, por meio da administração, a oferta de água. Essa compatibiliza diversos usos setoriais dos recursos hídricos, a fim de objetivar uma operação harmônica e integrada das estruturas, de forma a se obter o possível máximo benefício das mesmas (BENEVIDES et al., 1993).

Pelo viés apresentado, a gestão dos recursos hídricos teve início quando ocorreu o primeiro contato da humanidade com a necessidade de conciliar questões acerca da disponibilidade de água. Assim como essencial à vida, a água é um precioso insumo para diversas atividades humanas, sendo praticamente impossível realizar uma listagem exaustiva dos diversos usos econômicos e sociais que a apropriação ou utilização dos recursos hídricos pode gerar. Ainda assim, podem-se distinguir grandes categorias, como: alimentação e higiene; produção industrial; geração de energia; irrigação; navegação; pesca e lazer; diluição de esgotos; drenagem e controle de enchentes; incêndios; preservação do ambiente aquático e da paisagem.

Tais usos são capazes de apresentar efeitos muito diferenciados no ciclo hidrológico, bem como em relação aos mananciais que utilizam e à forma com que interferem sobre eles. Portanto, deve se compreender que os recursos hídricos são uma categoria socialmente construída, pois sua mensuração e efetiva utilização dependem do desenvolvimento científico e tecnológico, das condições econômicas envolvidas na exploração desse recurso, assim como do desenvolvimento dos modos e costumes de vida da sociedade. Reside aí a importância da gestão dos recursos hídricos em integrar os aspectos sociais com as dimensões ecológicas do meio natural, em que busca examinar a interface recursos hídricos/sociedade nas suas manifestações socioespaciais e ambientais, especialmente as introduzidas no meio urbano (COUTINHO, 1999).

Para tanto, a gestão dos recursos hídricos estende-se em suas considerações acerca dos usos da água e de suas respectivas perdas entre volume utilizado e volume de água devolvido aos mananciais, dos impactos diretos e indiretos desses usos quanto à qualidade da água utilizada e retornada ao sistema hídrico, tomando como exemplo a poluição orgânica dos rios, devido ao lançamento constante, por parte de empresas e residências, de efluentes sanitários sem tratamento prévio.

Seguindo, também é função da gestão dos recursos hídricos a realização de análises e determinações a respeito da forma de intervenção a ser implantada nos mananciais em função dos usos ali existentes, como a efetuação de obras hidráulicas: construção de barragens e

reservatórios para regularização das vazões dos rios para geração de energia elétrica através de usinas; construção de represas para abastecimento urbano; controle de enchentes e produção industrial; retificação e aprofundamento da calha dos rios para possibilitar a navegação fluvial.

Praticamente todos os usos, anteriormente mencionados, podem ser compatibilizados entre si, dentro de uma mesma bacia hidrográfica a partir da averiguação da compatibilidade entre eles. As reais dificuldades para o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos não estão inseridas em âmbitos técnicos e sim na esfera político-institucional, dada a existência de diversas agências estatais e empresas privadas que têm se apropriado historicamente dos recursos hídricos, fazendo uso da água de maneira parcial ou setORIZADA (COUTINHO, 1999).

Conclui-se que a gestão dos recursos hídricos tem por essência e como principal compromisso assegurar a utilização prioritária de água para abastecimento de água potável, coleta e tratamento de águas residuárias, sem comprometer outros usos, como os de fins econômicos, sociais e ambientais.

3.5.1. Métodos de gestão dos recursos hídricos

Para a geração de negativos impactos provindos das práticas de urbanização, referentes ao ciclo hidrológico e, por consequência, aos recursos hídricos, tais como citados anteriormente e didaticamente demonstrados na Figura 3.9, se faz necessária a criação de um sistema de acompanhamento e controle dessas atividades, caso contrário, haverá um agravamento quanto a degradação das condições naturais e ambientais atrelados ao aumento dos custos sociais, uma vez que as consequências dos impactos revelam-se no aumento das inundações, devido a taxa crescente de impermeabilização do solo, zonas urbanas situadas na mancha de inundação dos rios e ocupações irregulares; aumento da poluição; diminuição da qualidade das águas devido ao aumento de carga orgânica nos mananciais e assim por diante. (COUTINHO, 1999).



Figura 3.9. Efeitos da urbanização sobre os recursos hídricos.
(Fonte: Adaptado de COUTINHO, 1999, pág.117.)

No Brasil, especificamente nas últimas décadas, pode-se observar períodos de extremos climáticos: secas prolongadas ou chuvas intensas que causaram prejuízos econômicos e sociais em várias regiões do país.

Toma-se como exemplo a região sul que, devido à falta de chuvas, teve de entrar em um regime de racionamento acerca de disponibilidade de energia elétrica, como também, os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul sofreram com a chegada de cheias, devido à abundância de água.

Os exemplos também compreendem a região sudeste brasileira, quando o estado de São Paulo se viu (nas últimas décadas) algumas vezes, às portas de um racionamento e de cortes no abastecimento de água, pois os níveis de seus reservatórios encontravam-se muito baixos. Assim como no estado do Paraná, em Curitiba, após dois anos consecutivos de poucas chuvas também quase iniciou um racionamento de água em seu sistema de abastecimento.

Deixando a esfera dos dilemas a respeito da quantidade de água e partindo para a de qualidade de água, sabemos, como visto anteriormente, que essa também pode se apresentar como um problema. Consideramos como exemplo a cidade de Campinas, São Paulo, a qual dispõe de uma quantidade razoável de água disponibilizada por um rio – Tietê – situado geograficamente próximo ao ambiente urbano, contudo, por conta de seu elevado nível de poluição, não pode abastecer sua população sem arcar com custos extremamente elevados para garantir o padrão mínimo de potabilidade dessa água.

Esses cenários expõem a realidade de que: apesar da demanda hídrica dos últimos anos, principalmente nos setores de abastecimento urbano e industrial, irrigação e energia elétrica ter apresentado elevado crescimento, o gerenciamento dos serviços correspondentes não parece ter amadurecido na mesma proporção. Do contrário, aparentemente, apresenta-se de forma confusa e complexa (CHAUDHRY, F.; REIS, L.; SANTOS, R.; ZUFFO, A., 2002).

Para tanto, faz-se fundamental e imprescindível a elaboração de instrumentos de planejamento e controle, a fim de reduzir esses efeitos negativos. No quadro das políticas de meio ambiente e de desenvolvimento urbano e regional, os três níveis de governança (municipal, estadual e federal) têm procurado elaborar instrumentos de planejamento a fim de estabelecer o controle e reduzir resultados negativos da urbanização sobre o meio ambiente. As ferramentas para isso podem ser identificadas como os Planos Diretores das cidades, áreas de proteção ambiental (APA's), áreas de proteção de mananciais, nas novas formas de articulação entre lideranças regionais dos Estados, municípios e sociedade civil, podendo-se citar os comitês de bacia hidrográfica e os consórcios municipais, com o propósito de solucionar e superar os problemas (COUTINHO, 1999).

O planejamento dos recursos hídricos passa atualmente por um período de reformulação de seus procedimentos, avaliação de alternativas e desenvolvimento de técnicas. Essas mudanças estas que realizam na prática uma mudança que parte da tradicional análise benefício-custo para uma análise multicriterial, com atuais de gestão dos recursos hídricos, assim como lecionam (CHAUDHRY, F.; REIS, L.; SANTOS, R.; ZUFFO, A., 2002).

Pareto, que foi um economista e sociólogo italiano, nascido em Paris, 1848, é conhecido por suas aplicações matemáticas na economia e na sociologia. Pareto graduou-se em física, matemática e engenharia, além de ser um estudioso de política, sociologia, filosofia e economia. Lecionou na Universidade de Lausanne, Suíça, 1893, publicou diversas obras que interagem com a sociologia, ciências sociais, economia e recursos naturais (BONETTI, 1994). Para a gestão dos recursos hídricos, contribuiu inicializando os estudos a respeito da análise multicriterial, com seu trabalho (1896), o qual examinou um problema de agregação de critérios e, a partir disso, definiu o conceito de eficiência entre duas alternativas de decisão.

A contar de então, mais trabalhos desenvolveram ferramentas matemáticas para aplicar em problemas práticos, com intuito de utilizar a diferentes atividades que demandem tomadas de decisões. Cita-se Koopmans (1951), o qual desenvolveu o conceito de vetor eficiência, muito utilizado na programação matemática multiobjectivo, em trabalho que aborda a análise de produção de alocação. Utilizando as ideias de Koopmans, Charnes e Cooper (1961) desenvolveram a “Programação por Metas”, o qual se baseia no método multicriterial que

continuou a ser aprofundado através dos trabalhos de Ijiri, 1965, Lee (1972) e Ignízio (1976), os quais desenvolveram a teoria e métodos para a aplicação de multiatributo.

Resumidamente, na década de 70, a pesquisa no assunto “tomada de decisão multicriterial” (MCDM – Multiple Criteria Decision Making) desenvolveu fundamentos teóricos da programação matemática múltiplo objetivo e dos procedimentos dos algoritmos para a resolução de cada problema. Na próxima década, de 80, os principais estudos focaram na otimização dos processos de análise multiobjetivo, conferindo à Tomada de Decisão (DM – Decision Maker) maior suporte.

A DM é uma entidade que pode ser definida por uma forma analítica de uma função de utilidade ou por valores e ponderações respectivas aos pontos de vista utilizados no processo de análise. Os pesquisadores buscam otimização das funções objetivo, as quais se baseiam em teoremas, conceitos, corolários etc., a fim de encontrar a “solução ótima”. Em muitos casos, se condissera a existência de uma função de preferências, congruente ao pensamento do decisor, as quais podem ser divididas em três técnicas distintas:

I. Técnicas que geram o conjunto de soluções não-dominadas: não consideram as preferências do decisor, baseiam-se, somente, nas restrições físicas do problema. Consideram um vetor função objetivo, o qual gera um conjunto de soluções não dominadas.

II. Técnicas que incorporam as preferências do decisor: oferecem uma sequência de soluções que convergem para uma solução final, sendo influenciadas, no processo, pelas inclinações do decisor. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas, variando de acordo com o problema, ainda existem técnicas que são aplicadas a problemas de origem contínua e discreta.

III. Técnicas que utilizam uma articulação progressiva das preferências: conhecidas como “métodos não dirigidos”, essa técnica trabalha com uma função dinâmica de valor, parando quando a situação atingida é desejada pelo decisor. A DM é uma entidade que pode ser definida por uma forma analítica de uma função de utilidade ou por valores e ponderações respectivas aos pontos de vista utilizados no processo de análise.

A maioria dos métodos de solução MCDM adota uma das três técnicas de resolução. A cada ano novos métodos são estudados e apresentados, juntamente com suas vantagens e desvantagens em relação aos anteriores.

Os métodos de Análises Multicriterial (MA) possuem dois vieses de interpretação, segundo a “Escola Americana” os métodos são classificados de acordo com as técnicas de

resolução do problema e segundo a “Escola Européia” são classificados segundo o tipo de agregação e, conforme Roy (1985) são categorizados conforme abaixo:

- Critério de aproximação única da síntese, desconsiderando qualquer incompatibilidade.
- Aproximação hierárquica da síntese, aceitando incompatibilidades.
- Aproximação do julgamento local interativo, com interações de cunho tentativa e erro.

A “Escola Europeia” distinguiu-se da Americana quanto ao caráter do uso e ao conceito dos métodos multicriteriais, passando a denominar essas ferramentas como “Métodos Multicriteriais de Auxílio à Decisão” (MCDA – MultiCriteria DecisionAid), buscando a “Solução de Melhor Compromisso” e não, necessariamente, a mais racional. Os principais conceitos da “Escola Europeia” são:

- I. A não existência de um problema isolado.
- II. Cada observador interpreta o problema de forma diferente, segundo seu sistema de valores.
- III. A elaboração e estruturação do problema dependem do observador.
- IV. Os elementos objetivos e os subjetivos não são segregados, pois possuem interconexão no processo decisório.
- V. O decisor pode modificar seu ponto de vista à medida que seus conhecimentos sobre o problema aumentam durante o processo de seleção de alternativas.

3.5.2. Normativas dos recursos hídricos

A primeira lei que dispôs sobre águas no Brasil foi o Decreto Lei nº 22.643/34, chamado Código das Águas, que constitui um marco no gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, onde as águas podiam ser públicas ou privadas. Na Constituição Federal de 1988 as águas passaram a ser de domínio público, isto é, agora todos têm direito ao seu uso. Nesta nova visão, as águas foram divididas em dois domínios: União e Estado. Os corpos de água que atravessam mais de um estado e/ou país estão sob domínio e responsabilidade da União. O restante dos mananciais – que não permanecem dentro das fronteiras dos estados – são de domínio e responsabilidade dos Estados.

A Lei de Águas (Lei nº 9433/97) arquitetou a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) com base nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público; um recurso natural e limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez o uso prioritário é o consumo humano e

dessedentação animal; uso múltiplo das águas deve ser proporcionado e a gestão descentralizada e participativa. Entre os objetivos da política destaca-se a utilização racional e integrada das águas, tendo como unidade de gerenciamento a bacia hidrográfica.

A fim de coordenar a gestão integrada de recursos hídricos entre os estados, Distrito Federal, municípios e a União, criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cujos objetivos são: coordenar, arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e promover a cobrança pelo uso dos mesmos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é constituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Agência Nacional de Águas; conselhos de Recursos Hídricos dos estados e do Distrito Federal; Comitês de Bacias Hidrográficas; os órgãos públicos dos poderes federal, estadual, do Distrito Federal e municipal cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; e as agências de Água.

O CNRH, principal instância do SINGREH, possui caráter normativo e deliberativo, tendo importante papel no estabelecimento de diretrizes complementares para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e dos instrumentos de gestão nela previstos (MMA, 2008).

3.5.3. Indicadores da gestão de recursos hídricos

A avaliação da sustentabilidade no uso da água é uma tarefa complexa. Ela deve ser realizada a partir de uma abordagem quantitativa, qualitativa e socioeconômica, conforme Leal (1999), da mesma forma que considerados aspectos ambientais, como nos traz Sophocleous (2000) e Kalf & Woolley (2005). Portanto, a abordagem correta do problema deve se apresentar de forma sistêmica, contemplando a variação de reservas hídricas, a dinâmica social e econômica da região, bem como as funções ambientais da água na manutenção dos ecossistemas envolvidos (HEINE, 2008).

Indicadores de escassez hídrica: indicadores gerais de escassez hídrica são propostos pela FAO (2002), denominados como “índices de disponibilidade hídrica social”. Esse índice refere-se à água disponível anualmente por pessoa (m^3 /habitante/ano), o que é obtido pela razão da quantidade disponível do recurso hídrico anual renovável e a população da região. Aponta-se o valor limite de 1.000 metros cúbicos por habitante por ano como indicador de escassez de água FAO (2003).

Indicadores de saúde e qualidade de vida: a Organização Mundial de Saúde (OMS) indica a média de 80 litros por habitante por dia como a quantidade de água ideal para sustentar

a qualidade da vida humana. O homem necessita, para a sua manutenção diária, cerca de 2 litros por dia por pessoa, contudo, o desenvolvimento tecnológico e a urbanização tornaram necessária uma oferta de 100 a 200 litros para cada pessoa por dia (Rebouças et al., 2002). Portanto, pode-se constatar que à medida que as pessoas elevam sua qualidade de vida e seu conforto, uma maior quantidade de água será demandada pelo uso do recurso no dia-a-dia. O ideal a ser buscado é aliar o progresso de nossa civilização com uma menor pressão sobre os sistemas naturais, na busca da eficiência do uso e consumo desses recursos, em muitos casos, não renováveis.

Indicador de retirada em excesso de água subterrânea: para a avaliação do uso da água subterrânea, Foster et al., (1991) desenvolveram indicadores de efeitos adversos, tanto de qualidade quanto de quantidade, com base em indicadores de difusibilidade de aquíferos, armazenamento por recarga, observação de vegetação freatófita e intrusão de cunha salina, conforme resumido no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Indicadores de efeitos adversos sobre sistemas aquíferos.

Indicadores Ambientais	Indicadores do excesso de abstração	Fatores que afetam a sustentabilidade
Reversíveis	Aprofundar bombas /maior custo Redução na vazão do poço Redução no fluxo básico das vazões de fontes e rios	Indicadores da difusibilidade * Rebaixamento abaixo do horizonte de produção Modificações no armazenamento do aquífero **
Reversível/ Irreversível ***	Stress na vegetação freatófita Compactação do aquífero / redução da transmissividade	Indicadores de depleção dos níveis de água Compressão do aquífero
Deterioração Irreversível	Intrusão de águas salinas Indicadores qualitativos (de córregos ou aquíferos sobrepostos) Subsidência e impactos relacionados	Proximidade de águas salinas / contaminadas Compressão vertical de camadas sobrepostas ou inter-camadas.

(Fonte: Heine, 2008, modificado de Modificado de Foster et al., 1991.)

*Difusividade (T/S) - uma característica própria de um aquífero onde se divide transmissividade (T) por armazenamento (S).

** Características do armazenamento do aquífero (S/R). Definido como o armazenamento (S) dividido pela média anual de recarga (R).

*** Reversível / Irreversível. Esses dois efeitos dependem das condições locais e do período durante o qual persiste um excesso de retirada; a resposta imediata para essa retirada é controlada por T/S e, em tempo mais longo, por S/R .

Os indicadores devem permitir detectar situações não-sustentáveis, como a superexploração de aquíferos (definida por Custódio (2002), como sendo a média da retirada de água maior ou próxima à recarga).

Indicador de qualidade devido à inversão de fluxo: Morris et al., (2003) avaliam que situações decorridas de modificações do uso e ocupação do solo, principalmente quando provindas da expansão urbana e pela busca de novos poços tubulares, que forneçam melhor qualidade e/ou quantidade de água para uma determinada região, podem determinar um novo padrão e/ou sentido de fluxo para a água subterrânea, diferente do original. As conseqüências podem ser manifestadas em forma de mudança nos indicadores ambientais de qualidade da água subterrânea, em função do arraste de águas residuais (águas já passaram por utilização humana).

Indicador de quantidade e eficiência operacional, definido como colapso operacional: a situação de colapso operacional, definida por Muñoz et al., (2003), caracteriza-se quando, ao longo do tempo, ocorre uma depleção contínua dos níveis de água subterrânea (estático e dinâmico) nos poços tubulares de um reservatório, sendo necessário assim aprofundar o grupo moto-bomba submersa (GMBS) e/ou aprofundar o próprio poço. Esse indicador operacional, tanto de caráter geral quanto por poços individuais, mostra uma tendência de depleção dos níveis de água do reservatório, declínio de vazões e, por conseqüência, aumento nos custos operacionais.

O desempenho ou produtividade dos poços componentes de um sistema de bombeamento reflete o desempenho do aquífero (HEINE, 2008).

3.6. Gestão das águas subterrâneas

Sobre as águas subterrâneas, a Constituição Federal de 1988 estabelece que as mesmas estão sob o domínio estadual. Alguns estados possuem, além das leis estaduais de recursos hídricos, regulamentações dos instrumentos de outorga de direito de uso e cobrança pelo uso da água, bem como normas que tratam da proteção das águas subterrâneas e da sua gestão.

Nas questões relativas aos recursos subterrâneos, o CNRH é assessorado pela Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CTAS), que possui entre suas atribuições: compatibilizar as legislações relativas à exploração e utilização destes recursos, propor mecanismos institucionais de integração das águas superficiais e subterrâneas, além de mecanismos de proteção e gerenciamento das águas subterrâneas.

Uma vez que os órgãos estaduais de recursos hídricos são responsáveis pela gestão das águas subterrâneas e, portanto, da outorga, apresentando leis diferenciadas, e que os limites dos aquíferos não coincidem, necessariamente, com os limites das bacias hidrográficas, tão pouco

com os limites administrativos, torna-se necessária a gestão conjunta e articulada entre esses, intermediada pela União.

Para tanto, através do Decreto nº 5.776/06, atribuiu-se à Secretaria Executiva (SRU/MMA) diversas competências, entre as quais se destacam: a proposição de políticas, planos, normas e definição de estratégias de gestão de águas transfronteiriças; a promoção, em articulação com órgãos e entidades estaduais, federais e internacionais, de estudos técnicos relacionados aos recursos hídricos; a proposição de encaminhamento de soluções; a coordenação, em sua esfera de competência, da elaboração de planos, programas e projetos nacionais referentes às águas subterrâneas e o monitoramento do desenvolvimento de suas ações, dentro do princípio da gestão integrada de recursos hídricos.

Existem outras regulamentações relacionadas às águas subterrâneas, como a relativa à fiscalização da qualidade para água potável, pela Agência Nacional Vigilância Sanitária (Anvisa), além do disciplinamento do uso das águas minerais que, segundo o Código das Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841/45), são consideradas um bem mineral e cuja concessão é disciplinada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

Quanto aos planos, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é um dos instrumentos da Lei nº 9433/97. Esse documento é um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando a água um elemento estruturante para a implementação de políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. Seus objetivos finalísticos são: a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas (em quantidade e qualidade), redução dos conflitos reais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos e a percepção da conservação da água como um valor socioambiental relevante (MMA, 2008).

3.7. Estratégias de Proteção e Conservação das Águas Subterrâneas

Uma abordagem integrada pressupõe a utilização e gestão coordenada da água, solo e recursos relacionados, a fim de maximizar o bem estar econômico e social resultante, de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais, incluindo o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento das águas superficiais e subterrâneas, bacias hidrográficas, seus ambientes adjacentes costeiros e marítimos e os interesses a montante e a jusante (GWP, 2006). Nesse sentido, uma efetiva gestão integrada e proteção dos aquíferos compreendem:

- A confecção e atualização de mapas de vulnerabilidade de aquíferos, com identificação das fontes poluidoras potenciais, integrandos à gestão de uso e ocupação do solo.

- A inserção das águas subterrâneas nas políticas federais e estaduais de recursos hídricos.
- O estabelecimento de legislação de proteção das águas subterrâneas e inserção na gestão integrada dos recursos hídricos.
- A educação ambiental voltada para a proteção das águas subterrâneas.
- O estabelecimento de perímetros de proteção, normas construtivas para poços, normas construtivas para poços tubulares profundos e fiscalização da construção e operação dos mesmos.
- O monitoramento da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas.
- O acompanhamento das áreas contaminadas e o cadastramento de fontes poluidoras.
- A remediação das áreas contaminadas.
- A fiscalização e o acompanhamento dos lançamentos de efluentes e da disposição de resíduos.
- O reconhecimento da água subterrânea como um recurso estratégico, incentivando sistemas de abastecimento mistos. Além disso, esse processo deve contar com a participação de toda a sociedade, que pode ajudar a proteger as águas subterrâneas com atitudes simples, como: procurar o órgão estadual de recursos hídricos antes de perfurar um poço, visando obter informações sobre normas técnicas para realizar a perfuração e exigências para a regularização de poços tubulares (autorização para perfuração, licença ambiental e outorga de direito de uso); contratar empresas idôneas de perfuração, que possuam responsável técnico, registro no CREA e atestado de capacidade técnica; exigir que a empresa de perfuração apresente a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) e realize teste de bombeamento de 24h, análise físico-química-bacteriológica, desinfecção e devidas medidas de proteção sanitária do poço, além de relatório técnico detalhado, contendo a descrição das amostras, interpretação do teste de vazão e descrição dos materiais aplicados e quantidade, documento necessário para solicitar a licença e outorga do poço tubular profundo; perfurar poços tubulares profundos somente em casos de extrema necessidade; destinar a água proveniente dos poços tubulares profundos para fins mais nobres, como consumo humano; realizar análises da qualidade de água e a manutenção de rotina dos poços, periodicamente; lançar esgotos somente na rede pública de esgotamento sanitário e não na rede de águas pluviais (rede de drenagem); perfurar poços somente em locais com boas condições sanitárias, longe de fossas, lixões, criadouros de animais e áreas de cultivo; respeitar a legislação e as normas municipais de uso e ocupação do solo; evitar a impermeabilização das áreas externas, optando-se, sempre que possível, por jardins, gramados ou hortas, como forma

de facilitar a infiltração de água de chuva no solo; coletar e armazenar a água de chuva das calhas e telhados, sempre que possível, a fim de utilizá-la para a irrigação de jardins, limpeza de pisos, etc.; aproveitar as águas já utilizadas e destiná-las para outros fins, como, por exemplo, a água da máquina de lavar roupa para a limpeza de pisos, descarga sanitária, entre outros.

3.8. Escassez na disponibilidade de águas urbanas

Para a escassez de água ser identificada corretamente, se faz necessário a compreensão de um panorama geral acerca da estruturação de uma sociedade e seus costumes. Para tanto, torna-se indispensável correlacionar uma territorialidade regional específica e uma temporalidade sazonal ou plurianual como influentes para as noções de recurso escasso. Além, para essa mesma noção, são determinantes, também, as características políticas, sociais, econômicas e ambientais estabelecidas de forma intrínseca a cultura (COUTINHO, 1999).

Segundo Maia e Vivas (2010), a escassez pode ser definida como o efeito do desequilíbrio entre disponibilidades naturais e respectivas utilizações. A escassez não somente se caracteriza em situações de resultado médio deficitário, em termos absolutos, no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, como também quando a demanda por água é inferior à vazão disponível, uma vez que são necessárias considerações acerca da componente ambiental da demanda hídrica, por exemplo, garantir que em praticamente toda parte do tempo certa quantidade de água passe nos rios. Portanto, o conceito de escassez deve ser definido a partir de uma noção global da disponibilidade e da demanda hídrica (COUTINHO, 1999).

3.9. Disponibilidade dos recursos hídricos no contexto atual

Conforme entendido anteriormente, de forma comparativa e geral, a água doce é caracterizada como um recurso escasso no planeta, assim como possui uma distribuição não homogênea para diferentes regiões.

Frente ao mundo em que vivemos o Brasil é um país que se apresenta com grande conforto acerca de disponibilidade hídrica, compreendendo 14% da água do planeta. Entretanto, a distribuição desigual de água entre seus estados se insere em um espectro de disponibilidade que varia de 280 a 700 m³/ano de água por localidade. Essa disparidade entre regiões não somente nos informa sobre problemáticas ambientais de nosso país, como também sobre questões sociais e econômicas, uma vez que o conforto hídrico de uma sociedade está intrinsecamente correlacionado com a saúde humana (TUNDISI, 2008).

A urbanização, a industrialização e o desenvolvimento agrícola são fatores progressivos nas cidades e com eles, o aumento da demanda de água captada e consumida é crescente. Também se atrela a esse seguimento a degradação da qualidade dos mananciais.

Assim, se pode observar ao longo desse processo, uma inversão de valores quanto a volumes de água utilizados e recursos disponíveis. Hoje em dia, tem-se cada vez mais uma menor disponibilidade de água para um maior requerimento de quantidades de água. Dessas constatações surtem consequências manifestadas em forma de conflitos no uso e na captação de água em mananciais gradativamente mais distantes dos centros de consumo, revelando uma escassez desigual, em diferentes períodos do ano e em diversas regiões brasileiras, que padecem, de forma crônica ou sazonal, de défices significativos no abastecimento de água potável.

Como exemplo, podemos tomar algumas cidades do Brasil, como São Paulo, regiões metropolitanas de Fortaleza, Recife e Vitória. O mesmo tem ocorrido em cidades de grande e médio porte do interior, especialmente na bacia dos rios Piracicaba e Capivari, aonde os municípios de Piracicaba, Americana e Campinas vêm enfrentando há alguns anos problemas de descontinuidade no abastecimento de água.

Em um panorama mundial, de acordo com dados da World Resources Institute (WRI), um quarto da população mundial enfrenta estresse hídrico extremamente alto, situação que se configura quando os recursos hídricos de uma região ou país são insuficientes para as suas necessidades, abarcando 17 países sob essa condição atualmente. Esse cenário também pode ser expresso através da constatação de que um terço das principais áreas urbanas com mais de 3 milhões de habitantes também se encontram nessa mesma situação.

À medida que a agricultura irrigada, as indústrias e os municípios utilizam, em média, mais de 80% da oferta de água disponível todos os anos, um período de seca pode gerar um impacto catastrófico. 44 países, lar de um terço da população mundial, enfrentam níveis altos de estresse hídrico, onde, em média, é utilizada mais de 40% da oferta disponível todos os anos. Os países que utilizam até 20% do seu suprimento de água disponível têm um risco médio baixo de ficar sem o recurso hídrico (ABB, 2019).

Conforme Cai e Sengupta (2019), o panorama de estresse hídrico abrange, principalmente, países áridos, países que desperdiçam o recurso e países que extrapolam na exploração de suas águas subterrâneas. Toma-se como exemplo algumas cidades que enfrentam dificuldades acerca da indisponibilidade de água: capitais do México e de Bangladesh, Cidade do México e Daca respectivamente, dependem das águas subterrâneas para consumo e para atividades industriais e que por isso, a cada ano, aumentam a profundidade de seus poços, no intuito de extrair água de aquíferos mais profundos, situados centenas de metros abaixo da superfície.

A população de Chennai, Índia, acostumada a depender de suas águas subterrâneas devido a prática de exploração desenvolvida por anos, começa encarar a realidade de indisponibilidade do recurso. Em 2018, os moradores da Cidade do Cabo, na África do Sul, evitaram por pouco o “dia zero”, que implicaria no corte de abastecimento de água. No ano anterior, 2017, Roma, Itália, racionou água para conservar seus recursos que já são escassos. A seca mais recente em Los Angeles, Califórnia, terminou em 2019, porém seus suprimentos de água não acompanham o ritmo da demanda galopante.

As mudanças climáticas aumentam o risco, a medida que as chuvas se tornam mais irregulares, o suprimento de água se torna menos confiável. Ao mesmo tempo, à medida que os dias ficam mais quentes, mais água evapora dos reservatórios, assim como a demanda por esse recurso aumenta.

Esse problema, insuficiência de disponibilidade de água para o abastecimento, tem sido evitado nas metrópoles dos países desenvolvidos mediante planejamento adequado, interconexão de sistemas e mecanismos de financiamento estáveis para o setor.

3.9.1. Tendências climáticas

O ciclo anual das chuvas e de vazões do país varia entre bacias hidrográficas, assim como a variabilidade interanual do clima associada aos fenômenos de El Niño e La Niña e/ou, ainda, à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar anomalias climáticas que produzem grandes secas, por exemplo (Marengo, 2008).

Devido as incertezas associadas a essas variações, assim como a necessidade de previsão no tocante da disponibilidade de recursos naturais determinados pelo clima, as tendências climáticas passaram a ser tema discutido mundialmente a partir da 1ª Conferência Mundial do Clima, em 1979. Após, formou-se o Programa Climático Global, a partir do qual a Organização Meteorológica Global, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, United Nations Environment Programme) e o Conselho Internacional de Ciências sinalizaram seu interesse em buscar conhecimento em mudanças climáticas, em um esforço conjunto que culminou na criação da base das atuais atividades internacionais relativas ao aquecimento global (IPCC, 1992) (SCHUSTER, 2019).

Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC, International Panel on Climate Change) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pela UNEP, com o intuito de avaliar, interpretar e reunir todas as informações relevantes dos diversos estudos a respeito das mudanças climáticas que estavam sendo desenvolvidos na época (SCHUSTER, 2019).

O IPCC é organizado em três grupos de trabalho: o Grupo I se concentra no estudo das bases científicas do clima, o Grupo II trata dos impactos e adaptação das mudanças de clima e o Grupo III atualmente estuda a mitigação para mudanças climáticas.

Desde a sua criação, o IPCC já divulgou quatro grandes relatórios: o primeiro em 1992 (FAR, First Assessment Report), o segundo em 1995 (SAR, Second Assessment Report), o terceiro em 2001 (TAR, Third Assessment Report), o quarto em 2007 (AR4, Fourth Assessment Report) e o último em 2014 (AR5, Fifth Assessment Report) (SCHUSTER, 2019).

No FAR é afirmada a existência do efeito estufa natural e que as emissões geradas por atividades humanas aumentam substancialmente a concentração dos gases causadores deste efeito na atmosfera, resultando em um aumento médio da temperatura global.

O SAR alertou para mudanças climáticas identificadas em algumas regiões, como o aumento da incidência de temperaturas extremas, inundações e secas. Este relatório também afirmou que as evidências sugerem a influência do homem no clima global, estimulando muitos governos a intensificar as negociações que geraram o Protocolo de Kyoto (UNFCCC, s/d).

Já o TAR confirmou as descobertas do relatório anterior, fornecendo novas e mais fortes evidências do aquecimento do globo, enquanto o AR4 forneceu a base científica para os acordos de Marrakech. O AR5, por sua vez, informa sobre a importância da consideração de suas descobertas científicas nas negociações e formulações de políticas na 21ª Conferência das Partes (COP, Conference of the Parties), realizada em Paris em 2015 (SCHUSTER, 2019).

3.10. Resiliência, confiabilidade e robustez aplicadas a sistemas de abastecimento de água

Segundo IPCC (2014), o conceito de resiliência delimita-se a capacidade que sistemas sociais, econômicos e ambientais possuem para lidar com um evento que pronuncie perigo, imponha riscos, estabeleça alguma tendência ou distúrbio, respondendo de forma a reorganizar-se preservando a essência de suas funções, identidade e estrutura, ao passo que mantenham sua capacidade de adaptação e transformação frente a essas adversidades.

Nesse sentido, PIMM (1984) definiu a taxa de retorno ao equilíbrio, após distúrbio, como uma propriedade emergente dos sistemas, concebida como a intensidade e frequência de crises que um sistema socioecológico pode absorver sem que sofra mudanças fundamentais nas suas características funcionais, segundo Holling (1973).

Fatores reconhecidos como conferentes de resiliência ecológica e institucional a um sistema são descritos como atributos, tais quais: diversidade funcional, redundância, níveis de organização, flexibilidade, aprendizado, diálogo, adaptação.

A resiliência é um parâmetro que pode ser calculado através da Equação 3.1.

$$\text{Resiliência} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de vezes que um valor satisfatório segue um valor insatisfatório}}{\text{n}^{\circ} \text{ de valores insatisfatórios}}$$

Equação 3.1

Um sistema será considerado resiliente tanto quanto o valor da Equação 3.1 se aproximar de 1.

Portanto, incorporado a um sistema de abastecimento de água, resiliência quer significar a capacidade que o mesmo possui de recuperar-se após ter ocorrido uma falha. Nesse âmbito, o conceito de resiliência ganha importância no contexto de escassez de água, ou quando há variabilidade climática, com ocorrência de eventos extremos, por exemplo, secas prolongadas (CUELLAR e PEREIRA, 2015).

A confiabilidade remete-se ao grau de confiança que um sistema oferece. Ao analisar a confiabilidade de um sistema urbano de abastecimento de água, avaliam-se os níveis de confiança e credibilidade que o mesmo fornece. Para tanto, mede-se a frequência com que o sistema falha, através da Equação 3.2.

$$\text{Confiabilidade} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de valores satisfatórios}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de valores}}$$

Equação 3.2

Conforme a Equação 3.2, entende-se que quanto mais próximo de 1 o resultado se mostrar, maior será a confiabilidade apresentada pelo sistema estudado.

Indo um pouco além, segundo Miranda (2002), o grau de confiabilidade está diretamente relacionado aos erros e à veracidade dos dados empregados no desenvolvimento de um estudo, que determinarão o nível de confiança em que as informações disponíveis se encontram.

Conforme Alegre et al. (2000), para permitir comparações entre entidades gestoras se faz fundamental estabelecer (ou reconhecer) a qualidade da informação pretendida e, para isso, os graus de confiança necessitam ser adequadamente escolhidos e consistentemente aplicados. De forma semelhante, Silva et al (1998) versa sobre a confiabilidade a condicionando ao grau de validação dos dados que, por sua vez, é determinado a partir da avaliação dos dispositivos de medição e controle.

Conforme proposto por Bessey e Lambert (1994), a confiabilidade pode ser especificada em muito confiável, confiável, pouco confiável e sem confiabilidade, classificações descritas a seguir:

- Muito confiável:

Dados reais: baseados em medições exaustivas, registros fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo;

Previsões: baseadas em extrapolações de registros de alta qualidade cobrindo 100% da área de influência da entidade gestora, mantidos e atualizados por um mínimo de 5 anos (a previsão terá sido revista durante o período de produção dos relatórios);

- Confiável:

Dados reais: com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registros não confirmados, ou ainda ter-se incluído alguns dados por extrapolação;

Previsões: baseadas em extrapolações de registros cobrindo mais de 50% da área de influência da entidade gestora, mantidos e atualizados por um mínimo de 5 anos. A previsão terá sido revista durante os dois anos anteriores;

- Pouco confiável:

Dados reais: baseados em extrapolações a partir de uma amostra limitada;

Previsões: baseadas em extrapolações de registros cobrindo mais de 30% da área de influência. A previsão terá sido revista durante os cinco anos anteriores;

- Sem confiabilidade:

Dados reais: baseados em dados transmitidos verbalmente e não confirmados em inspeções ou análises sem os devidos cuidados;

Previsões: baseadas em extrapolações de registros.

Por fim, a robustez, conforme ANA e CGEE (2016), é entendida como a capacidade do sistema perseverar nos diversos futuros alternativos factíveis. Em recursos hídricos, como propriedade essencial da robustez, a capacidade do sistema em manter suas funções e operações nos diversos futuros alternativos.

3.11. Segurança hídrica

Conforme a ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU (2013), o conceito de segurança hídrica consiste na definição a seguir.

“A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem estar humano, o desenvolvimento sócioeconômico; para

assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.”

Ainda segundo a ONU, a definição acima está intrinsecamente relacionada com o gerenciamento sustentável da água para todo o ciclo hidrológico e que esse se dê por meio de um enfoque multidisciplinar, para que o desenvolvimento socioeconômico seja beneficiado, reforçando a resiliência da sociedade acerca dos impactos ambientais e doenças transmitidas pela água, sem comprometer a saúde atual e futura das populações e ecossistemas.

Para tanto, atingir a segurança hídrica demanda que a alocação de água seja realizada de maneira justa, eficiente e transparente; que a água para satisfação das necessidades básicas humanas esteja disponível a todos por um custo acessível; detenha capacidade de gerenciar conflitos, quando surgirem (ONU, 2013).

Ainda, pela concepção da ONU, o conceito de segurança hídrica contém mais elementos:

- Proteção à vida e direitos humanos, a valores culturais e recreativos;
- Preservação e proteção dos ecossistemas na alocação e na gestão dos sistemas de água, a fim de manter a sua capacidade de fornecer e manter a função dos serviços essenciais dos ecossistemas;
- O fornecimento de água para o desenvolvimento socio-econômico e atividades produtivas (como energia, transportes, indústria, turismo);
- A coleta e tratamento de água devem ser usados para proteger a vida humana e o ambiente contra a poluição;
- Abordagens colaborativas para gestão de recursos hídricos transfronteiriços dentro e entre países para promover a sustentabilidade de água doce e a cooperação;
- A capacidade de lidar com as incertezas e os riscos de perigos relacionados com a água, tais como inundações, secas e poluição, entre outros;
- Boa governança, prestação de contas e a devida consideração aos interesses de todas as partes interessadas, através de: regimes jurídicos adequados e eficazes; instituições transparentes, participativas e responsáveis; infraestrutura devidamente planejada, operada e mantida; desenvolvimento de capacidades.

De acordo com a ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE (2013), segurança hídrica é gerir os riscos que estão associados à água,

incluindo os riscos de: armazenamento, excesso de poluição, bem como os riscos de enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce.

A partir dessa outra conceitualização acerca do tema segurança hídrica, introduzida pela OCDE, é possível identificar a variável risco, a qual define a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um determinado evento e os impactos (positivos e/ou negativos) resultantes (MELO e JOHANSSON, 2017).

Os riscos estão ligados às variáveis de fornecimento de água, garantia de acesso, qualidade de água e consquentes limitações ao uso, excessos de água, como na ocorrência de enchentes e comprometimento das funções ecológicas da água (OCDE, 2013). Portanto, a mensuração do risco e o processo de julgamento de aceitabilidade e tolerância do mesmo, permitem aos decisores políticos priorizarem ações de gestão, uma vez que a definição do risco aceitável para determinada sociedade estabelece as metas de gestão das águas, o que, por sua vez, possibilita quantificar o conceito de segurança hídrica.

3.12. Os sistemas brasileiros de abastecimento de água

3.12.1. Sistema de abastecimento público de água

Um sistema de abastecimento de água pode ser concebido e projetado para atender a pequenos povoados até grande cidades, o que incute variações em suas respectivas características, como seu porte de instalação.

Um sistema de abastecimento público de água pode ser definido como um conjunto de obras, instalações e serviços que se destinam a produzir e distribuir água com qualidade a uma comunidade em quantidades compatíveis com as necessidades da população local, bem como caracterizado como um meio pelo qual se retira água do meio ambiente, potabiliza-se a mesma e, por fim, a transporta até os aglomerados humanos, onde será fornecida à população.

Na falta de um sistema de abastecimento público de água, tem-se os sistemas individuais, os quais são indicados para as áreas rurais, onde a população é dispersa, para as áreas periféricas de centros urbanos, para comunidades urbanas com características rurais. Ainda, apresentada como uma solução provisória, enquanto se aguarda soluções mais adequadas, o sistema individual de abastecimento de água pode ser aplicado nas áreas urbanas.

Sob o ponto de vista sanitário, a solução coletiva, para abastecer uma população, é a mais interessante por favorecer diversos aspectos, como: proteção do manancial; supervionamento; controle da qualidade da água consumida; redução de recursos humanos e financeiros.

Em geral, os sistemas de abastecimento de água visam, fundamentalmente: controlar e prevenir doenças de veiculação hídrica; implantar hábitos de higiene na população; facilitar a

limpeza pública e as práticas desportivas; propiciar conforto bem estar e segurança; aumentar a expectativa de vida através da redução da mortalidade; aumentar o tempo de vida produtiva do indivíduo; facilitar a implementação da indústria e do turismo; facilitar o combate a incêndios (Manual de Saneamento, FUNASA).

3.12.2. Demanda por água

Dentre todos os usos dado à água no Brasil, o abastecimento humano e animal se dá através dos sistemas de abastecimento de água, públicos e/ou particulares, nas zonas urbanas e nas zonas rurais das cidades. São eles que garantem que o recurso hídrico seja explorado em sua respectiva fonte de produção e chegue até o usuário, com qualidade, obedecendo aos padrões técnicos de potabilidade.

As parcelas utilizadas de água podem ser classificadas em retirada: água total captada para uso; retorno: água retirada do manancial que retorna para o mesmo; consumo: água retirada que não retorna para os corpos hídricos, ou seja, de forma simplificada, é a diferença entre a retirada e o retorno. A Figura 3.10 e a Figura 3.11 elucidam os conceitos mencionados e descritos.

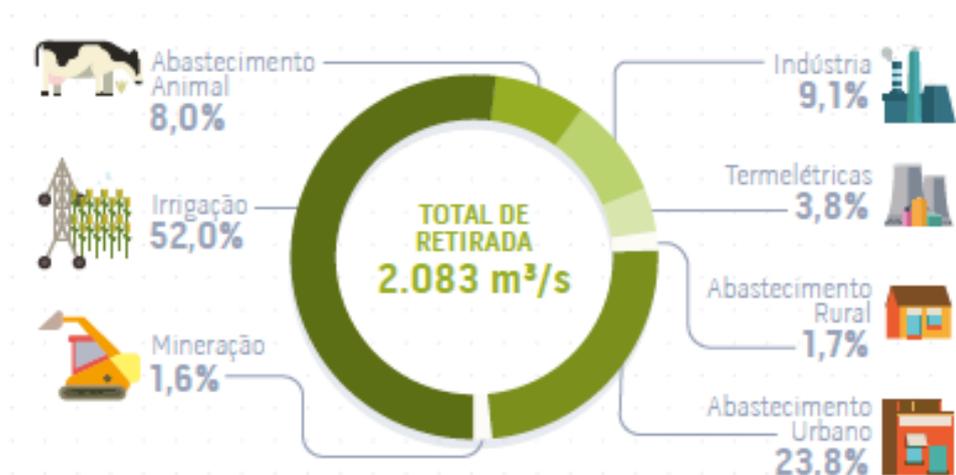


Figura 3.10. Média anual de água retirada no Brasil.
(Fonte: Relatório Conjuntura ANA, 2018.)



Figura 3.11. Média anual de água consumida no Brasil.
(Fonte: Relatório Conjuntura ANA, 2018.)

Em relação à retirada de água dos mananciais hídricos brasileiros, fora aumentado cerca de 80% sobre o total nas últimas décadas, ou seja, houve um aumento crescente da demanda por água no Brasil. Para 2030 a previsão é de aumento em mais 24% de retirada de água. Esse histórico de aumento do consumo de água está diretamente relacionado com a evolução dos usos da água, que, por sua vez, vincula-se ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, bem como a taxas populacionais crescentes.

Ao se realizar o balanço hídrico, isto é, comparar as demandas de uso da água, em termos quantitativos e qualitativos, de modo que exista quantidade de água disponível no meio e, ainda assim, obter-se um resultado desfavorável, pode-se concluir que o sistema de abastecimento de água sofre uma alta vulnerabilidade. A Figura 3.12 identifica as demandas por água no país.

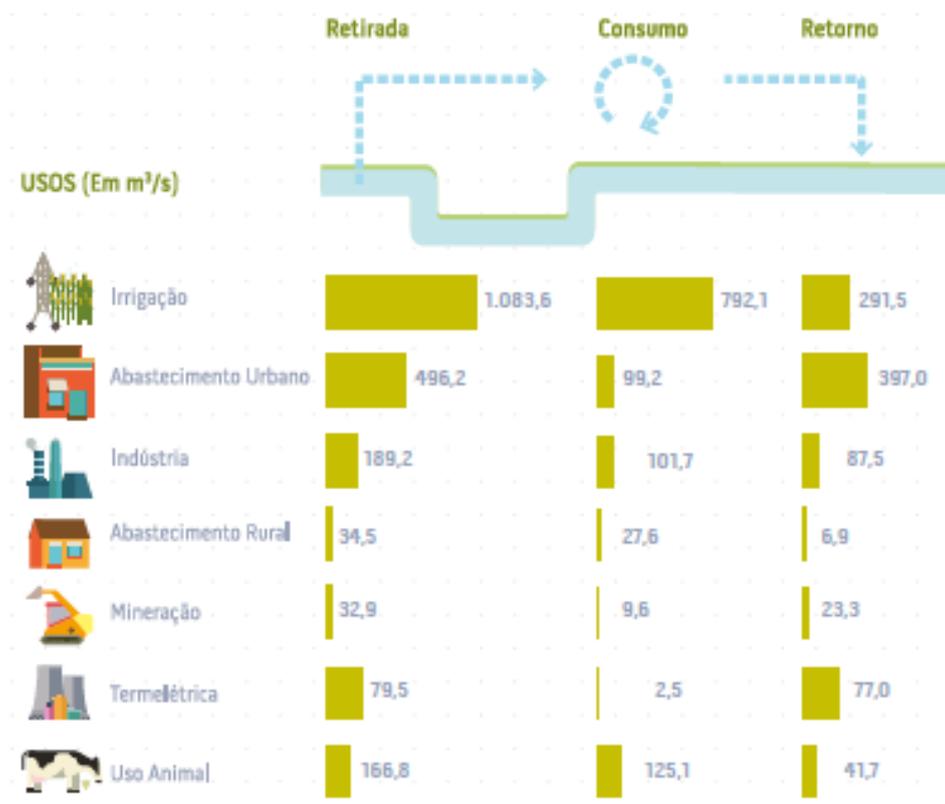


Figura 3.12. Demanda de água por finalidade no Brasil.
(Fonte: Relatório Conjuntura ANA, 2018.)

Concordando com a tendência de aumento da quantidade de água consumida no Brasil conforme projeções futuras, o relatório de conjuntura da ANA (2013) expõem dados que avaliam os sistemas brasileiros de abastecimento de água para o ano de 2025, concluindo que se fará necessário a elaboração de um projeto que possibilite maior fornecimento de água para as cidades brasileira, conforme dados que seguem.

- 45% dos sistemas de abastecimento de água, respectivos a cidades brasileiras, estarão atuando de forma satisfatória;
- 55% do total de sedes irão requerer investimentos para garantia da oferta de água;
- 46% dos sistemas de abastecimento de água necessitarão de ampliação;
- 9% das cidades brasileiras necessitarão de um novo manancial.

A Figura 3.13 ilustra caracterizada as localidades brasileiras em termos de falta de produção de água. Ou seja, quais sistemas de abastecimento de água estão provendo água suficiente para a população local, quais necessitam ser ampliados e quais requerem uma novo fonte de água.

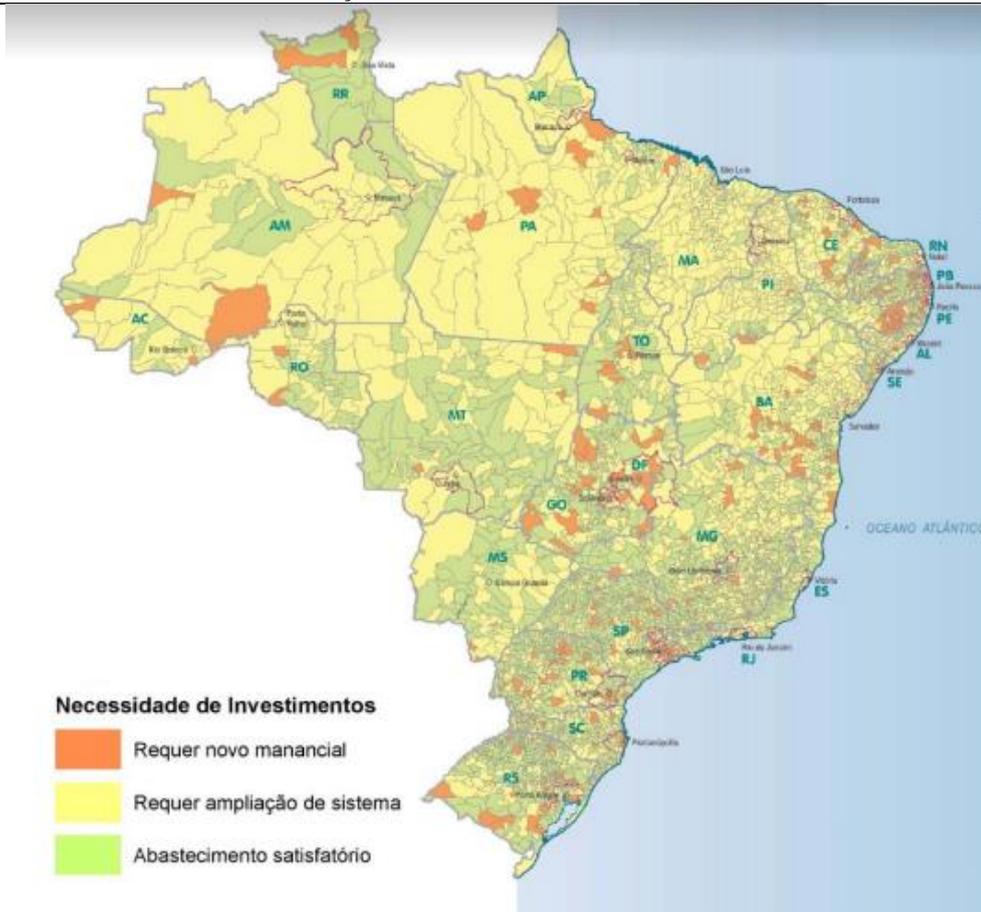


Figura 3.13. Avaliação da oferta e da demanda por água nas localidades brasileiras.
(Fonte: Relatório Conjuntura ANA, 2013.)

Abaixo apresenta-se uma inequação, a partir da Equação 3.3, a qual rege o abastecimento de uma cidade ou região, uma vem que o mesmo depende da boa consecução dessa equação. Do contrário, uma concessionária de saneamento não garantirá a qualidade requerida ao público consumidor, nem tão pouco garantirá a satisfação de seus clientes.

$$\frac{\textit{produção}}{\textit{demanda}} \geq 1$$

Equação 3.3

Desse modo, há que se empregar esforços e recursos para ampliação da oferta (produção de água), da mesma forma que há de se gerenciar a demanda, principalmente nos dias de hoje, quando a escassez dos recursos naturais se apresenta, muitas vezes, de maneira intensa. Para tanto, nos atemos a compreender a demanda a partir do correto entendimento da equação da demanda, trazida pela Equação 3.4:

$$\textit{demanda} = \frac{EC \cdot CPE \cdot k}{\frac{IPD}{100}} \cdot 1000$$

Equação 3.4

Em que,

EC: número de economias residenciais atendidas;

CPE: consumo por economia, em litros/economia.dia;

k: coeficiente do dia de maior consumo;

IPD: índice de perda na distribuição de água anualizada, em %.

Para os possíveis resultados da equação 3, a figura abaixo demonstra os possíveis caminhos a serem tomados, cada qual com sua respectiva consequência (FUNASA, 2014).

Quadro 3.4. Ações e consequências referentes aos possíveis resultados da Equação 3.3.

Condição da relação Produção/Demanda	Estágio/Ação	Consequência
> que 1	Normalidade, requerendo que os planejamentos anuais estejam constantemente controlando a relação.	Nenhuma
= a 1	Anormalidade iminente, requerendo elevação da produção e/ou redução da demanda.	Susceptibilidade a racionamentos, principalmente em casos de panes no sistema de abastecimento de água e/ou nos picos raros de consumo (alta temporada, elevadas temperaturas etc.)
< que 1	Absoluta anormalidade, requerendo-se de Planos de Racionamento e/ou aumento de produção e/ou redução de demanda.	Racionamento

(Fonte: FUNASA, 2014.)

Observa-se na Equação 3.4 o indicador de perda d'água, portanto, entende-se que se estreitam as relações entre os índices de perdas dos sistemas de abastecimento de água com a demanda das cidades. Em decorrência dessa relação, depreende-se que quanto maiores os índices de perdas se apresentarem, maiores serão os valores de demanda, por decorrência.

Visando satisfazer a inequação produção/demanda, comum tem sido, por facilidade e sem levar em conta o retorno de investimentos, a elevação da oferta de água (produção), decisão que se apresenta, de maneira geral, mais simples e rápida. Considerando-se o aspecto econômico para as tomadas de decisões, ora se impõe a redução da demanda, a qual pode se dar via redução dos índices de perdas, relação que a Equação 3.3 explica, e ora se impõe a elevação da oferta.

3.12.3. Perdas de água nos sistemas de abastecimento

Segundo a Associação Internacional de Água, definem-se perdas como “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento de custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional” (IWA, 2007).

A Figura 3.14 apresenta a Matris do Balanço Hídrico, proposto pela IWA, para a estruturação do problema das perdas nos sistemas de abastecimento de água.



Figura 3.14. Definições acerca do assunto de perdas de água – Balanço hídrico da IWA. (Fonte: IWA, 2007.)

As principais leituras que podem ser feitas a partir da interpretação da matriz quanto a estruturação dos usos da água em um sistema de abastecimento é o entendimento das terminologias – Perdas reais e perdas aparentes é a definição da diferença entre águas não faturadas e perdas. Esclarecendo, perdas reais referem-se ao vazamentos ocorrentes ao longo do sistema de abastecimento, assim como os extravasamentos de água tratada dos reservatórios. Também podem ser chamadas de “perdas físicas” de água.

Já as perdas aparentes se propõe a tratar das águas que são consumidas e que não são faturadas pela companhia de saneamento. Decorrem, principalmente, de submedição de nos hidrômetros, assim como de fraudes por parte dos consumidores. As perdas aparentes também podem ser chamadas de “perdas comerciais”.

Ainda, a definição de águas não faturadas representa todo o uso legítimo de água, mas que não é faturado pelas concessionárias de água, tais como combate a incêndio, abastecimento de água em assentamentos urbanos, irregulares etc.

Como método fundamental para a realização da avaliação das perdas é a quantificação volumétrica das frações delineadas no balanço hídrico, exposto pela Figura 3.14. Sem essas informações se torna impossível exercitar qualquer técnica de gestão técnica que se dedique a melhoria da eficiência operacional do sistema de abastecimento de água.

Para tanto, a medição, em termos de volumes, se dá a partir de dois vieses: a macromedição e a micromedição. A macromedição é a apuração dos volumes produzidos pelos sistemas produtores de água e que são disponibilizados à distribuição. Os macromedidores podem ser instalados na saída de um poço de bombeamento, por exemplo, ou na entrada de um reservatório. É referência principal de todo o balanço hídrico.

Por sua vez, a micromedição é a apuração dos volumes de água medidos na entrada das residências, imóveis comerciais, indústrias e assim por diante, ou seja, é a medição de água já no consumidor final, onde se é realizada leituras periódicas nos hidrômetros instalados.

Deve-se mencionar que, além da importância da instalação de um extenso sistema de medição, ou seja, contemplar todo o sistema de água produtivo com instrumentos de medição, é fundamental que os medidos sejam calibrados, adequados as condições as quais estão submetidos. Ainda, na efetiva avaliação e gestão das perdas as medições não se restringem apenas aos volumes, mas também a outros parâmetros operacionais, como pressão da rede, pressão em pontos notáveis do sistema e a medição dos níveis dos reservatórios setoriais.

No Brasil, a região Norte possui o maior índice de perdas, no ano de 2019, por exemplo, a cada 100 litros produzidos e tratados cerca de 55,2 litros foram perdidos. Nessa mesma região o menor índice de perda de água ocorreu no ano de 2015, 46,3 litros perdidos a cada 100 litros. Por outro lado, a região com menor índice de perda é a Centro-Oeste, contabilizando 34,4 litros perdidos a cada 100. Na Figura 3.15 pode-se observar a variação dos índices de perda de água em diferentes regiões do Brasil.

Figura 3.15. Perdas de água na distribuição dos sistemas de abastecimento, para diferentes regiões do Brasil.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Região Norte*	51.2	49.7	49.3	50.8	47.9	46.3	47.3	55.1	55.5	55.2
Região Nordeste*	50.8	51.4	44.6	45.0	46.9	45.7	46.3	46.3	46.0	45.7
Região Sudeste*	34.4	34.3	33.5	33.4	32.6	32.9	34.7	34.4	34.4	36.1
Região Sul*	35.4	35.6	36.4	35.1	33.4	33.7	36.3	36.5	37.1	37.5
Região Centro-Oeste*	33.8	33.6	32.4	33.4	34.2	35.5	35.0	34.1	35.7	34.4
Brasil*	38.8	38.8	36.9	37.0	36.7	36.7	38.1	38.3	38.5	39.2
Municípios Amostrados**	4936	4931	5064	5030	5106	5077	5161	5117	5136	5177

No comparativo de todo o período se conclui que desde 2010 não ocorreram reduções significativas dos índices de perdas, sendo que em algumas regiões os mesmos até aumentaram. Em países desenvolvidos esses índices variam de 8 a 24% e em nações em desenvolvimento de 25 a 45%.

3.12.4. Carências dos sistemas de abastecimentos de água

A configuração deste cenário não ideal está associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica, especialmente em sistemas de produção de água. Ademais, fatores como

precipitações abaixo da média, temperaturas médias elevadas, altas taxas de evapotranspiração, etc., podem agravar a situação, possibilitando a instalação de períodos de crise hídrica por escassez, como já ocorrido em diversas regiões do Brasil nos últimos anos. Práticas de lançamento de efluentes, especialmente de esgoto não tratado, nos corpos hídricos também possuem o poder de interferir no balanço hídrico, no caso, negativamente, agravando o quadro de criticidade por indisponibilizar o uso da água de determinado manancial devido à poluição (ANA, 2018).

Para ser assegurada a segurança hídrica dos sistemas de abastecimento se faz necessário a implementação de medidas como: políticas e planos incorporados em um processo de desenvolvimento hídrico nacional, atividades de planejamento para expansão das fontes de produção de água, investimento em armazenamento e transporte de água, bem como na proteção do recurso, obtenção de dados com alta confiabilidade, que mensure os benefícios e riscos, embasando as tomadas de decisão para exercício de medidas precisas (MELO e JOHNSSON, 2017).

3.12.5. Soluções aplicadas às crises hídricas

3.12.5.1. Transposição de bacias

A transposição de bacias consiste na importação de água de um local que esteja em uma situação hídrica confortável, ou seja, que dispõe do recurso natural, por um local onde a disponibilidade hídrica seja insuficiente.

Essa prática é realizada há muito anos, remontando a época dos romanos, sociedade essa que praticava uso intensivo de água para abastecimento domiciliar e de suas terras. Inicialmente, captavam água de mananciais disponíveis que estivessem geograficamente próximos a aglomerações humanas e à medida que o curso d'água se tornava insuficiente para atender toda a demanda e/ou devido à poluição através da disposição inadequada de esgoto, os romanos passavam a explorar uma segunda fonte de água mais próxima, até que a mesma situação voltasse a ocorrer novamente e assim sucessivamente. Estes hábitos deram origem a construções de grandes aquedutos, dos quais muitos resistem ao tempo, existindo até os dias de hoje (Afonso, Hespanhol e Machado, 2018).

Uma obra de transposição de bacia pode ser composta de uma série de estruturas, tais como: canais de condução, barragens, estações de bombeamento, aquedutos, túneis, galerias, etc.

3.12.5.2. Reservatórios artificiais

Reservatórios artificiais são obras que oferecem infraestrutura hídrica local, visando garantir a segurança hídrica para a bacia na qual estão inseridos. Considerando que em muitos locais do mundo a precipitação ocorrente apresenta grandes oscilações ano a ano, estação a

estação, propiciando períodos de baixa disponibilidade de água local, os reservatórios artificiais amenizam os impactos causados por essa falta d'água, em virtude de armazenarem água durante os períodos úmidos e disponibilizarem parte desse volume nos períodos de estiagem.

Essa atividade de “estocagem de água” altera a disponibilidade hídrica da bacia e, por conseguinte, as atividades que nela podem ser desenvolvidas durante o ano. A presença de um reservatório artificial regulariza as flutuações sazonais das vazões. Em 2017, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil possuía 172.837 reservatórios artificiais mapeados, o que ocupa uma área superficial de quase 45 mil km².

Contudo, os reservatórios artificiais quando construídos não garantem uma disponibilidade absoluta de água. Ainda, níveis baixos de pluviosidade podem decorrer no esvaziamento dessas estruturas conforme a demanda por água.

Tomamos como exemplo três regiões brasileiras que mais contribuem para a armazenagem de água do Sistema Interligado Nacional (SIN) de geração de energia elétrica: Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco. Os períodos úmidos entre os anos de 2012 e 2017 apresentaram chuvas muito abaixo da média, o que resultou em reduzidas recargas dos reservatórios artificiais presentes em suas respectivas bacias hidrográficas. Conseqüentemente, os reservatórios foram deplecionados drasticamente, a fim de atender diversos usos da bacia, o que culminou em níveis extremamente baixos de água dentro da estrutura.

Com a baixa disponibilidade de água dentro dos reservatórios artificiais, diversas atividades são comprometidas, tais como: abastecimento, irrigação, navegação, etc. As medidas de gestão que foram tomadas consistem em diminuir a vazão retirada dos reservatórios, regras operativas de reservatórios, efetivação de processos de alocação negociada da água - disciplina os usos, estabelecido a partir do acompanhamento do estado hidrológico de cada reservatório (ou sistema hídrico) - elaboração de estudo de análise custo/benefício de medidas de mitigação do impacto das secas, elaboração de planos de contingência de sistemas hídricos e realização de chamamento público para seleção de projetos de reúso de água. Em casos de estiagem intensa e/ou prolongada, pode-se estabelecer regras de restrição de uso de água, com intuito de preservar e prolongar a disponibilidade hídrica, a fim de garantir o atendimento aos usos prioritários, como consumo humano e dessedentação animal.

Órgãos gestores atuam como tomadores de decisão em situações de seca, baseados em dados rotineiros do campo, como cadastro de usuários, medição de vazão, levantamentos batimétricos, operação dos reservatórios e sistema de monitoramento (ANA, 2018).

3.12.5.3. Reúso da água

O conjunto, cada vez mais diversificado, das atividades humanas concomitantemente ao crescimento demográfico vêm exigindo maior atenção às necessidades de usos da água, as quais demandam parâmetros quantitativos e qualitativos. Paralelamente, há locais onde a exigência pelo recurso hídrico limita-se por condições de má distribuição e por escassez. Novamente, surge uma das grandes questões que a gestão de recursos hídricos busca conciliar e adequar que é a relação entre demanda e oferta de água (BORANGA e PHILIPPI JR., 2002).

A demanda pelo uso de água no Brasil teve um aumento de 80% nas últimas duas décadas e a previsão é de que, até 2030, a retirada do recurso aumente 24%. A alta vulnerabilidade dos sistemas hídricos decorre de um balanço hídrico desfavorável, associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica, principalmente a dos sistemas de produção de água, e períodos de precipitações abaixo da média e, já é sabido que, essas condições podem conduzir a momentos de crise hídrica por escassez.

Como importante instrumento de gestão e impulsionada pela premência de melhora da disponibilidade hídrica, o reúso de água, proveniente de qualquer exercício, é uma alternativa comprovada apropriada para a diminuição de pressão sobre os recursos hídricos (ANA, 2018). Conforme Lavrador Filho (1987), o reúso da água consiste no aproveitamento de águas previamente utilizadas em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, incluindo seu uso original.

Em 2017, foi estimado que o reúso de água não potável no Brasil corresponde a 2 m³/s. Não se limitando a somente um aproveitamento, estudos e definições para o reúso de água são realizados também para outros destinos: potável, manutenção das vazões de cursos d'água, aquicultura, agricultura, irrigação, recarga de aquíferos etc.

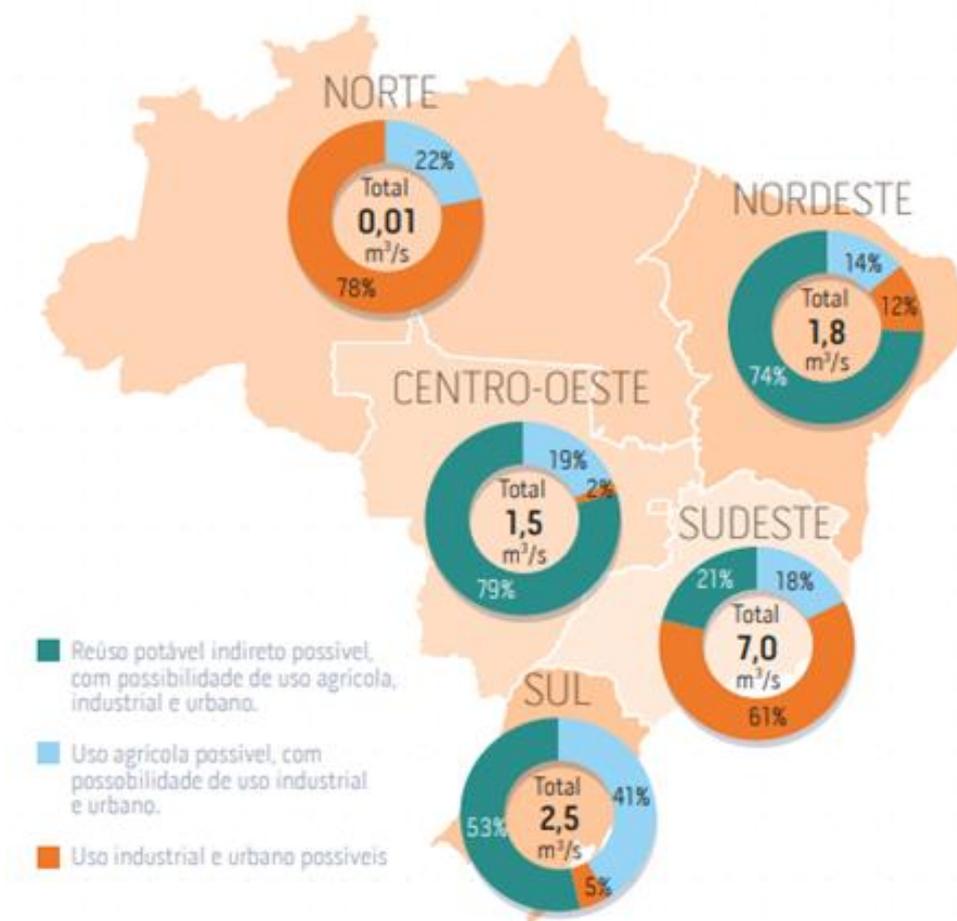


Figura 3.16. Estimativa do potencial de reúso no curto e médio prazo. (Fonte: ANA, 2018.)

CrITÉRIOS e padrŁes de qualidade sŁo aplicados a água de reúso, ressaltando-se questŁes de saúde pública, aceita o da água pelo usuário, preserva o do ambiente, qualidade da fonte de água e adequa o da qualidade para o uso pretendido.

O cenário atual da qualidade das águas brasileiras   apresentado a partir dos indicadores de oxig nio dissolvido (OD) e da demanda bioquímica de oxig nio (DBO). O OD   vital para a preserva o da vida aquática, a qual, por sua vez, tem papel fundamental para a manuten o de processos nos corpos hídricos, como a autodepura o. O Atlas Esgotos (ANA 2017), mostra que os esgotos domésticos nŁo tratados sŁo uma grande fonte poluidora no Brasil, portanto, um tratamento adequado dos efluentes domésticos reduziria os níveis de DBO nos rios brasileiros de maneira significativa.

Conforme a ANA (2018), a meta proposta a ser atingida quanto ao reúso nŁo potável direto no Brasil   de, aproximadamente, 13 m s/s até 2030, número esse que representa 4% do total de água reutilizada no mundo, o que colocaria o Brasil, caso as metas sejam atingidas, numa posi o de destaque mundial nesse quesito. Para o médio prazo, 5 a 10 anos, o potencial para reúso planejado de efluente sanitário no Brasil   estimado entre 10 e 15 m s/s,

comparadamente a capacidade instalada atual. No longo prazo, espera-se que o alcance de água reutilizada esteja em torno de 175 m³/s, valor que será de grande importância para o incremento de água para as fontes que abastecem os sistemas no país.

Reúso indireto não planejado

Ocorre quando a água que já foi utilizada uma ou mais vezes, seja no uso doméstico ou industrial, é descartada nas águas superficiais ou subterrâneas e é novamente utilizada, à jusante, de forma diluída. Após o descarte no meio ambiente, o efluente sofrerá processos como autodepuração, sedimentação, entre outros, além de eventuais contatos com outros despejos advindos de diferentes atividades. A prática não é intencional, nem mesmo controlada, sendo assim, neste caso o reúso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante.

Reúso Indireto planejado

Após os efluentes serem convenientemente tratados são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados à jusante, em sua forma diluída e de maneira controlada.

Reúso planejado

É o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades, como: irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, pressupondo a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda a padrões de qualidade requeridos pelo novo uso, que se deseja fazer, da água.

Reúso Direto planejado

Ocorre quando os efluentes após devidamente tratados são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso. No percurso do descarte ao uso, os efluentes sofrem tratamentos adicionais e armazenamento necessário. Não são descarregados no meio ambiente.

Reciclagem de água

Caracteriza-se pelo reúso interno de água antes da mesma ser descartada em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Caso particular do reúso direto.

Reciclagem Interna

Caracteriza-se pelo reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e controle da poluição (BREGA FILHO e MANCUSO, 2002).

3.12.5.4. Bombeamento de água subterrânea

A perfuração de poços surge como uma das principais soluções alternativas de abastecimento de água para regiões que não possuem rede pública, bem como para aquelas em que a rede pública não consegue garantir a qualidade ou quantidade de água suficiente ou, ainda, representa uma alternativa para diminuir custos com tarifas cobradas pelos prestadores do serviço público de águas (HIRATA e VILLAR, 2017).

Estima-se que a disponibilidade de água subterrânea no Brasil seja em torno de 14.650 m³/s. Da mesma forma, como ocorre com as águas superficiais, a distribuição de água advinda de mananciais subterrâneos não é uniforme, as características hidrogeológicas e produtividade de cada aquífero são variáveis, havendo regiões com escassez e outras com relativa abundância (ANA, 2018).

Quanto à qualidade da água subterrânea, ela é condicionada por variáveis naturais que se interligam, por exemplo, ao regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, e por impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes, provenientes de fontes pontuais e fontes difusas, o manejo dos solos, entre outros (HIRATA e VILLAR, 2017).

No Brasil, os aquíferos são intensamente explorados para o abastecimento público e privado. A Política Nacional de Recursos Hídricos, salvo nos casos dos usos isentos, condicionou a extração das águas subterrâneas à obtenção de outorga. Os Estados são titulares do domínio, portanto regulamentam os procedimentos para os usos isentos e para a obtenção das outorgas de uso. A outorga atribui ao interessado, público ou privado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico, desde que atendidos os requisitos da legislação de águas (HIRATA e VILLAR, 2017).

Em julho de 2018, segundo a ANA (2018), os poços cadastrados no Brasil totalizavam mais de 302 mil. Uma nova projeção da quantidade de poços tubulares existentes no país indica a ordem de 1,2 milhão, o que representa um aumento anual de mais de 22% em relação à estimativa realizada em 2008.

Do ponto de vista dos municípios e estados que utilizam como base de fonte produtora de água os sistemas subterrâneos, o bombeamento de água através de poços é uma alternativa bastante atraente, uma vez que, geralmente, essa água possui qualidade superior à água dos reservatórios superficiais, artificiais e não artificiais e apresenta custos de exploração e produção reduzidos quando comparados aos ‘sistemas convencionais’.

Para tanto, a seguir, são destacadas algumas vantagens das águas subterrâneas comparativamente com as águas superficiais.

- i. Custo de captação de água inferior, pois não há necessidade de construção de barragens, adutoras de recalque e estação de tratamento, o que diminui os custos operacionais;
- ii. Prazo para construção de um poço tubular profundo é, geralmente, inferior ao prazo de construção de uma captação superficial de um rio, por exemplo;
- iii. Os poços podem ser construídos em função do crescimento da demanda de água, o que possibilita um parcelamento dos investimentos;
- iv. Risco de contaminação do aquífero é baixo quando os poços são bem construídos;
- v. As águas subterrâneas, geralmente, apresentam melhor qualidade para o consumo humano, de maneira a não necessitar de tratamentos complexos;
- vi. As águas subterrâneas encontram-se naturalmente melhor protegidas dos agentes de poluição que atingem rios e lagos;

3.12.6. Cidades que apresentaram insuficiência de água em seus sistemas subterrâneos para cumprimento da demanda

3.12.6.1. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil

A cidade de Ribeirão Preto é abastecida, exclusivamente, por água subterrânea, prática essa que está provocando um acentuado abatimento piezométrico do aquífero na região, configurando a existência de superexploração. A cidade está situada sobre os aquíferos Botucatu e Pirambóia, que constituem o aquífero Guarani e em grande parte do município o aquífero se apresenta confinado no topo por rochas basálticas.

Em 2006, ações de restrição e controle da exploração foram tomadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, desde então, a construção e operação de poços nessa área tem priorizado o uso de água para abastecimento público, com limitações de quantidades e distâncias entre poços e tempo diário de operação. A área de exploração do aquífero fora dividida em três zonas: de maior restrição (correspondente ao local de maior rebaixamento de água), zona em que são permitidas substituições e construção de novos poços para o sistema público de abastecimento de água e, por fim, zona em que são permitidas substituições de poços do sistema público e construção de novos poços independentemente do uso.

Em 2017, existiam 374 poços em operação, sendo 100 poços do sistema de abastecimento público e 274 poços de terceiros, com extração anual de 122 e 14 milhões de metros cúbicos, respectivamente. Ou seja, o sistema público representa cerca de 90% do volume extraído.

Desde 2006, quando foi implantado as zonas de restrição, confirmou-se um aumento de 30% do volume extraído e, desde então, o lençól freático do aquífero não deixou de ser rebaixado, o que gera, dentre as consequências dessa condição, impactos econômicos, uma vez que a capacidade de produção dos poços é diminuída o que, em alguns casos, torna inviável a continuidade de operação do poço, exigindo sua substituição por outro que atinja maiores profundidade e diâmetros, o que, por sua vez, causa um aumento no custo do sistema de elevação de água, pois se é necessário consumir mais energia para bombear o recurso de maiores profundidades. Isto é, o cenário de superexploração continua se agravando, o que exige que alguma outra medida seja tomada.

Com base nas estimativas de balanço hídrico de 2016, a vazão total extraída é de 15.759 m³/h e a vazão total de recarga é de 5.215 m³/h, resultando em um déficit hídrico de 10.508 m³/h. Aplicando-se esse déficit para a área total do município de 651 km², o déficit por unidade de área é de 16 m³/h/km².

O que Perroni, Braga e Perroni (2018) propuseram a este caso, o aprimoramento do gerenciamento da exploração, estruturando um sistema municipal permanente de monitoramento dos níveis do aquífero, da qualidade da água e dos volumes do recurso extraído do Aquífero Guarani, que será responsável pela coordenação de hardware e software, registro, análise e divulgação dos dados e informações coletadas. Baseiam seus critérios para o gerenciamento da exploração na busca da equalização do déficit hídrico (PERRONI, BRAGA E PERRONI, 2018).

3.12.6.1.1. Grande Recife, Pernambuco

Conforme Manoel Filho (2004), a Grande Recife abrange os municípios de Recife, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Olinda e Paulista, além de parte dos municípios de Jaboatão dos Guararapes de Abreu e Lima e de Igarassu. Na região metropolitana do Recife é onde se encontra a maioria dos poços existentes em exploração para abastecimento e a maioria de poços e fontes de água mineral. Essa área cobre uma superfície de aproximadamente 460 km².

A cidade possui 3,5 milhões de habitantes e cerca de 98,5% dessa população encontra-se na zona urbana. Se mantido o ritmo de crescimento, observado nos últimos 40 anos, em 2050 Recife contará com 6 milhões de habitantes.

A geologia do local é marcada pela bacia sedimentar costeira Pernambuco Paraíba – Rio Grande do Norte, onde ocorrem as formações Cabo e Beberibe, que são considerados, dentre suas características e singularidades, aquíferos semi-livres e semi-confinados.

A região tem sido objeto de estudos hidrogeológicos desde a década de 1960, com ênfase no abastecimento de água. A partir de 1970 esses estudos foram intensificados pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e desde a década de 1980 quase todos os estudos foram feitos com a participação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), além de empresas de consultoria.

A água subterrânea é usada, principalmente, para abastecimento urbano e industrial, contribuindo em 15% com o sistema de abastecimento. A maior parte da água subterrânea é explorada através de poços particulares e os volumes extraídos ainda são poucos conhecidos. Quanto a exploração de água mineral, a produção é de 1100 m³/h extraídos do sistema aquífero Barreiras – Beberibe, contando com 59 unidades de captação. Esses poços sofrem interferência de centenas de outros poços existentes na região que captam água para abastecimento público e industrial, principalmente do aquífero Beberibe.

Quanto à qualidade das águas subterrâneas, na faixa costeira da cidade um monitoramento de 130 poços identificou “manchas salinas” descontínuas, além disso, observou-se que a salinidade em alguns poços varia sazonalmente, mesmo nos mais profundos, superiores a 100 metros, o que sugere haver conexão com o freático e uma recarga pontual que é gerada pelo bombeamento, uma vez que essa prática cria gradientes verticais, de forma a induzir uma circulação descendente.

De acordo com Costa et al. (1998; 2002), realizando um balanço entre o potencial do aquífero, considerado no estudo como a recarga natural somado a 30% da recarga permanente e a disponibilidade, que é a quantidade real extraída pelos poços, a Planície do Recife sofre um déficit hídrico de 55,12 hm³/ano, que corresponde a 17,24 m³/dia. Em Olinda, situada acima do aquífero Beribere, apresenta falta de água o que é um grave problema na região.

Nos últimos anos foi criada uma estrutura para a gestão dos aquíferos da região metropolitana do Recife que se baseia em lei estadual de conservação e proteção das águas subterrâneas no Estado, que prevê o controle das perfurações e a preservação da quantidade e da qualidade da água subterrânea. Na prática, o que vem ocorrendo é uma tentativa de controlar a extração do recurso subterrâneo que há décadas vem crescendo na Planície do Recife e que atualmente se considera ter ultrapassado os limites. Por outro viés, a falta de água para o abastecimento da população incentiva a mesma a perfurar poços individuais, na busca pelo seu próprio abastecimento. Contudo, devido ao processo de salinização, essa prática já não é mais garantia segura de obtenção de água para consumo.

O órgão gestor (Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco – CPRH) adota medidas que variam desde a redução das vazões em setores ameaçados de atingir níveis

excessivamente baixos de água nos poços até a interdição pura e simples da perfuração de novos poços em áreas julgadas exauridas. Conforme Manoel Filho (2004), essas medidas são geradoras de conflitos e que se tornam injustificáveis se não forem tomadas em paralelo com outras ações que contribuam para aumentar a oferta de água nos setores atingidos, uma vez que a questão do abastecimento regular de água continua sem solução e tende a se agravar devido ao aumento da demanda num longo prazo.

Ainda, de acordo com Manoel Filho (2004), são sugestões para o gerenciamento das águas subterrâneas de Recife: (1) um programa permanente de avaliação e controle dos aquíferos, começando com uma primeira etapa de 5 anos, durante a qual seriam introduzidas modificações rigorosas na metodologia de levantamento de dados, no que diz respeito ao controle de perfurações executadas na região, com relatórios padronizados e enviados ao órgão gestor. Essa medida é voltada para a importância de se realizar um estudo regional de longa duração, com levantamento de dados hidrogeológicos padronizado, dado que o local não possui mapas potenciométricos sazonais, tão pouco foram construídos poços exploratórios. A realização desses procedimentos tem como objetivo promover uma efetiva melhora no conhecimento dos limites e permeabilidades verticais do sistema aquífero; (2) estudos que buscam elucidar a relação entre a água superficial e subterrânea, bem como a caracterização das plumas de contaminação existentes no quadro urbano, a fim de avaliar o nível de risco de contaminação das captações existentes de água mineral e/ou de abastecimento público e privado, posto que os recursos superficiais estão contaminados por esgotos e resíduos industriais; (3) avaliação das possibilidades de ampliação da exploração atual; (4) recarga artificial nos períodos em que a precipitação é mais intensa, para que nos períodos de estiagem os níveis estejam recuperados. Essa técnica está sendo cada vez mais adotada nos países em que seus reservatórios subterrâneos já sofreram grandes rebaixamentos; (5) estudar a possibilidade de uso conjunto de grandes volumes de água subterrânea/superficial, tirando proveito do rio Capibaribe (curso d'água que banha o estado de Pernambuco), levando-se em conta: os custos de saneamento desse rio, eliminando as atuais fontes de poluição e mantendo a mesma sob controle (MANOEL FILHO, 2004).

3.12.6.1.2. Microbacia III do Rio Salgado, Ceará

A maior reserva de água subterrânea do estado do Ceará está localizada na bacia sedimentar do Araripe, porção sul do estado, que faz divisa com Pernambuco e Piauí e cobre uma área de 11.000 km². As águas drenam as sub-bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe e do Salgado.

A sub-bacia do Salgado integra a bacia do rio Jaguaribe e encontra-se localizada no sul do Ceará. Possui uma área de drenagem de 12.865 km², o que equivale a 8,5% de todo seu território, sendo o rio Salgado seu principal rio, com 308 km de extensão. Essa sub-bacia é composta por 23 municípios e, devido a sua abrangência, foi dividida em cinco micro-bacias. Essa área possui poços com vazão na faixa de 5 a 200 m³/h, para profundidades de 50 a 300 m e vem sofrendo impactos negativos em seus mananciais, onde as águas superficiais e subterrâneas encontram-se alteradas e comprometidas, o que coloca em riscos os seus mais diversos usos (SANTOS et al., 2015).

A área enfatizada pelo estudo de Santos et al. (2015) é a da microbacia III do rio Salgado, que se situa na porção sudoeste do Ceará, ocupando uma extensão territorial de 2442 km². A microbacia III do rio Salgado abrange os municípios de Barbalha, Crato, Caririáçu, Jardim e Juazeiro no Norte, o qual apresenta maior concentração populacional e, também, o que mais tem poços perfurados.

A gestão de recursos hídricos do estado do Ceará se dá através da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) que foi criada pela política de Recursos Hídricos do Governo do Estado e é responsável pelo gerenciamento e disciplinamento de mais de 90% das águas acumuladas, de forma descentralizada, integrada e participativa.

A Companhia das Águas, outro órgão gestor que auxilia a COGERH, foi criada em 1993, com a finalidade de implantar um sistema de gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea do estado do Ceará, compreendendo os aspectos de monitoramento dos reservatórios e poços, manutenção, operação de obras hídricas e organização de usuários nas 12 bacias hidrográficas do Ceará. Através da informação e divulgação de dados a respeito dos recursos hídricos à comunidade, a Companhia de Água, juntamente com a COGERH, tomam decisões coletivas e negociadas, como também avaliam a política de gestão a ser implementada nas bacias (Portal COGERH).

Segundo um relatório da COGERH, o monitoramento do ano de 2012 apresentou resultados negativos no que diz respeito à recuperação dos níveis de água dos aquíferos, apresentando rebaixamento médio regional de 4,75 metros. Repetindo o desempenho negativo, em 2013 todos os poços tiveram rebaixamento de seus níveis, chegando a 22,41 metros. Este comportamento pode ser interpretado como a consequência da baixa precipitação ocorrente na região, que não permitiu que a recarga dos aquíferos fosse suficiente para recuperá-los, portanto, a taxa de bombeamento superou a taxa de infiltração. Conforme Santos et al. (2015), a problemática do uso da microbacia III está no uso indiscriminado da água bruta.

Ademais, a área possui uma vulnerabilidade alta, o que confere aos mananciais subterrâneos certa fragilidade. Logo, conclui-se que o local onde o aquífero está sendo explorado está sofrendo deflexão dos níveis estáticos e está vulnerável a contaminação.

Essa condição implica na adoção de políticas municipais de zoneamento para ocupação ordenada dos espaços urbanos e na urgência de implantação de estações de tratamento de esgotos domésticos e industriais, coleta seletiva dos resíduos sólidos e construção de um aterro regional. Conforme Santos et al. (2015), em um modelo de gestão sustentável há diretrizes para um conjunto de instrumentos primordiais, tais como: base de informações socialmente acessível, definição clara dos direitos de uso, controle dos impactos sobre o sistema hídricos e o processo de tomada de decisão (SANTOS et al., 2015).

Ainda, de acordo com Santos et al. (2015), considerando a crescente utilização das águas subterrâneas, principalmente para abastecimento público, é de fundamental importância a realização de estudos que visem demonstrar como funciona a sistemática de utilização de água e como os mananciais subterrâneos estão reagindo às ações, para que programas de proteção sejam implementados. Também, a operação de um monitoramento efetivo do recurso e divulgação junto à sociedade se tornam cruciais para um bom desempenho de uma gestão compartilhada (SANTOS et al., 2015).

3.12.6.1.3. Boa Esperança, Espírito Santo

O município está localizado na porção Noroeste do Estado do Espírito Santo. Boa Esperança possui uma área total de 428,501 km² e uma população de 15.390 habitantes (IBGE, 2017). Deste total, 10.896 pessoas são abastecidas por águas de recursos superficiais através do sistema público, totalizando 79,85% e o restante, 20,14%, 2.748 pessoas, são atendidas por águas de poços tubulares.

O Estado do Espírito Santo apresenta dois tipos de aquíferos: 68,70% aquífero fissural e 31,30% aquíferos porosos. O aquífero fissural, neste caso, está associado com baixo potencial de produção de água e com a baixa qualidade das mesmas, enquanto os aquíferos porosos encontram-se com maior potencial, porém também apresentam problemas de qualidade devido a ações antrópicas (CARDOSO; MARTINS, 2012).

Conforme o estudo de Küster & Lemos (2018), que analisou 105 poços de água subterrânea na região, há uma falta de informações acerca do cadastramento de poços da região, o que dificulta qualquer análise comparativa entre o passado e o presente relativa ao aumento da incidência de perfurações, água extraída, etc., assim como, demonstra que poucos trabalhos e estudos são realizados sobre o tema água subterrânea.

Durante as visitas de campo para realização do cadastro dos poços junto aos proprietários, observou-se que: (1) houve um aumento significativo na perfuração dos mesmos na região, consequência direta da escassez hídrica na porção noroeste do estado; (2) poços totalmente secos, o que incentivou o proprietário os aprofundar, bem como realizar novas perfurações; (3) poços sem proteção sanitária, determinada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Uma situação comum entre as comunidades rurais é a má vedação do poço, o que contribui com a entrada de fezes de animais e insetos. Também, salienta-se a localização inapropriada, quando os poços estão situados próximos a lavouras, onde se aplica agrotóxico, e de fossas sanitárias. Já na zona urbana, os fatores que predisõem à introdução de elementos nocivos ao sistema aquífero referem-se à prática inadequada de disposição de resíduos, lançamento de efluentes industriais no solo e nos mananciais superficiais, pequena abrangência do sistema de tratamento de esgoto, fossas, ocorrência de vazamentos de postos de combustível, dentre outros; (4) Empresas deram início a perfurações de poços, a fim de atender a demanda de irrigação. Poços são perfurados sem qualquer critério técnico e conhecimento da geologia local e quando os resultados esperados - a obtenção de água - não são alcançados com a perfuração os poços são abandonados irregularmente. Poranto pode-se afirmar que o recurso hídrico está sendo utilizado sem qualquer conhecimento sobre a potencialidade da região, sem definições notórias sobre os tipos de aquíferos e cálculos de reservas, entre outros problemas (KÜSTER & LEMOS, 2018).

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização

O município de Ivoti está localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e pertence a região metropolitana da capital do estado, Porto Alegre, distando cerca de 50 quilômetros dessa. Ivoti está situado na latitude $29^{\circ}35'28''\text{S}$ e longitude $51^{\circ}09'38''\text{W}$.

A Figura 4.1 mostra a localização do município de Ivoti no estado do Rio Grande do Sul, e por conseguinte, no país Brasil.

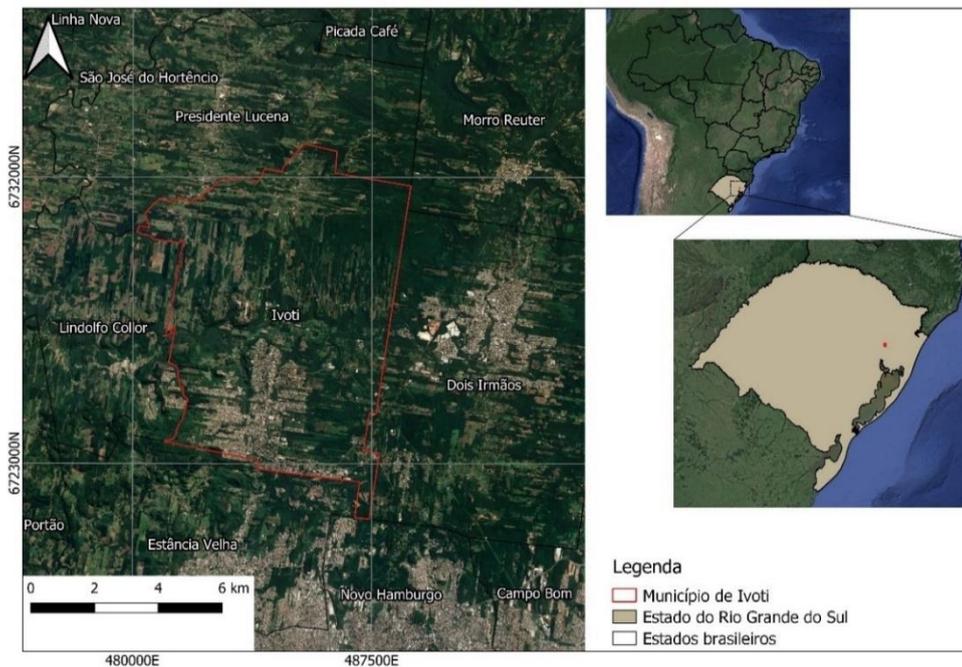


Figura 4.1. Localização do município de Ivoti.
(Fonte: própria da autora.)

4.2. História

A história de Ivoti iniciou em 1826 com a chegada dos primeiros imigrantes alemães, que se estabeleceram ao longo do Arroio Feitoria, em 48 lotes. A princípio Ivoti fora denominada Berghahnthal até a chegada da Lei Provincial nº 635, em 1867, quando passou a se chamar Bom Jardim, em virtude das terras ali presentes serem produtivas para as flores. Em 1938, através da Lei nº 7.199, o município passou a adquirir o nome que leva até hoje, Ivoti, o qual significa “Flor” na língua Tupi-Guarani.

Inicialmente Ivoti pertencia ao município de Porto Alegre, depois a pertencer São Leopoldo. Em outubro de 1964, após iniciado um movimento de emancipação, foi realizado

um plebiscito em que governador do estado do Rio Grande do Sul, Ildo Meneghetti, assinou a Lei nº 4.798 que instituiu o município de Ivoti.

4.3. Meio sócio-econômico

Ivoti compreende uma área de, aproximadamente, 63,092 km² que abarca uma população de 24 mil e 690 pessoas, segundo IBGE (2010). Portanto, sua densidade demográfica é de 314,71 hab/km² (IBGE, 2010).

O salário médio mensal é de 2,5 salários mínimos e proporção de pessoas ocupadas em relação a população total é de 39,2%. A taxa de escolarização de pessoas com 6 anos de idade até 14 anos é 100%. A economia do município, representada pelo PIB per capita, é de 42.392,5 reais (IBGE, 2020).

4.4. Bacia hidrográfica

De acordo com o mapa de bacias do departamento de hidrografia da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2010), o município de Ivoti está inserido na região hidrográfica do Guaíba. A área do município está localizada sobre o divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Caí e rio dos Sinos. Do total da área do município, 95% se inserida na bacia do Rio Caí e 5% na bacia do Rio dos Sinos.

A área de drenagem da bacia do Rio Caí é de 4.983,38 km², limitada a oeste e norte pela bacia Taquari Antas, ao sul pela bacia Baixo Jacuí e bacia dos Sinos e leste a bacia dos Sinos. Considerando a bacia do Caí, ela compreende 42 municípios e caracteriza-se por apresentar um curso de água principal (Rio Caí), dividido em alto, médio e baixo Caí.

Os principais usos de água nessa bacia se destinam a irrigação, uso industrial e abastecimento público. A exploração agrícola intensa, o desmatamento das encostas declivosas e a poluição hídrica no curso médio e inferior são os maiores problemas enfrentados nessa bacia.

A Figura 4.2 exhibe a bacia hidrográfica do rio Caí e a Figura 4.3 a bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

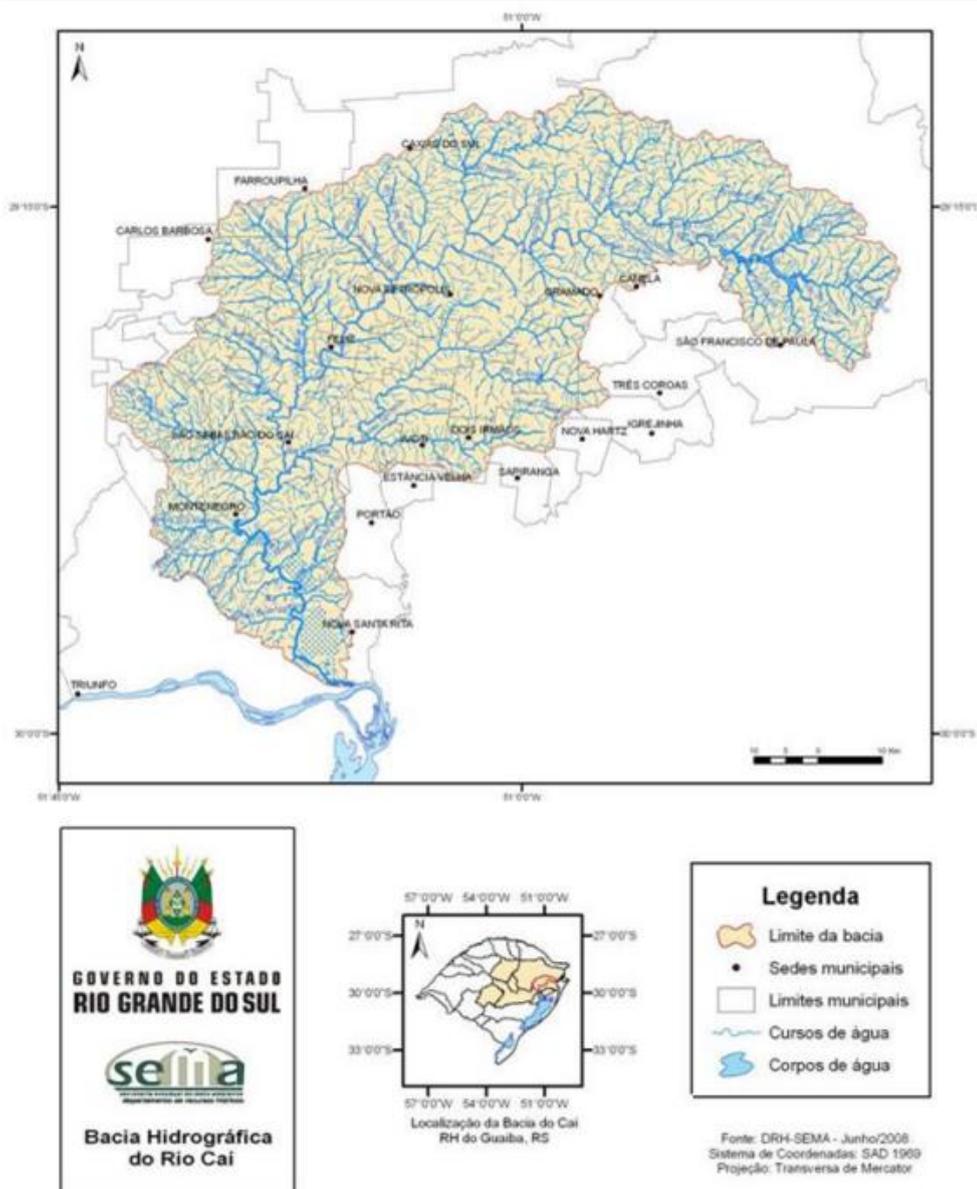


Figura 4.2. Bacia hidrográfica do rio Caí.
(Fonte: SEMA/RS.)



Figura 4.3. Bacia hidrográfica do rio dos Sinos.
(Fonte: SEMA/RS.)

4.5. Relevo

Ivoti situa-se na borda leste do estado do Rio Grande do Sul, em zona de transição entre o Planalto Riograndense e a Depressão Central Gaúcha (DCE). Seu relevo pode ser definido como ondulado a montanhoso e caracterizado por um platô remanescente do planalto, limitado por encostas íngremes ao norte e ao sul, sobre o qual se situam as zonas urbanas da cidade. A área mais baixa da região é onde está localizado o curso d'água principal de Ivoti, Arroio Feitoria e o local da cota mais alta se posiciona no limite oeste do município (HEINE, 2008).

A partir do MDE-SRTM, com resolução espacial de 90 metros, adaptado por Weber et al. (2004), elaborou-se a Figura 4.4. Nela são apresentadas as elevações de Ivoti, bem como a limitação do município. Verifica-se que as elevações variam de aproximadamente 20 a 458 metros.

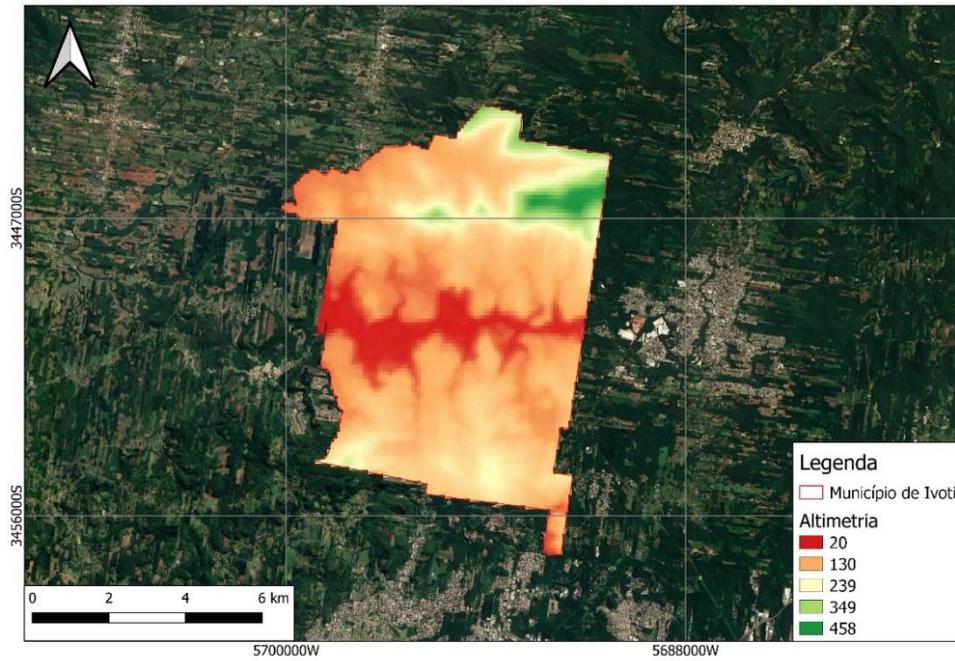


Figura 4.4. Altimetria do município de Ivoti.
(Fonte: própria da autora.)

4.5.1. Geomorfologia

A geomorfologia do local pode ser caracterizada por terrenos de superfícies que variam dentro de um espectro consistido de características planas, de baixa altitude, até morros, com grandes declividades.

A partir da Figura 4.5 pode-se observar as distinções de zonas declivosas do município de Ivoti, bem como sua respectiva classificação de forma.

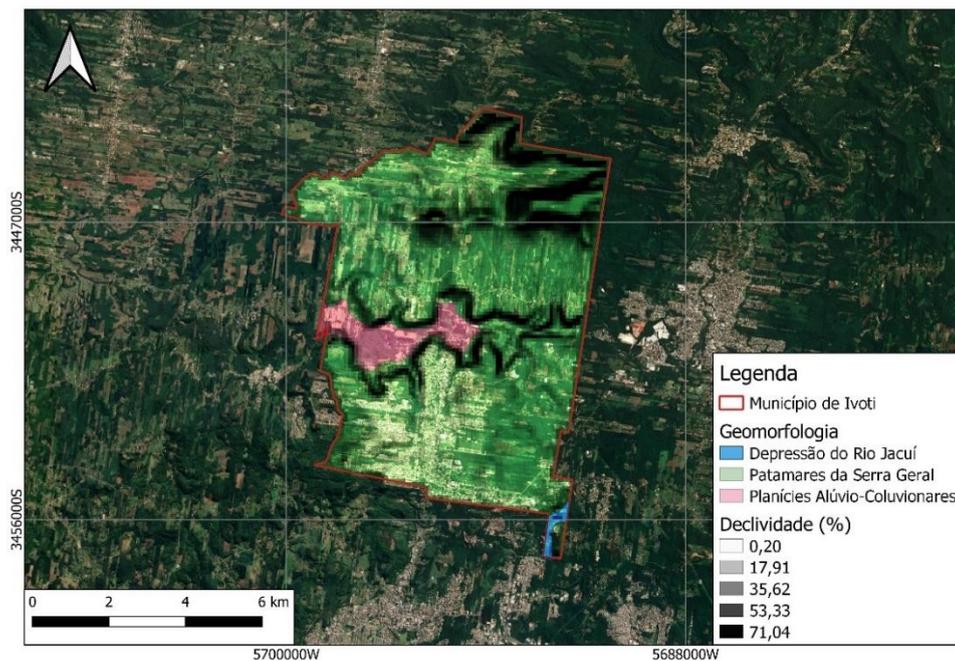


Figura 4.5. Geomorfologia do município de Ivoti.
(Fonte: própria da autora.)

“Patamares da Serra Geral” engloba formas em colinas com pequeno aprofundamento dos vales fluviais, formas de relevo que apresentam forte controle estrutural e, localizadamente, ocorrem formas planares. Nas áreas topograficamente mais rebaixadas observa-se o afloramento do aquífero Botucatu (MMA/IBAMA, 2003).

A unidade geomorfológica “Planícies Alúvio-Coluvionares” são constituídas por superfícies planas, horizontalizadas, pouco inclinadas, de baixa altitude e por sedimentos inconsolidados e se desenvolvem ao longo dos cursos d’água (CPRM, 2021).

Por sua vez, a “Depressão do Rio Jacuí”, associada a rochas sedimentares de origem fluvial, caracteriza-se por não apresentar grandes variações altimétricas, com variações entre 20 m e 40 m, onde dominam formas alongadas de topos convexos. Ao lado dessas formas ocorrem vastas superfícies planas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente, formando colinas (SCHIRMER et. al., 2013).

4.6. Clima

O clima da região é classificado, conforme Köppen, como subtropical-úmido (Cfa), com temperaturas mínimas que variam entre -1,5 e 10,3°C para os meses frios e entre 40,7 e 31,9°C para os meses mais quentes. Há uma influência de massas de ar marítimas, tropicas ou polares as quais originam os anticiclones Móvel Polar e/ou do Atlântico, que exercem um forte controle climático.

Há também uma segunda massa tropical continental, que se origina no centro sul da América. Essas dinâmicas dos ventos e deslocamento de massas citadas originam uma significativa diversidade climática para a região (HEINE, 2008).

A Tabela 4.1 abaixo apresenta as médias das temperaturas máximas, médias e mínimas para cada mês do ano, registradas no município ou em estações climatológicas próximas.

Tabela 4.1. Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do município.

Temperaturas médias mensais - °C												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	28.9	27.9	25.9	22.9	20.1	19.1	19.3	20.7	22.4	24.7	27.1	26.1
Média	24.1	23.3	21.4	18.4	15.7	14.6	14.7	16	17.5	19.7	21.8	21.3
Mínima	19.4	18.8	16.9	13.9	11.3	10.1	10.2	11.3	12.7	14.8	16.6	16.5

(Fonte: PMSB de Ivoti, 2019.)

4.6.1. Precipitação

A precipitação insidente sobre o município de Ivoti é relativamente uniforme durante todo o ano, com um pequeno aumento de sua recorrência no período de inverno, momento esse no qual a região recebe incursões frequentes dos ciclones migratórios polares.

Para uma análise dos últimos 4 anos de dados referentes aos registros de dados de precipitação da estação 02951081, denominada Costo do rio Cadeia – Montante, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação média é de 1542 mm/ano e a menor média de precipitações registradas foi de 1226,2 mm/ano, em 2018. Na Figura 4.6 podemos observar o quantitativo da análise mencionada.

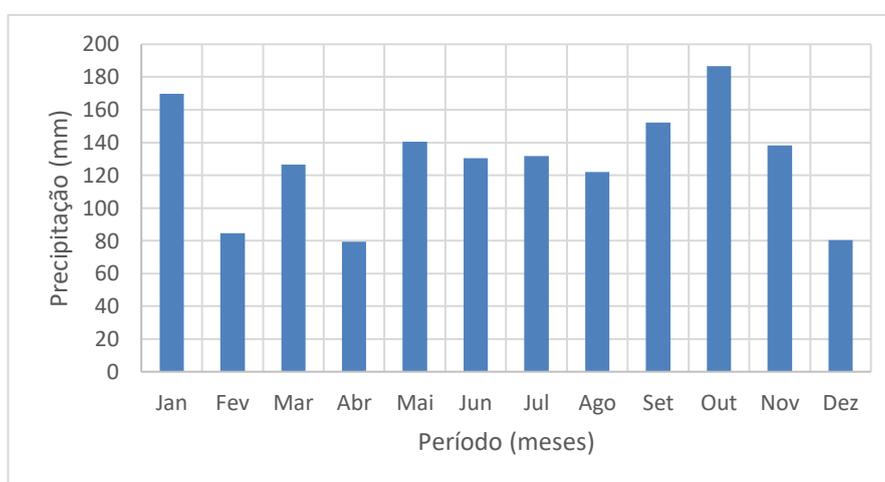


Figura 4.6. Precipitações médias para o município de Ivoti.
(Fonte: Própria da autora.)

4.6.2. Insolação

A insolação se faz maior no município no período que abrange os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. A insolação anual é de, aproximadamente, 2.374,1 horas (HEINE, 2008). Na Figura 4.7 pode-se observar a média mensal de insolação no município.

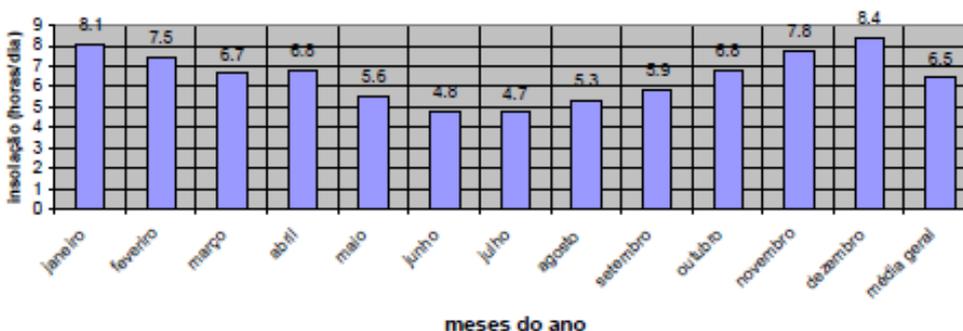


Figura 4.7. Insolação média do município de Ivoti.
(Fonte: HEINE, 2008.)

4.6.3. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar média para o município é da ordem de 76%, considerada elevada. Seus valores máximos são observados no inverno, quando atingem 83% em junho e mínimos no verão, cerca de 68% em dezembro (HEINE, 2008). Na Figura 4.8 pode-se observar a média mensal de umidade no município.

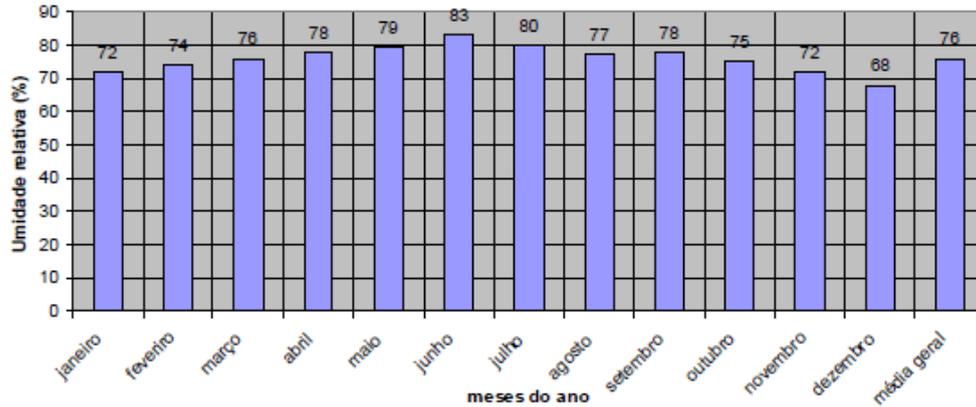


Figura 4.8. Umidade relativa do ar média do município de Ivoti. (Fonte: HEINE, 2008.)

4.6.4. Evaporação

Conforme Heine (2008), os dados de evaporação indicam que a coluna de água evaporada anualmente perfaz o total de 915,4 mm. Os meses com maior evaporação são os do final da primavera e os de verão: novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Nesse período, o chega-se ao máximo de 134,2 mm de evaporação. Na Figura 4.9 pode-se observar a média mensal de evaporação do município.

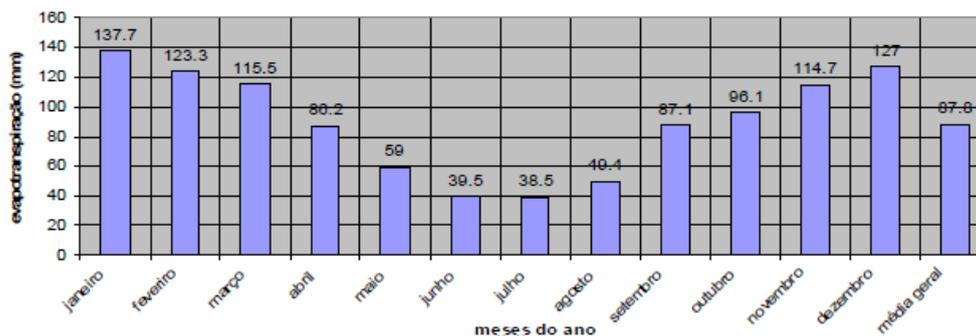


Figura 4.9. Evaporação média mensal do município de Ivoti. (Fonte: HEINE, 2008.)

4.6.5. Tendências climáticas

Em prol de uma abordagem futura acerca da determinação do clima, uma vez que a disponibilidade de água no Brasil depende em grande parte do clima (Marengo, 2008), se apresenta, na sequência, previsões, fundamentadas em estatísticas, acerca das variações de precipitação e vazão para a bacia em que o município de Ivoti está inserido.

O estudo das mudanças climáticas é realizado através da aplicação de modelos climáticos, que simulam as condições das variáveis climatológicas para o futuro. Seguindo o estudo de Schuster (2019), que apresentou uma análise da variação das disponibilidades hídricas das bacias hidrográficas contidas na área de contribuição à Laguna dos Patos/RS, passíveis de serem consequência das mudanças climáticas previstas por modelos globais do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), publicados no mais recente relatório do IPCC.

O resultado para a bacia hidrográfica do rio Caí, bacia em que 95% da área do município de Ivoti está localizada, para a variação das chuvas médias anuais em um cenário de projeção com período de 30 anos, 2006 a 2035, a partir e de uma abordagem de mitigação rigorosa de emissões gases de efeito estufa (GEE) e de altíssimas emissões de GEE, se encontra na Tabela 4.2. No presente trabalho considerou-se a variação mais positiva da chuva média anual para a mitigação rigorosa de GEE e a variação mais negativa para as altas emissões de GEE.

Tabela 4.2. Variação da precipitação média anual para a bacia do rio Caí.

	Mitigação rigorosa de emissões de GEE	Altíssimas emissões de GEE
População rural	+18%	-7%

(Fonte: Schuster 2019.)

Para a variação dos índices de vazão considerou-se o rio dos Sinos para tal consideração, a qual se apresentou como segue na Tabela 4.3, para as diferentes emissões de GEE. A vazão refere-se a Q90 do rio em seu exutório.

Tabela 4.3. Variação da vazão Q90, em m³/s, para o exutório bacia do rio dos Sinos.

	Mitigação rigorosa de emissões de GEE	Altíssimas emissões de GEE
População rural	+18%	-8%

4.7. Hidrogeologia

O tipo de manancial mais utilizado para prover o consumo de água na bacia hidrográfica do Rio Caí é o de água subterrânea. Dos 42 municípios situados na bacia, 59% deles utilizam água de fontes subterrâneas.

O município de Ivoti está localizado sobre o sistema aquífero Botucatu, Pirambóia e sistema aquífero Serra Geral II. O primeiro citado possui média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. Semelhante, o aquífero

Serra Geral II possui média a baixa possibilidade para águas subterrâneas, porém é ocorrente em rochas com porosidade por fraturas (PMSB, 2019).

O sistema aquífero Pirambóia apresenta espessura média de 200 metros e se encontra na condição de aquífero livre e semiconfinado, na área aflorante. Normalmente, sua grande quantidade de finos (arenitos argilosos) é desfavorável para o armazenamento de grande quantidade de água. Os poços que captam água nesta unidade apresentam profundidades entre 50 e 201 metros com média de 101 m. Suas vazões são muito variáveis, atingindo até 18 m³/h, com média de 4 m³/h. As capacidades específicas raramente excedem 0,5 m³/h/m. A vulnerabilidade natural do sistema aquífero Pirambóia é de médio a alto grau, devido a sua constituição arenosa fina.

O sistema aquífero Botucatu ocorre na base e na encosta da Serra Geral e corresponde a uma ampla área de deposição eólica constituída por arenitos médios a finos, róseos e avermelhados ortoquartzíticos, bem selecionados, boa esfericidade e bimolidade. Divide-se em duas fácies: dunas eólicas e interduna. O primeiro é constituído por arenitos grossos, bimodais, com estratificações cruzadas acanaladas e tangenciais. Onde os arenitos afloram, o aquífero é do tipo livre. Já onde se encontra sob as lavas da formação Serra Geral, seu tipo é confinado. Nas áreas onde há morros e encostas da serra sua capacidade de armazenar água subterrânea é bastante pequena.

Na área de afloramento, apesar de ser muito explorado por meio de poços tubulares, seu comportamento hidrogeológico é mediano, sendo as capacidades específicas em torno de 0,2 m³/h/m e as vazões dos poços de 5 a 10 m³/h, com média de 8,6 m³/h. Essa porção do aquífero se comporta também como área de recarga da porção confinada.

A porção do aquífero confinado pelas rochas basálticas, da Formação Serra Geral, apresenta melhores características hidrogeológicas que na área aflorante. Seus poços tem profundidade de até 300 m com capacidades específicas de 0,2 a mais de 0,5 m³/h/m. A espessura desse aquífero, ou das camadas confinantes, é muito variável devido à tectônica com blocos alçados ou rebaixados. Sua recarga provém da área aflorante e das fraturas nas rochas basálticas. O sistema aquífero Botucatu apresenta alto a médio grau de vulnerabilidade natural.

O sistema aquífero Serra Geral configura-se como uma pilha de rochas basálticas, dominantes e riolíticas, de idade cretácea (138 a 128 milhões de anos). É formado por aquíferos fraturados e descontínuos, onde o fluxo da água subterrânea se dá através de descontinuidades geradas por tectônica ou por resfriamento das lavas. Ocorre em vales encaixados e abertos,

alinhados segundo falhas e fraturas de diversas direções, em cotas médias de 110 metros, podendo ocorrer em cotas de até 540 metros. Nesse sistema aquífero, a água subterrânea acumula e flui por discontinuidades formadas por disjunções relacionadas ao resfriamento da lava e à tectônica frágil que atinge a região. Os poços que captam nessa unidade apresentam profundidades entre 50 e 300 m, predominando poços de até 150 m. Suas vazões são muito variáveis, havendo uma predominância de vazões de até 10 m³/h, podendo ocorrer poços com mais de 30 m³/h. Apresenta médio a alto grau de vulnerabilidade natural. No Brasil, cobrem uma área aproximada de 1.200.000 km² e se faz presente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Fora do Brasil, atua no Uruguai, Argentina e Paraguai. O Brasil detém aproximadamente 80% dessa província vulcânica, a qual ocupa por volta de 55% do território do Rio Grande do Sul.

Na Figura 4.10 pode-se se observar a hidrogeologia do município de Ivoti. O mapa está baseado no arquivo shapefile disponibilizado pela CPRM (2021), o qual abrange a hidrogeologia do Brasil, em escala 1:5.000.000. A Figura 4.10 elucida o mapa hidrogeológico do município.

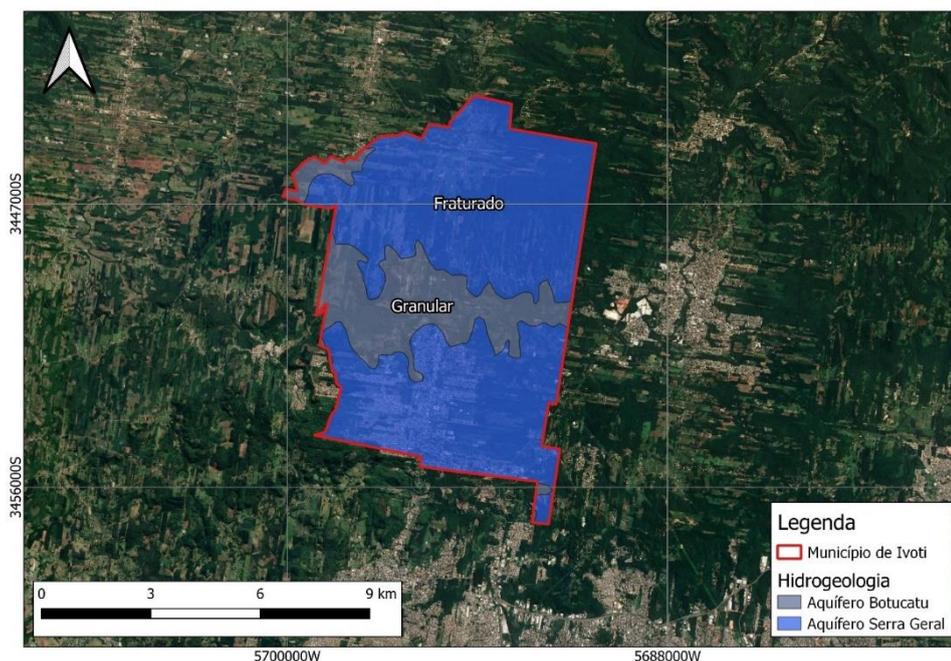


Figura 4.10. Hidrogeologia do município de Ivoti.
(Fonte: própria da autora.)

4.8. Disponibilidade de água do sistema aquífero explorado

Já é sabido que os ambientes aquáticos subterrâneos adquirem diferentes formas quanto a composição, podendo eles serem compostos por rochas variadas, em profundidade diferentes, possuindo diferentes maneiras de receber água e de compartimentá-la. Em função disso, cada

sistema subterrâneo de água pode ofertar diferentes quantidades de água, existindo, paratanto, condutas a serem seguidas de maneira que se respeite as condições de exploração de água de cada sistema, a fim de não exaurir os recursos hídricos a que se tem disponibilidade.

O principal método para se definir o quanto de água é possível se extrair de um aquífero, quais as consequências associadas a essa exploração e as condições a que essa exploração deve estar submetida é o teste de bombeamento. Através desse método é possível realizar o “teste de aquífero” e “teste de produção”.

O “teste de aquífero” é capaz de determinar a permeabilidade, transmissividade, influência de barreiras, raio de influência etc., ou seja, geometrias e características hidrodinâmicas do sistema aquífero e o “teste de produção” é capaz de determinar a vazão crítica, perdas de carga do aquífero, perdas de carga do poço, eficiência hidráulica, ou seja, a vazão ótima do poço. A partir dessas informações é possível definir quais são as condições de exploração do sistema aquífero de interesse (MARIANO, 2005).

O sistema de poços, que servem o abastecimento público de água do município de Ivoti, já foi submentido a diversos estudos quanto a sua disponibilidade de água. O primeiro estudo, a qual este trabalho teve acesso, pertencente ao pesquisador Heine (2008). O estudo compõe uma tese de doutorado que se objetiva a estudar o uso do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti, determinando, através de inúmeras ferramentas, o comportamento do armazenamento de água do aquífero a partir da considerações de diferentes quantidades de poços bombeando água do sistema subterrâneo.

Conforme Heine (2008), considerando o cenário III simulado por ele, o qual estabelece maior relação com a realidade, escreve sobre o balanço hídrico ocorrente no aquífero:

“O armazenamento está cedendo suas reservas devido ao desequilíbrio entre entradas e saídas (de água). As taxas de recarga não são mais suficientes para compensar o bombeamento e as descargas residuais para a rede de drenagem, as quais começam a diminuir. Essa situação caracteriza a “mineração” do aquífero.”

Quanto as reservas hídricas permanentes:

“O cenário III mostra o declínio constante das reservas permanentes. Os períodos de precipitações elevadas refletem-se apenas pela estabilização destas reservas, as quais voltam a

deplecionar com o retorno das precipitações a faixa normal.”

Dois outros estudos hidrogeológicos foram analisados pelo presente trabalho, datados 2012 e 2018, e disponibilizados pela Autarquia Água de Ivoti a esse trabalho. Cujas contratações foram realizadas pela Autarquia, com a intenção de melhor compreender o comportamento do sistema aquífero atualmente, a fim de buscar a melhor conduta quanto à exploração de água que realiza. Os estudos se objetivam a apresentar uma compilação de dados aferidos em ensaios de produção de água de diversos poços tubulares utilizados para o abastecimento do município.

Ainda, conforme o PMSB (2019) de Ivoti, é atestada a realização de superexploração do aquífero, sendo informada a vazão sustentável do sistema aquífero subterrâneo. Os resultados destes estudos atestam uma vazão de projeto, conforme segue na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Vazão sustentável de exploração do aquífero fonte produtora de água para o sistema de abastecimento público do município de Ivoti.

Ano	Vazão sustentável (m ³ /h)
Estudo hidrogeológico 2018	188,26
PMSB	197,74

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti e PMSB, 2019.)

4.9. Sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água do município de Ivoti cumpre seu papel de fornecer um abastecimento público de água para seus habitantes através de, somente, uma fonte produtora de água potável que é constituída por um sistema de poços tubulares. Esse serviço é prestado, atualmente, pela Autarquia Água de Ivoti, conforme a Lei nº 2748/2013, a qual cria a instituição e a responsabiliza pelo serviço.

O sistema de poços é composto por 27 poços profundos, sendo o último implementado no ano de 2021; casa de química – para tratamento simplificado da água de cada poço; 26 reservatórios; ramais e rede de distribuição de água. Um fluxograma do sentido que a água produzida pode adquirir dentro do sistema de abastecimento de água é exposto na Figura 4.11.



Figura 4.11. Sistema abastecimento de água do município de Ivoti.

(Fonte: PMSB, 2019.)

O sistema de bombeamento de água é ligado e desligado automaticamente conforme o nível dos reservatórios. Os níveis dos reservatórios são monitorados a cada 5 minutos e, conforme lógica programada no servidor, as estações elevatórias, bombas submersas e dosadores da solução de desinfecção são ligados para entrar em operação.

A comunicação entre os equipamentos de bombeamento e as estruturas do sistema se dá através de internet, via telemetria. A água, após ser bombeada do aquífero, alimenta inicialmente a rede de distribuição e após estabelecer a pressão adequada na rede é direcionada para os reservatórios. Os poços são operados em média 21 horas por dia.

A rede de distribuição é estruturada, em geral, por canos de PVC PBA, contando também com PVC Defofo e PEAD. A porcentagem de perdas de água do sistema de abastecimento gira em torno dos 50% (PMSB, 2019).

4.9.1. Poços tubulares

Todos os poços do sistema de abastecimento de água do município são tubulares profundos e contam com uma bomba submersa, a qual é alimentada energeticamente via fornecimento de energia da RGE Sul, abrigo para as instalações elétricas e para as unidades de tratamento simplificado, macro medidores, válvula de retenção, expurgo e válvulas de controle para manutenções. Também, os poços são cercados para limitar o acesso a equipe da Autarquia Água de Ivoti, sendo inspecionados todos os dias da semana, quando se é feita a limpeza básica do local.

Na Figura 4.12 é exposta a localização dos 26 poços, que se distribuem ao longo do município.

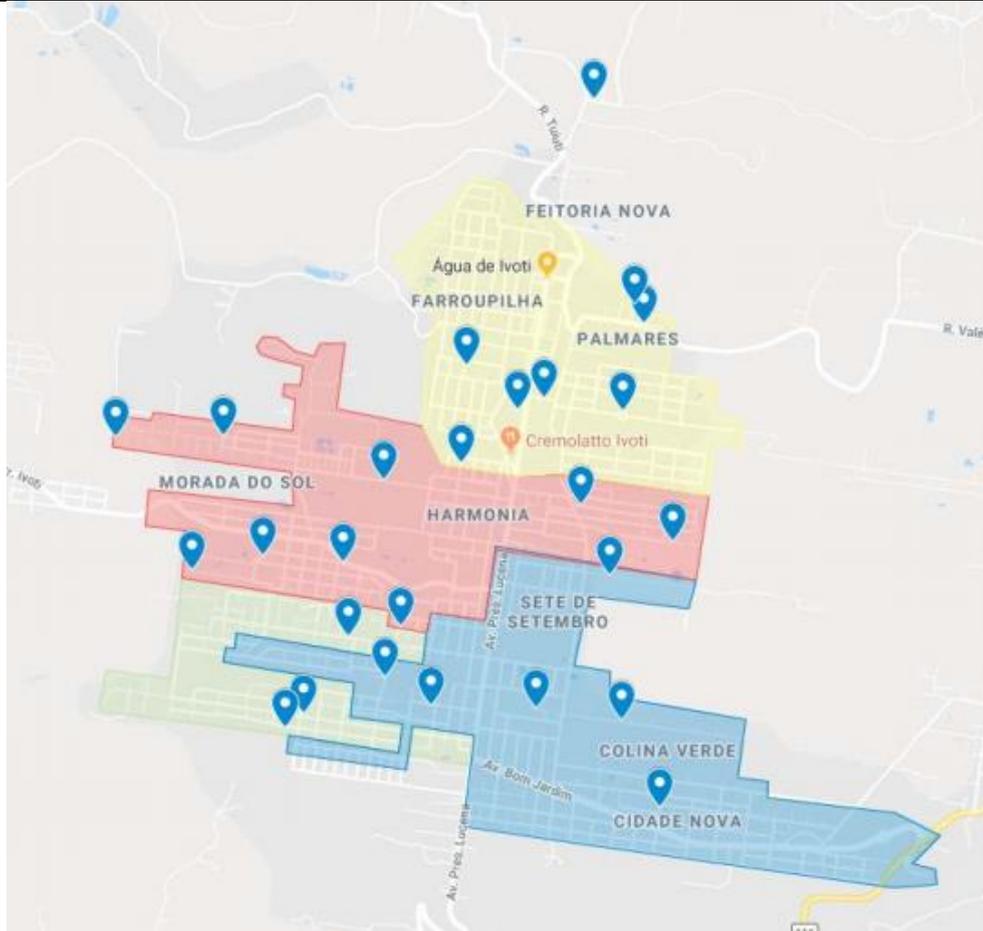


Figura 4.12 Localização dos poços de abastecimento público que compõem o sistema de abastecimento público do município de Ivoti, 2018.
(Fonte: PMSB, 2019.)

4.9.2. Tratamento de água

O tratamento de água do município é realizado via UTS – Unidade de Tratamento Simplificado (UTS). Cada poço do sistema de abastecimento possui a sua UTS, onde é feita a adição de solução de cloro na água captada do aquífero.

O tratamento se dá unicamente pela injeção de Hipoclorito de Sódio por meio de dosadoras que, em sua maioria, injetam a solução em tubulações com circulação de água para que a mesma chegue até o poço e o bombeamento oferece energia para se dar a mistura que homogeneiza a solução.

A capacidade de tratamento de cada UTS corresponde à vazão do poço a que é associada, sendo facilmente ampliada ou diminuída se necessário. O controle de dosagem é realizado diariamente, bem como a vistoria às instalações (PMSB, 2019).

4.9.3. Estações de bombeamento

O município possui um booster, estações pressurizadas, interligado diretamente à rede para atendimento da região mais alta do município. As demais estações de bombeamento são abastecidas por reservatórios localizados junto às mesmas. As estações desempenham papel fundamental no sistema, visto que possibilitam o abastecimento de regiões mais altas dentro dos grandes sistemas, bem como a transferência entre sistemas ou subsistemas (PMSB, 2019).

4.9.4. Reservação de água

O sistema de abastecimento de água do município possui 26 reservatórios, a maior parte são controlados por sensores de nível e pelo sistema de telemetria, o qual controla o acionamento e desligamento dos poços que abastecem seus respectivos reservatórios. A maior parte dos reservatórios tem sua entrada e saída pela parte inferior devido à concepção da rede de abastecimento em marcha e são controlados por boias mecânicas (PMSB, 2019).

4.9.5. Rede de distribuição

As redes de distribuição começaram a ser implantadas na década de 70, pela CORSAN e foram sendo ampliadas de acordo com o crescimento do município. Assim, existem redes datadas do início de implantação do sistema até redes recentes.

Atualmente, todos os empreendedores de novos loteamentos executam as redes, seguindo as diretrizes da Autarquia, a qual apenas executa a expansão em loteamentos já consolidados quando da solicitação de uma nova ligação em locais que ainda não apresentam rede.

As substituições de redes são programadas a partir da constatação da incidência de vazamentos continuados, no caso de redes antigas, ou devido à necessidade de ampliações para atender ao crescimento do município. Devido ao sistema de captação por poços ser de baixa vazão e numerosos, espalhados pelo perímetro urbano, grande parte da rede possui seu abastecimento em marcha (PMSB, 2019).

4.9.6. Perdas de água

A partir do capítulo 3.12.3, em que índices de perdas de água pelo sistemas de distribuição para diferentes regiões do Brasil são apresentados, pode-se perceber que o sistema de abastecimento de água de Ivoti apresenta índices extremamente elevados quanto a vazamento da sua rede de distribuição de água, uma vez que seu índice situa-se entre os índices mais altos do Brasil. Um fator preponderante para explicar os motivos pelos quais o fato se dá é a excessiva e frequente variação de pressão dentro das tubulações de condução de água,

oriunda dos acionamentos e desligamentos dos grupos moto-bombas conectados diretamente à rede de distribuição.

Além da variação de pressão, é frequente a ocorrência de pressões elevadas devido as característica do relevo do município, o qual é acidentado, com variação de cota acentuada em regiões dotadas de pequenas áreas. Portanto, as pressões elevadas não só contribuem para uma maior ocorrência de rompimentos da rede e ramais, assim como acabam sendo responsáveis pelo grande volume perdido em cada um deles.

A pressão dentro destes sistemas é, em sua maioria, determinada pelo nível d'água dos reservatórios. Há ainda, dentro desses, subsistemas que são separados por reservatórios intermediários ou por válvulas redutoras de pressão.

A micromedição nos domicílios é realizada através de hidrômetros, com previsão de substituição ou manutenção a cada 5 anos. A macromedição, da mesma forma, é realizada por hidrômetros localizados em cada poço do sistema de abastecimento.

5. METODOLOGIA

O presente capítulo se dedica a apresentar e a explicar a metodologia utilizada no estudo em questão, a luz de demonstrar informações, premissas e métodos utilizados na busca por resultados, bem como fundamentar as conclusões a que se foram chegadas.

O cerne da metodologia está estabelecido em método computacional, o qual combina um conjunto de modelos interligados que tem por objetivo gerar resultados que amparem o planejamento de uma expansão futura da capacidade de um determinado sistema de abastecimento de água, a partir de determinações relativas a quanto da infraestrutura deve ser executada, quando e porquê. Ou seja, quanto de capacidade de produção de água, em termos de volume, o sistema de abastecimento deverá aumentar; quando, no horizonte temporal de planejamento, deve ser tomada a decisão de expansão e, por fim, o porquê de investir, em termos de custos (R\$), na expansão de determinada fonte produtora de água.

Por conseguinte, aplica-se o algoritmo, composto pelo modelo de expansão da capacidade e otimização do uso de fontes de produção de água, no Sistema de Abastecimento de Água de município de Ivoti, o qual é operado pela Autarquia Água de Ivoti, instituição a qual detém a responsabilidade pelo sistema de água município. O estudo está sob a análise do trade-off entre confiabilidade, resiliência e custo para diferentes cenários hidrológicos.

5.1. O modelo

O método utilizado provém de um estudo de mestrado: “Planejamento para Expansão de Capacidade de Sistema de Abastecimento Água: análise de decisões operacionais e gestão integrada de fontes de produção”, realizado por FRAGA (2017).

Combinando um conjunto de modelos interligados, o método avalia como diferentes alternativas de investimento na expansão da capacidade de abastecimento de água, assim como a distribuição desse investimento do longo do horizonte de tempo considerado, são capazes de atender demandas crescentes a custos mínimos.

O modelo inclui programação dinâmica para determinações acerca da capacidade de expansão do sistema produtivo, balanço hídrico para definir a disponibilidade hídrica e as demandas de água e um modelo de otimização para minimizar custos variáveis de alocação de água das fontes de abastecimento, respeitando restrições de capacidade, demanda e disponibilidade ao longo do tempo simulado.

Para isso, divide as decisões de planejamento em duas abordagens, de curto e de longo prazo, sendo as decisões de longo prazo referidas para intervalos de tempo de um ano e consideram estratégias para expandir a capacidade da infraestrutura do sistema. Já as decisões de curto prazo atuam como portfólio para o uso da água provinda de um determinado tipo de fonte de produção, ou seja, são decisões operacionais quanto a essas fontes, as quais consideram um intervalo de tempo mensal. (FRAGA, 2017).

5.2. Programação dinâmica

Através da programação dinâmica se estabelece a estratégia de expansão da capacidade para cada fonte de abastecimento de água ao longo do horizonte de tempo considerado. Essa estratégia é baseada em duas premissas: capacidade de desenvolvimento da infraestrutura do sistema, a partir de investimento, e ociosidade do sistema, quando o mesmo não está sendo usado em sua plenitude.

A primeira premissa ocorrerá quando a disponibilidade de água do meio natural é maior que a quantidade de água total que o sistema tem capacidade de retirar desse meio. Nesse sentido, pode-se realizar um investimento e aumentar a capacidade do sistema, podendo assim disponibilizar mais água para abastecimento.

Já a segunda premissa se refere a situação contrária, quando a disponibilidade de água no meio natural é inferior a quantidade de água que o sistema de abastecimento tem de retirá-la do meio. Sob essa condição, o sistema apresenta ociosidade, uma vez que sobra capacidade de retirada de água. Nessa perspectiva, o sistema poderia sofrer reduções em infraestrutura, em prol da diminuição de custos, cabendo destacar aqui que algum nível de ociosidade do sistema é desejável para conferir segurança ao sistema de abastecimento, de modo que a quantidade de investimento que otimiza o problema deve ser investigada, considerando seu custo final.

Para tanto, o programa utiliza o procedimento de *forward-moving* que consiste em determinar a combinação do tamanho de capacidade e caminho de construção de cada possibilidade que minimiza o valor presente total do sistema, enquanto satisfaz a restrição da demanda. Esse procedimento é caracterizado pela função objetivo, exposta pela Equação 5.1.

$$f_t(S_{t+1}) = \min \left\{ \sum_j C_{C_{t,j}}(S_{t,j}, X_{t,j}) + \sum_j OFC_t(S_{t,j}, X_{t,j}) + f_{t-1}(S_t) \right\}$$

Equação 5.1

Em que,

$$S_{t,j} = S_{t+1,j} - X_t \text{ e } S_t = \sum_j S_{t,j}$$

Equação 5.2

$j = 1, \dots, U; t = 1, \dots, P$

Sujeito a,

$$D_t \leq S_t \leq S_{t+1}$$

Equação 5.3

$t = 1, \dots, P$

Em que,

j : número de alternativas de abastecimento de água (fontes subterrâneas e superficiais);

t : tempo do período (ano);

CC : valor presente do custo da expansão da capacidade;

OFC : valor presente do custo operacional fixo da capacidade;

f_t : valor presente mínimo do custo total para atender a demanda em t ;

S_t : capacidade do sistema em t ;

S_{t+j} : capacidade da alternativa de abastecimento de água j em t ;

X_{t+j} : expansão da capacidade da alternativa e abastecimento de água j em t ;

D_t : demanda do sistema em t .

Assim dizendo, o valor da função $f_t(S_{t+1})$ é o custo mínimo para alcançar uma capacidade S_{t+1} , no final do período determinado por t . Em $t = 1$ considera-se o custo inicial acumulado = 0, ou seja, $f_0(S_1) = 0$. Para identificar a sequência de decisões de expansão de capacidade que resultam no menor custo total do sistema de valor presente é preciso retroceder, observar e coletar o conjunto de melhores decisões X_t para todos os estágio de t (FRAGA, 2017).

5.3. Modelo de otimização quadrática

Para a análise de curto prazo adota-se um modelo de otimização, o qual dispõe de uma abordagem de programação quadrática, cuja função objetivo minimiza o custo operacional variável do sistema.

Contudo, se a demanda por água não puder ser atendida, devido a insuficiente disponibilidade do recurso ou a falta de capacidade da infraestrutura do sistema o modelo resultado infactível. Para superar tais infactibilidades, o modelo decide por reduzir a demanda por água até que a factibilidade seja alcançada e isso pode se dar através de repetidas iterações.

Para esses casos, é registrada e armazenada uma falha no sistema de abastecimento de água pelo modelo, significando que para aquele momento a população não estava sendo abastecida por água.

O diagrama, exposto pela Figura 5.1, expõe as operações possíveis.

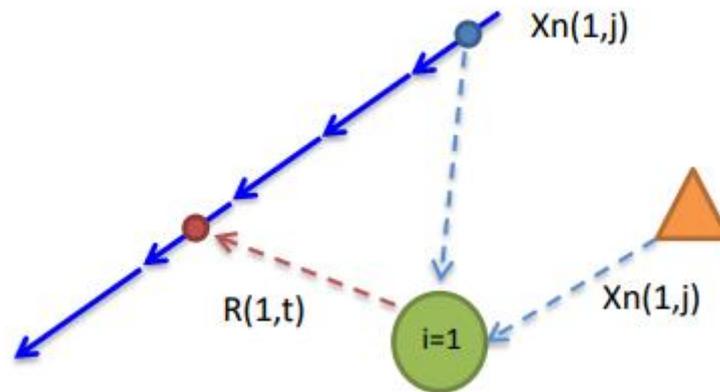


Figura 5.1. Diagrama com as operações possível de alocação.
(Fonte: FRAGA, 2017.)

Considerando:

Xn_{ij} como a fonte de água retirada da fonte de abastecimento de água j e alocada no nó de demanda i ; VOC_{ij} como o custo operacional variável da fonte j para atender a demanda i ; U como o número de nós de demanda urbana e S como o número de alternativas de abastecimento de água.

A decisão de uso ótimo é encontrada selecionando-se os valores que minimizam o custo operacional variável total ($TVOC$), exposto pela Equação 5.4.

$$TVOC = \sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^S Xn_{ij} \times VOC_{ij} \quad \forall i, j > 0$$

Equação 5.4

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^U Xn_{ij} \geq D_i(1 - f) \quad \forall i, j > 0$$

Equação 5.5

Em que, Xn_{ij} é a água retirada de todas as fontes de abastecimento j e alocada no nó da demanda i , que deve ser maior ou igual à demanda em i (considerar uma possível falha). O parâmetro f é a porcentagem de falha do sistema e D_i é a demanda de água no nó i .

$$Xn_{ij} \leq Cap_j \quad \forall i, j > 0$$

Equação 5.6

A segunda restrição, Equação 5.6, estabelece que a água retirada de uma dada fonte j e alocada para as demandas i não pode exceder a capacidade dessa fonte (Cap_j).

$$Inflow - c * \sum_{j=1}^S Xn_{ij} \geq R_i \quad \forall i, j > 0$$

Equação 5.7

Por fim, o balanço de massa, exposto pela Equação 5.7, estabelece a restrição da disponibilidade das fontes j , o qual é função da composição do portfólio (Xn_{ij}) com as vazões afluentes ($Inflow$) – representadas por cenários hidrológicos. Ainda, considera-se que c é a taxa de consumo do nó de demanda e R é a vazão mínima remanescente, estabelecida pelo órgão ambiental (FRAGA, 2017).

5.4. Multiplicadores de Lagrange

Inicialmente esclarecendo, o multiplicador de Lagrange é um método utilizado para encontrar os máximos e mínimos de uma função sujeita a equação de restrição (KLEIN, 2001). Na otimização das decisões do planejamento de curto prazo, a função objetivo se destina a minimizar os custos operacionais variável a cada decisão de alocação de água, tendo em vista as restrições de capacidade e balanço de massa. Para cada restrição da função objetivo há associado um lambda, que é o multiplicador de Lagrange, o qual fornece informações a respeito da redução potencial de custos, para os casos de haver capacidade sobrando e/ou mais disponibilidade de água.

Quando essas restrições são vinculantes, o lambda tem um valor diferente de zero, o que quer significar o quanto poderia ser diminuído do valor do objetivo se a restrição fosse relaxada em uma unidade. Na contramão, se a restrição não for vinculativa em um determinado período, a lambda terá valor zero, o que significa que a decisão não tem efeito no uso da água e na função objetivo.

O sinal é caracterizado pela Equação 5.8 e Equação 5.9:

$$f_{inc} = -K \cdot \lambda_{1,j} \cdot X_j$$

Equação 5.8

$$f_{disc} = K \cdot \lambda_{2,j} \cdot X_j$$

Equação 5.9

Em que,

j : número de alternativas de abastecimento;

X : capacidade expandida;

λ_1 : Multiplicador de Lagrange da restrição da capacidade;

λ_2 : Multiplicador de Lagrange da restrição da dispobibilidade de água;

f_{inc} : função que incentiva a expansão da capacidade;

f_{disc} : função de desincentiva a expansão da capacidade;

K : constante adimensional.

5.5. Dados de entrada

Neste capítulo serão apresentadas as informações necessárias a serem inseridas no modelo para que o mesmo seja capaz de realizar a simulação. Todos os dados utilizados foram disponibilizados a este trabalho pela Autarquia Água de Ivoti, órgão gestor do sistema de abastecimento público de água do município de Ivoti. É a partir dessas informações que o modelo caracteriza as condições reais da situação a que se deseja representar.

Portanto, elenca-se os dados necessários a rodagem do programa:

- População do ano inicial do local estudado;
- Taxa de crescimento dessa população [%];
- Consumo per capita de água [m³/ano.habitante];

- Capacidade inicial do sistema que oferta água, para o ano inicial do estudo [1000.m³/ano];
- O índice de perda do sistema que oferta água no ano inicial do estudo [%];
- Curva custo operacional do sistema, em formato polinomial de segundo grau sem o termo C, que represente a necessidade de investimento em termos monetários, para manter o sistema ofertando a água demandada;
- Curva de custo da expansão do sistema, em formato exponencial.

6. O ESTUDO DE CASO – Aplicação dos dados

Este capítulo é dedicado a apresentar as informações relevantes - do município de Ivoti, bem como de seu sistema de abastecimento de água - ao programa utilizado para simular comportamentos, viabilizando a análise de respostas quanto a alocação de água e atribuição de investimentos financeiros.

6.1. População

Conforme o censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, o município de Ivoti compreende 19.874 pessoas. Conforme o censo estimado de 2020 esse número encontra-se próximo de 24.690 pessoas.

A Figura 6.1 apresenta o desenvolvimento populacional de Ivoti para o período de 1991 a 2010, conforme o IBGE, discretizado em população rural e urbana.

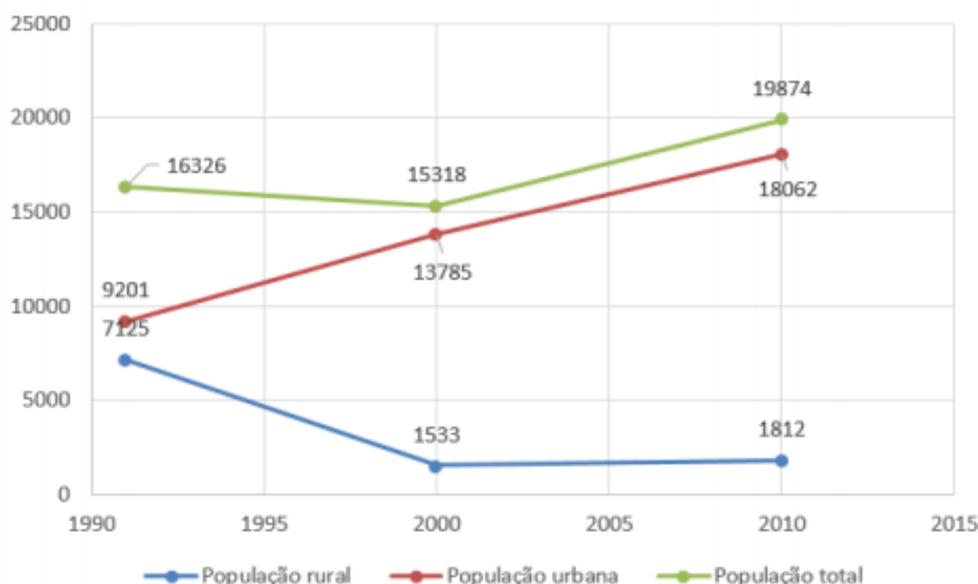


Figura 6.1. Desenvolvimento populacional do município de Ivoti.
(Fonte: PMSB, 2019).

Considerando o censo demográfico de 2010, em uma abordagem mais específica da quantificação da população, Ivoti detém uma população residente da zona rural do município e outra população que reside na zona urbana. A área rural conta com um total de 1.812 pessoas e a área urbana, 18.062 pessoas. Na Tabela 6.1 é possível observar o desenvolvimento da população urbana e rural do município ao longo dos últimos anos.

Tabela 6.1. Desenvolvimento populacional das áreas urbana e rural do município de Ivoti.

Ivoti	Censo		
	1991	2000	2010
População rural	7.125	1.533	1.812
População urbana	9.201	13.785	18.062
População total	16.326	15.318	19.874

(Fonte: PMSB, 2019.)

Para se estabelecer uma estimativa populacional para os próximos anos, considerou-se uma projeção do tipo aritmética levando-se em conta as informações populacionais da zona urbana referentes aos anos de 2000 e 2010. A taxa de crescimento populacional assumida é de 2,37% ao ano.

O número referente a representação da população atendida pelo sistema de abastecimento de água do município de Ivoti para o ano de 2020 é de 21.491 pessoas (Autarquia Água de Ivoti, 2021), cerca de 95% do total da população urbana da cidade.

6.2. Demanda por água

A demanda média por água da população de Ivoti, ante uma abordagem de m³/ano.habitante, é determinada sob a ótica do sistema público de abastecimento de água, assim sendo, a partir da contabilização do volume de água que chega até a casa dos habitantes abastecidos pelo sistema público e que é contabilizado pela Autarquia Água de Ivoti, assim como da contagem da população abastecida.

A partir dos dados disponibilizados pela Autarquia Água de Ivoti quanto ao volume de água micromedido e a população atendida determinou-se a demanda média per capita, sendo que a população atendida é considerada como 95% do total da população urbana do município. Os dados que se dispôs referem-se aos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020, apontados pela Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Demanda percapita do município de Ivoti, dos últimos 5 anos.

Ano	2016	2017	2018	2019	2020
Volume micromedido (m ³)	981.130,0	1.061.205,0	1.091.645	1.114.222	1.092.725
População atendida	21.388	21.388	21.160	21.491	21.491
Demanda (m ³ /ano.habitante)	43,58	47,14	51,6	51,8	50,8

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Como condição de entrada do programa, o consumo de água per capita de Ivoti considerado é respectivo a cada ano que se inicia a simulação. Isso é, para simulações iniciadas no ano de 2020, e desenvolvida para os próximos 20 anos, utilizou-se a demanda por habitante de 50,8 m³/ano.habitante.

6.3. Índice de perdas

O índice de perdas é uma característica atual do sistema de abastecimento que preocupa, uma vez que seus valores flutuam pela faixa de 50%. Isto é, do total de água explotada pelo sistema de abastecimento metade é perdida.

As principais causas que originam essa perda é o bombeamento de água, realizado pelos poços, diretamente na rede de distribuição; redes e ramais apresentando problemas em função do uso avançado; elevada pressão em diversos pontos da rede, devido ao declividades altas do relevo de Ivoti; falta de setorização, de maneira a demorar a se ter respostas quanto a rompimentos quando esses acontecem; transbordamentos dos reservatórios – em função do sistema de abastecimento operar telemetricamente, baseado na cota de água de cada reservatório, quando eventuais problemas de comunicação acontecem, por parte do sistema de telemetria ou das operados de telefonia celular, as bombas continuam operando, ou seja, mandando água para os reservatórios que, muitas vezes, já estão cheios.

Baseado nos dados disponibilizados pela Autarquia Água de Ivoti quanto aos índices de perdas dos últimos 5 anos (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020), demonstrados na Tabela 6.3, determinou-se o índice médio de perdas de água pelo sistema de abastecimento a ser inserido como condição de controle na simulação.

Tabela 6.3. Índice de perdas de água pelo sistema de abastecimento público do município de Ivoti.

Ano	2016	2017	2018	2019	2020
Índice de perda (%)	57,55	51,92	50,83	48,58	53,18

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Os índices de perdas apresentados foram calculados a partir dos volumes macromedidos e micromedidos de cada mês de cada ano, para todos os anos.

6.4. Capacidade máxima do sistema público de abastecimento de água

Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico de Ivoti, o sistema de abastecimento de água do município possui a capacidade máxima de extração de água de

330 m³/h, o que significa 2.890.800 m³/ano. Essa quantidade de água total provém da consideração de bombeamento de 26 poços bombeando as 24 horas do dia.

6.5. Custo operacional variável

O custo operacional variável refere-se ao valor que é dispendido por ano para manter o sistema de abastecimento produzindo água. A premissa que rege as considerações acerca dos custos é a determinação do custo da produção de 1 m³ de água ao longo dos anos.

Como já visto, o sistema de abastecimento de água conta com somente um sistema de bombas, unidades de tratamento e reservatórios, portanto, os custos de operação são compostos, basicamente, pelos custos de energia elétrica e de produtos químicos para tratamentos da água.

Para isso, considerou-se três fatores fundamentais para a constituição da curva de custo operacional do sistema, uma vez que são interferentes diretos para a determinação da relação de custo que se estabelece ano a ano.

O primeiro fator é a produção de água, ou seja, o volume anual produzido pelo sistema de abastecimento. Em virtude da produção de água se dar unicamente através de uma fonte, poços tubulares, o que viabiliza a exploração é a energia elétrica, o que torna o uso desse recurso essencial para o bom funcionamento e continuidade do sistema. Portanto, o segundo fator é o custo anual de energia elétrica utilizada pelos poços.

Como já é sabido, a água explorada passa por tratamento primário antes de entrar no sistema de distribuição, sendo assim, o terceiro fator considerado foi o custo de produtos químicos, sobretudo, cloro e análises laboratoriais de qualidade da água.

Se optou por considerar somente esses dois fatores, e não demais possíveis custos, como de manutenção do sistema, pois não se tem conhecimento desses dados para toda a série considerada – 2001 a 2020.

Se decidiu por realizar uma mesma abordagem em relação aos custos, isto é, ter como base registros contínuos e confiáveis sobre a produção de água anual, custo de tratamento e respectivos custos de energia elétrica, de forma a poder observar o comportamento do sistema de abastecimento de água ao longo do tempo do sistema e assim compreender ser desenvolvimento.

6.5.1. Produção de água

Dispõe-se de uma série com 20 anos de dados, 2001 a 2020, referentes a produção de água anual realizada através do sistema de poços e pelos respectivos custos dispendidos em energia elétrica. De 2001 a 2013 os dados de produção de água são provindos das medições da CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, antiga responsável pelo sistema de abastecimento de água de Ivoti, os quais estão dispostos na Tabela 6.4.

Do ano de 2014 a 2020, sob responsabilidade da Autarquia Água de Ivoti, a medição de produção anual é fornecida pela macromedição da cada poço. Foram disponibilizados a este trabalho, pela Autarquia, a medição diária de cada poço do sistema que se consiste no volume de água bombeado e o tempo gasto para isso. Após a manipulação dos dados, chegou-se ao volume total produzido anualmente, conforme a Tabela 6.5.

Tabela 6.4. Produção de água pelo sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela CORSAN.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Produção (m³/ano)	1.037.000	1.142.000	1.140.000	1.241.000	1.164.000	1.286.000	
Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Produção (m³/ano)	1.407.000	1.399.000	1.519.000	1.564.000	1.562.000	1.568.000	1.658.585,89

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Tabela 6.5. Produção de água pelo sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti.

Ano	2014	2015	2016	
Produção (m³/ano)	1.891.187,00	2.352.333,00	2.405.335,00	
Ano	2017	2018	2019	2020
Produção (m³/ano)	2.196.948,00	2.220.215,33	2.215.745,11	2.297.979,00

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Os dados manipulados sofreram correções de possíveis falhas e/ou de dias com faltas de medições por motivos de hidrômetros quebrados, assim, buscou-se representar a realidade quanto a rotina de exploração do aquífero, bem como determinar com precisão, tanto quanto é possível, a real quantidade de água explorada pela Autarquia Água de Ivoti.

6.5.2. Energia elétrica

Dispo-se de uma série com 20 anos de dados, 2001 a 2020, referentes aos valores investidos em pagamentos de custos em energia elétrica. De 2001 a 2013 os dados de custos

dispendidos em energia elétrica são providos das medições da CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, antiga responsável pelo sistema de abastecimento de água de Ivoti, os quais estão dispostos na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Custo de energia em relação ao funcionamento dos poços do sistema público de abastecimento de água de Ivoti, operado pela CORSAN.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Custos (R\$/ano)	302.690,00	362.660,00	483.770,00	490.590,00	489.210,00	562.160,00	
Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Custos (R\$/ano)	553.120,00	575.120,00	668.850,00	735.000,00	763.100,00	833.509,16	741.439,00

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Do ano de 2014 a 2020, os custos do sistema de abastecimento estão sob responsabilidade da Autarquia Água de Ivoti. Foram disponibilizados a este trabalho, pela Autarquia, a medição mensal de cada poço do sistema, que se consiste na quantidade de kWh gasta e seu respectivo custo. Dessa forma, pode-se ter conhecimento acerca de todos os kWh gastos, custos, assim como tarifas de energia elétrica. Na Tabela 6.7 se observa as informações mencionadas.

Tabela 6.7. Gasto de energia anual e respectivos gastos associados, do sistema de abastecimento de água de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti.

Ano	2014	2015	2016	
kWh			3.582.536,00	
Custos (R\$/ano)	923.742,16	1.935.143,97	2.157.018,18	
Ano	2017	2018	2019	2020
kWh	3.334.860,00	3.285.122,00	3.230.979,00	3.122.893,00
Custos (R\$/ano)	2.250.104,85	2.367.259,07	2.454.091,34	2.617.956,48

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Não foram apresentados os gastos em kWh referentes aos anos de 2014 e 2015, pois eles apresentam erros nas anotações.

6.5.3. Produtos químicos

A partir dos Relatórios de Atividades da Autarquia Água de Ivoti, referentes aos anos de 2018, 2019 e 2020, disponibilizados no *site* da Autarquia, em que são apresentadas as prestações de contas dos respectivos anos, pode-se identificar os investimentos destinados ao tratamento da água explorada e os custos das análises laboratoriais de qualidade da água (ÁGUA DE IVOTI, 2021).

A identificação dos custos atrelados ao tratamentos de água, bem como os valores investidos podem ser observados na Tabela 6.8.

Tabela 6.8. Custos atrelados ao tratamento da água explotada pelo sistema público de abastecimento de Ivoti.

Especificação	Custo 2018 (R\$)	Custo 2019 (R\$)	Custo 2020 (R\$)
Ambientaly Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA		26.319,50	30.696,00
Artigos para lab.			5.583,10
Conselho regional de quimica			2.721,46
Green Lab. Análises químicas e toxicológicas LTDA	18.924,90	20.439,36	244.898,60
Guaíba química IND. com LTDA	22.518,00		
Hidrobrasil LTDA	23.064,60	6.320,00	434.749,95
Laboratório ALAC LTDA	93.323,45		
NSF Bioensaios prest. serv. anal. e cert.	120.544,50	296.509,92	
Pro-análise química e diagnóstico LTDA		2.555,10	
Químicaflex produtos químicos LTDA	3.150,00	4.250,00	2.000,00
TOTAL	281.525,45	356.393,88	712.344,55

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

De modo a não se fazer posse dos custos de tratamento de água dos demais anos da série considerada, 2001 a 2017, calculo-se a porcentagem anual dos custos atrelados ao tratamento de água sobre os custos de energia elétrica, traçando assim uma relação entre esses custos. As respectivas porcentagens, bem como discriminação dos custos considerados encontram na Tabela 6.9.

Tabela 6.9. Aproximação da variação dos custos de tratamento da água, produzida pelo sistema de abastecimento, ao ano, tendo como referência os custos em energia elétrica.

	2018	2019	2020
Custo total energia elétrica (R\$/ano)	2.367.259,07	2.454.091,34	2.617.956,48
Custo total tratamento de água elétrica (R\$/ano)	281.525,45	356.393,88	712.344,55

%	11,90	14,52	27,21
Média %	17,87		

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

A partir da determinação da variação dos custos em tratamento de água, e análises químicas laboratoriais, ao ano, em função dos custos de energia elétrica, definiu-se um valor médio para se acrescentar anualmente ao último custo citado. A taxa média anual de custo em tratamento de água pode ser entendida como sendo 17,87% do valor de investimento anual que a Autarquia Água de Ivoti realiza em energia elétrica.

6.5.4. Curva de custo operacional variável

Dispondo dos valores respectivos aos três fatores considerados acerca dos custos operacionais do sistema público de abastecimento de água do município elaborou-se a curva. Para tal, a aproximação realizada foi através de uma função do tipo polinomial de terceiro grau, uma vez que o formato de equação que o programa admite é a de uma equação polinomial, exposta pela Equação 6.1. Ou seja, para caracterização da equação de custo operacional, e posterior determinação dos reais valores, o programa requer a inserção de três coeficientes, a e b da equação genérica que segue:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x$$

Equação 6.1

O compilado de informações utilizadas quanto aos dados está exposto na Tabela 6.9 Tabela 6.10. O gráfico, assim como a equação própria dos custos operacionais do sistema estão dispostos na Figura 6.2.

Tabela 6.10. Descrição dos custos considerados para a elaboração da curva de custo operacional do sistema de abastecimento de água de Ivoti.

Ano	Produção de água (m³/ano)	Custo em energia (R\$/ano)	Custos associados ao tratamento de água (R\$/ano)	Custos totais (R\$/ano)
2001	1.037.000,00	302.690,00	54.090,70	356.780,70
2002	1.142.000,00	362.660,00	64.807,34	427.467,30
2003	1.140.000,00	483.770,00	86.449,70	570.219,70
2004	1.241.000,00	490.590,00	87.668,43	578.258,40
2005	1.164.000,00	489.210,00	87.421,83	576.631,80
2006	1.286.000,00	562.160,00	100.458,00	662.618,00
2007	1.407.000,00	553.120,00	98.842,54	651.962,50
2008	1.399.000,00	575.120,00	102.773,90	677.893,90
2009	1.519.000,00	668.850,00	119.523,50	788.373,50
2010	1.564.000,00	735.000,00	131.344,50	866.344,50
2011	1.562.000,00	763.100,00	136.366,00	899.466,00
2012	1.568.000,00	833.509,20	148.948,10	982.457,20

2013	1.658.586,00	741.439,00	132.495,10	873.934,10
2014	1.891.187,00	923.742,20	165.072,70	1.088.815,00
2015	2.352.333,00	1.935.144,00	345.810,20	2.280.954,00
2016	2.405.335,00	2.157.018,00	385.459,10	2.542.477,00
2017	2.196.948,00	2.250.105,00	402.093,70	2.652.199,00
2018	2.220.215,00	2.367.259,00	423.029,20	2.790.288,00
2019	2.215.745,00	2.454.091,00	438.546,10	2.892.637,00
2020	2.297.979,00	2.617.956,00	467.828,80	3.085.785,00

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

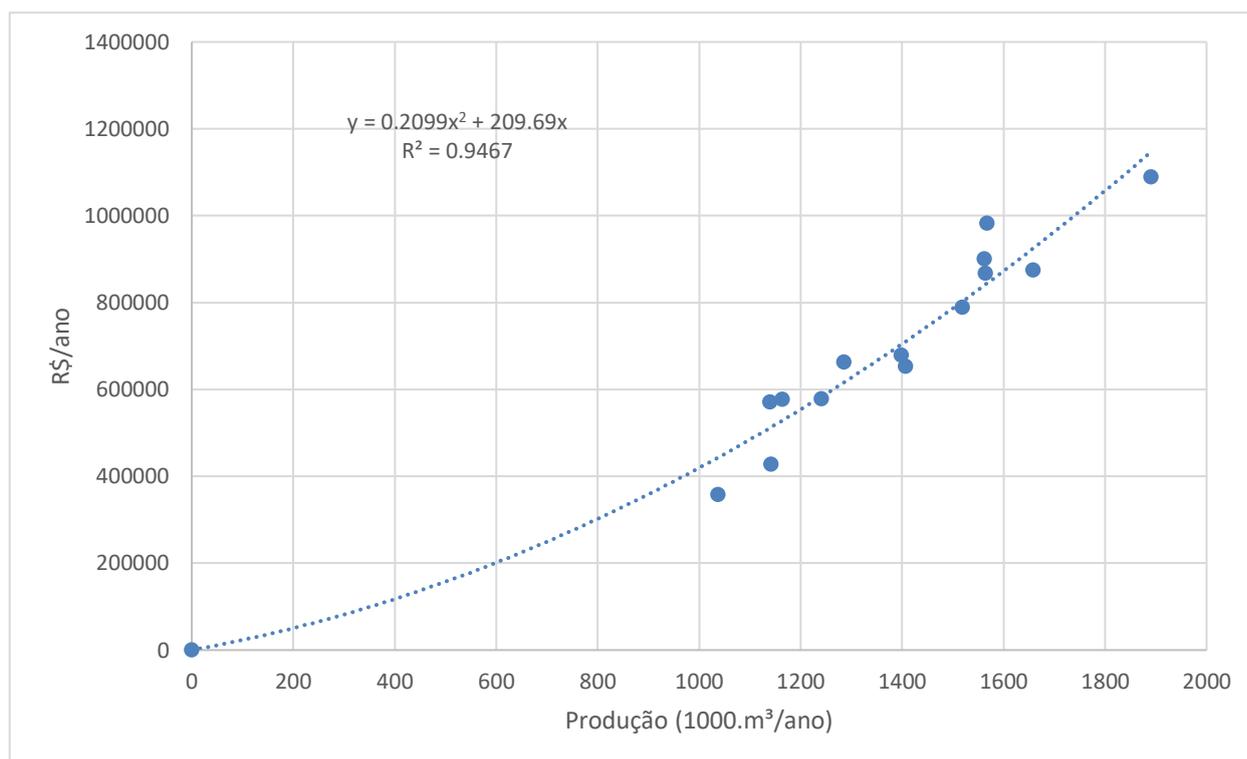


Figura 6.2. Curva representante do custo operacional do sistema de abastecimento de água de Ivoti. (Fonte: própria da autora.)

A entrada de informação na curva representante do custo operacional do sistema de abastecimento de água, eixo x, se dá por produção de água anual, em 1000/m³. A saída de informação, ou seja, o resultado que a função retorna, é o custo anual referente a produção de água inserida inicialmente, em R\$/ano.

Para facilitar a visualização, a função da curva operacional variável do sistema de abastecimento público de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti, é representada pela Equação 6.2.

$$y = 0,2099 \cdot x^2 + 209,69 \cdot x$$

Equação 6.2

6.6. Custos fixos

A equação que representa os custos fixos da Autarquia Água de Ivoti foi gerada a partir de duas informações: da produção de água anual, ou seja, m³/ano, e do valor investido anualmente em salários. São considerados “custos fixos”, uma vez que independem momentaneamente da produção de água do sistema de abastecimento. Em um médio/longo prazo tendem a se modificar, tendo em vista que um sistema maior dependerá de uma equipe maior para operá-lo.

O formato de equação que o programa admite é a de uma equação exponencial, exposta pela Equação 6.3. Ou seja, para caracterização da equação de custos fixos, e posterior determinação dos reais valores, o programa requer a inserção de dois coeficientes, *a* e *b* da equação genérica que segue.

$$y = a \cdot x^b$$

Equação 6.3

As informações a que se teve acesso, pelo presente estudo, acerca dos custos fixos anuais da Autarquia dizem respeito aos Relatórios de Atividades da Autarquia Água de Ivoti. Como já mencionado, esses relatórios são gerados pela Autarquia Água de Ivoti e disponibilizados via *site* da instituição (ÁGUA DE IVOTI, 2021).

As informações utilizadas podem ser observadas a partir da Tabela 6.11.

Tabela 6.11. Produção de água e folha de pagamento dos anos de 2018, 2019 e 2020.

	2018	2019	2020
Produção (m ³ /ano)	2.220.215,33	2.215.745,11	2.297.979,00
Custo da folha de pagamento (R\$/ano)	533.561,43	630.386,09	628.094,22

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Por meio da plotagem da produção de água (1000.m³/ano) e do custo “fixo” (R\$/ano), ou seja, folha de pagamento, que a Autarquia Água de Ivoti possui, chegou-se a uma aproximação via função a qual fora determinada como não representativa do comportamento real quanto a esse custo, uma vez que apresentou coeficiente de determinação de 0,1941.

Para tanto, determinou-se o valor dispendido à folha de pagamento em relação a produção de água e fez-se a média dos resultados respectivos ao três anos de amostragem.

Esse valor médio foi então utilizado para determinar o custo fixo do sistema em termos da quantidade de água produzida por ano.

A função da curva de custo fixos aproximada para o sistema de abastecimento público de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti, é representada pela Equação 6.4.

$$y = 266,05. e^{0,00000001x}$$

Equação 6.4

6.7. Custos de expansão

A equação que define os custos de expansão é capaz de determinar, por exemplo, o custo do aumento da produção do sistema de abastecimento em 1 m³ de água ao ano. Isto implica em investimentos no sistema de abastecimento para que ele possa ser capaz de produzir mais do que, no momento presente, produz.

Para tanto, através de informações disponibilizadas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Ivoti (PMSB, 2019), calculou-se o custo da construção de 1 poço, sabendo-se que esse produz, em média, 12,69 m³/h de água. A produção média por poço foi determinada a partir da produção máxima de água do sistema de abastecimento, 330 m³/h, dividida pela quantidade total de poços, 26.

Somou-se ao custo de produção de 1 m³ de água por ano o custo do armazenamento desse 1 m³. Essa operação foi realizada pois, como se viu anteriormente, o sistema de abastecimento conta com reservatórios para a armazenagem de água antes da distribuição da mesma em muitas situações. Portanto, quando se considera o aumento de produção de água do sistema, tem-se de se considerar, para o sistema de abastecimento de água de Ivoti, o aumento de armazenamento do recurso hídrico.

O formato de equação que o programa admite é a de uma equação polinomial, exposta pela Equação 6.5. Ou seja, para caracterização da equação do custo de expansão do sistema de poços, e posterior determinação dos reais valores, o programa requer a inserção de três coeficientes, *a*, *b* e *c* da equação genérica que segue:

$$y = a . x^2 + b . x + c$$

Equação 6.5

Na Tabela 6.12, estão expostas as informações mencionadas anteriormente e seus respectivos valores.

Tabela 6.12. Custos atribuídos ao aumento da capacidade do sistema de abastecimento de água de Ivoti.

Poços	Produção (m ³ /h)	Produção (1000.m ³ /h)	Custo sistema (R\$)	Custo armazenamento (R\$)	Total (R\$)
1	12,69	97,29	350.000,00	16.000,00	366.000,00
1,25	15,86	121,61	437.500,00	20.000,00	457.500,00
2	25,38	194,57	700.000,00	32.000,00	732.000,00

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

Os valores foram plotados em um gráfico, ilustrado pela Figura 6.3, a fim de se ajustar uma função para o custo de expansão do sistema. Assim sendo, essa função tem como objetivo informar o custo associado ao aumento de infraestrutura sistêmica de abastecimento para fins de se produzir uma quantidade de água maior que a produzida atualmente, a qual dispõem de 26 poços tubulares profundos.

Os cálculos realizados são baseado em valores atuais quanto a investimento, para a implementação em um curto prazo da expansão do sistema.

Para determinação da curva de custo da expansão do sistema plotou-se os valores de produção de água a que se deseja produzir a mais, em 1000.m³/ano, com os valores de custo respectivos, em R\$/ano. A eles se aproximou uma função do tipo linear, a partir da qual foi retirado o coeficiente.

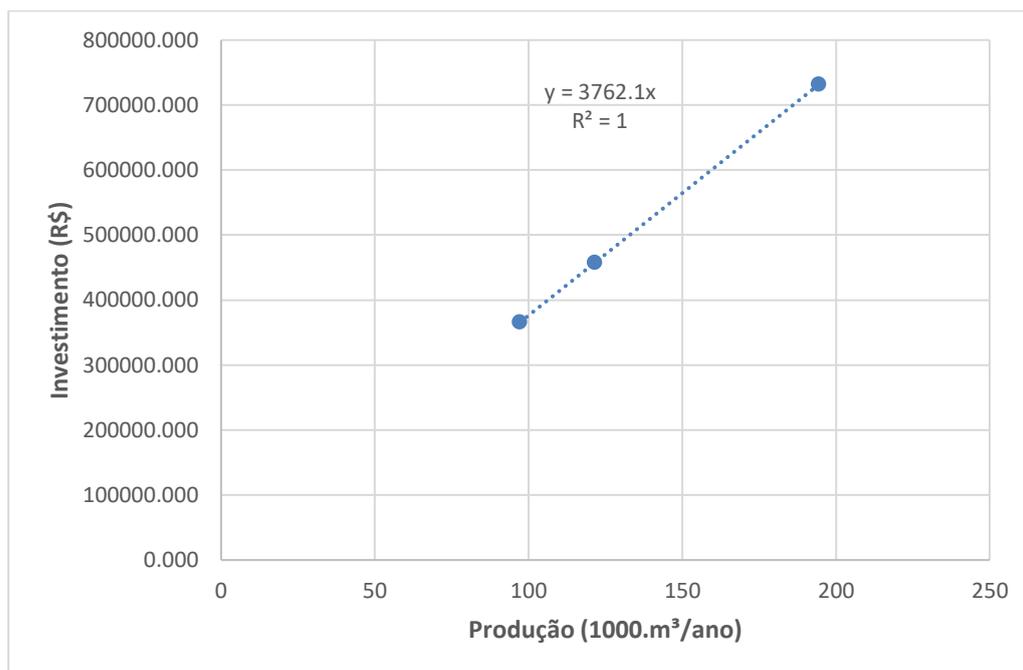


Figura 6.3 Gráfico dos custos de expansão do sistema de abastecimento de água e ajuste de uma função linear.

(Fonte: Autarquia Água de Ivoti, 2021.)

A função que o programa admite, como já sabido, é do tipo polinomial, contudo, igualando o coeficiente a e c a 0 pode-se transformá-la em uma equação linear.

Para facilitar a visualização, a função da curva do custo de expansão do sistema de abastecimento público de Ivoti, operado pela Autarquia Água de Ivoti, é representada pela Equação 6.6.

$$y = 3.762,1 \cdot x$$

Equação 6.6

6.8. Custo redução de perdas

O custo de redução de perdas objetiva a determinar o custo associado a diminuição de índices percentuais de perdas de água do sistema de abastecimento de água. Ela é definida a partir de duas equações do tipo polinomial, a qual obedece o formato da equação genérica indicada pela Equação 6.7.

$$y = a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e$$

Equação 6.7

O programa admite a representação desses custos via duas diferentes equações, conforme já mencionado, cuja determinação se dá a partir da redução do índice percentual da perda. Isso porque quanto mais baixo é o índice de perdas, mais caro é o custo associado. Exemplificando, diminuir 10% de perdas quando o sistema apresenta 30% de perdas é mais caro do que diminuir 10% de perdas em um sistema que apresenta 60%, isso porque diminuir as perdas a um valor abaixo de 30% é bastante difícil, em função da complexidade de execução das intervenções.

A definição da equação específica para o sistema de abastecimento de água de Ivoti foi determinada a partir das determinações do PMSB do município (PMSB, 2019), o qual abrange valores de custo para diminuição das perdas do sistema de abastecimento de água do município, e a partir do Plano de Bacia PCJ (2020).

O PMSB determinou dois pontos: perdas atuais do sistema atualmente custam 0 reais de investimento e a diminuição dos índices para 30% custa em torno de 25 milhões. Ainda, como terceiro ponto, sabe-se que para tender ao índice de perdas de água 0, o custo toma uma dimensão exorbitante. Os demais pontos foram retirados do Plano PCJ, o qual expõe para diversos municípios, dos mais variados portes e proporções, o custo de diminuição de perdas, conforme suas respectivas necessidades de diminuição dos índices. Os pontos que se adequaram a tendência dos pontos relativos ao sistema de água de Ivoti, e que obedeciam uma aproximação polinomial de quarto grau, foram considerados.

Como já explicado, a curva divide-se em duas equações: a primeira de 50% de perdas até 30% se tem a Equação 6.8 como representante do custo associado a redução, ilustrada pela Figura 6.4, e a partir de 30% a 0% de perdas se tem a Equação 6.9 como representante, ilustrada pela Figura 6.5.

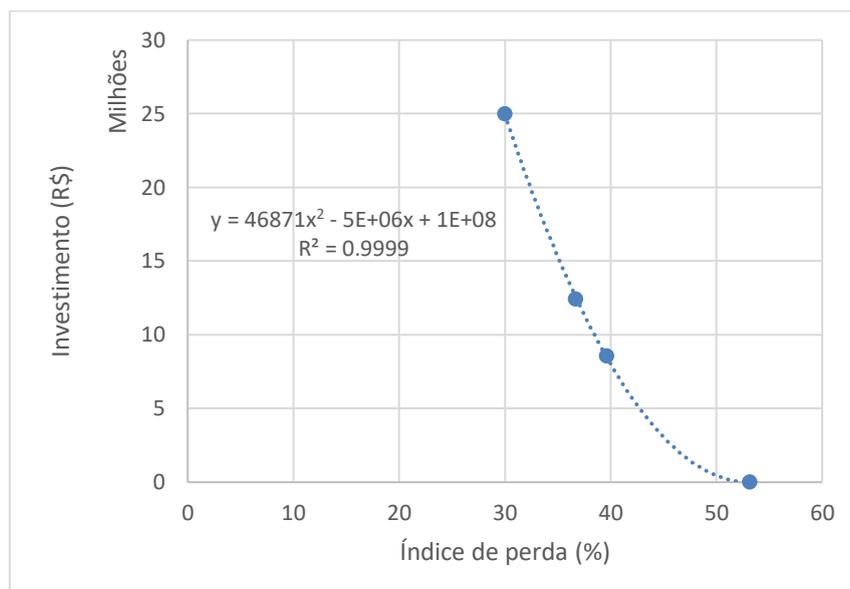


Figura 6.4. Gráfico da função de custo de redução de perdas para uma variação de índices que variam de 50 a 30%.
(Fonte: própria da autora.)

Para facilitar a visualização, a função da curva do custo de diminuição de perdas do sistema de abastecimento público de Ivoti, para a faixa de 50% a 30% de índices de perdas, é representada pela Equação 6.8.

$$y = 0 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 46.871,0 \cdot x^2 - 5.000.000,0 \cdot x + 100.000.000$$

Equação 6.8

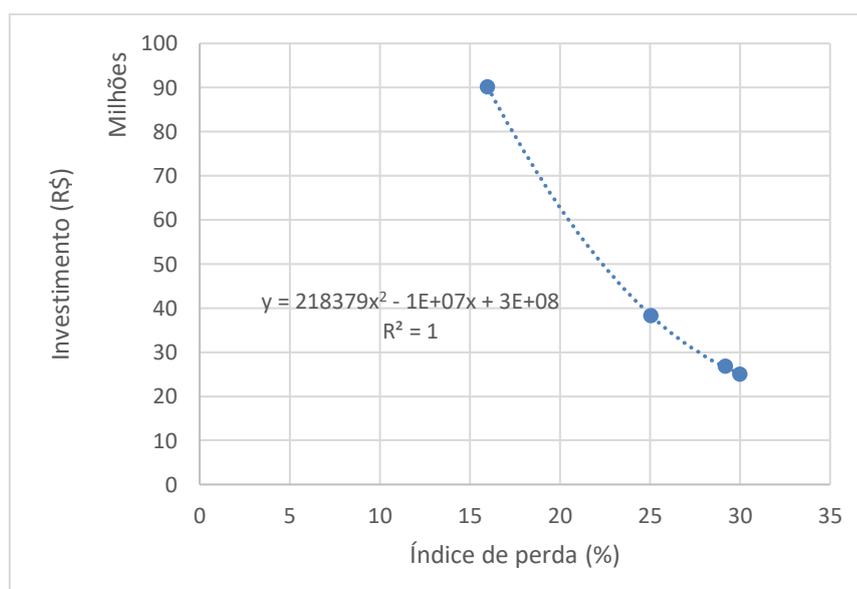


Figura 6.5. Gráfico da função de custo de redução de perdas para uma variação de índices que variam de 30% a 0%.
(Fonte: própria da autora.)

Para facilitar a visualização, a função da curva do custo de diminuição de perdas do sistema de abastecimento público de Ivoti, para a faixa de 30% a 0% de índices de perdas, é representada pela Equação 6.9.

$$y = 0 . x^4 + 0 . x^3 + 218.379,0 . x^2 - 10.000.000,0 . x + 300.000.000$$

Equação 6.9

7. CENÁRIOS E RESULTADOS

De modo a estabelecer uma avaliação do sistema público de abastecimento de água de Ivoti, elaborou-se 8 diferentes cenários nos quais o sistema é submetido a diferentes situações quanto ao seu estado atual e possíveis estados futuros.

Essas diferentes situações são viabilizadas pelo modelo utilizado, e descrito no item 5 do presente estudo, o qual permite atribuir ao sistema diferentes condições e características como condição de contorno, de maneira que se possa observar o seu desenvolvimento a partir de uma nova concepção.

As diferentes condições a que se pode submeter o sistema de abastecimento via programa utilizado traduzem-se na disponibilidade de água que se pode aferir às fontes produtoras de água consideradas e a quantidade de água requerinte das mesmas. Por sua vez, as diferentes características que se pode atribuir ao sistema dizem respeito a capacidade produtiva da fonte que explora água e os custos associados ao mantimento do sistema, bem como ampliação do mesmo.

As diversas possibilidades de combinações quanto as informações a serem inseridas como condição de contorno no programa proporcionam que, ao final das simulações, se obtenham resultados que preveem o comportamento futuro do sistema, o que viabiliza a realização de um diagnóstico do mesmo. A partir do estabelecimento desse diagnóstico um planejamento a respeito das condições e características do sistema público de abastecimento de água pode ser estruturado.

A seguir, são apresentados os cenários elaborados, a justificativa da criação dos mesmos e os resultados a que se foram chegados a partir das condições e características atribuídas ao sistema de abastecimento de água de Ivoti.

7.1. S0 – Validação do programa

O cenário denominado S0 é caracterizado por informações referentes ao ano de 2001, ano que dá início as séries de dados obtidas e utilizadas pelo presente estudo (e apresentadas em capítulos anteriores). As informações utilizadas são apresentadas pela Tabela 7.1, ante abordagens qualitativa e quantitativa.

O objetivo principal desse cenário é representar o comportamento do sistema de abastecimento de água de Ivoti para o período situado entre os anos de 2001 e 2020, a fim de analisar os resultados quanto a sua parecência e sua coerência com os dados respectivos a realidade. Para isso, inseriu-se no programa as informações, mencionadas pela Tabela 7.1, referentes ao ano de 2001, as quais atuam no sentido de caracterizar o sistema de abastecimento de água do ano de 2001 de modo que ele seja refletido da realidade acontecida nesse ano, assim como das condições em que o sistema estava submetido, isso é, a disponibilidade de água na época.

Tabela 7.1. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário So.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2001	65,29
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Valor admitido	50
População (hab.)	Referente ao ano de 2001	13.785
Capacidade máx. do sistema (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2001	900
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	--	--
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2001	Sem restrição

O valor da demanda per capita para o ano de 2000 foi estimado com base em duas informações: a vazão (m³/ano) do ano de 2001, disponibilizada pelo estudo realizado por Heine (2008), o qual a define como sendo 900.000 m³/ano e a população do ano de 2000, disponibilizada pelo IBGE (2000).

A partir da inserção dessas informações, pode-se então analisar as tomadas de decisão feitas pelo programa para o horizonte definido de 20 anos, quanto ao desenvolvimento do sistema de abastecimento de água no tempo, com intuito de avaliar os resultados gerados, comparando-os com os dados reais – e documentados – do intervalo do período de tempo.

Os resultados dessa avaliação atestam a capacidade do programa em retornar informações condizentes com a realidade do município, de modo que se possa estabelecer uma relação de confiança com os dados gerados em futuras simulações.

7.1.1. Resultados

Os resultados do cenário S0 estão dispostos na Tabela 7.2. A Figura 7.1 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.2. Resultados referentes ao cenário de simulação S0.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m ³ /ano)	Capacidade de produção (1000.m ³ /ano)	Custo operacional (R\$/ano)	Ociosidade (%)	CAPEX (R\$/ano)	OPEX (R\$/ano)
2000	0,900	50	1.800	900	--	--	3.385.890,00	--
2001	0.921	50	1.843	1.860	1.099.127	0,93	3.611.616,00	226.714,20
2002	0.943	50	1.886	1.890	1.142.468	0,19	112.863,00	193.194,88
2003	0.966	50	1.931	1.950	1.187.666	0,97	225.726,00	164.631,35
2004	0.988	50	1.977	1.980	1.234.804	0,16	112.863,00	140.290,88
2005	1.012	50	2.024	2.040	1.283.970	0,80	225.726,00	119.549,11
2006	1.036	50	2.072	2.100	1.335.256	1,35	225.726,00	101.873,97
2007	1.060	50	2.121	2.130	1.388.758	0,43	112.863,00	86.812,08
2008	1.086	50	2.171	2.190	1.444.576	0,87	225.726,00	73.977,06
2009	1.111	50	2.222	2.250	1.502.815	1,22	225.726,00	63.039,68
2010	1.138	50	2.275	2.280	1.563.586	0,21	112.863,00	53.719,37
2011	1.165	50	2.329	2.340	1.627.003	0,47	225.726,00	45.777,05
2012	1.192	50	2.384	2.400	1.693.188	0,66	225.726,00	39.008,99
2013	1.220	50	2.441	2.460	1.762.266	0,78	225.726,00	33.241,57
2014	1.249	50	2.499	2.520	1.834.370	0,85	225.726,00	28.326,86
2015	1.279	50	2.558	2.580	1.909.638	0,86	225.726,00	24.138,78
2016	1.309	50	2.618	2.640	1.988.215	0,82	225.726,00	20.569,91
2017	1.340	50	2.681	2.700	2.070.252	0,72	225.726,00	17.528,68
2018	1.372	50	2.744	2.760	2.155.908	0,58	225.726,00	14.937,09
2019	1.405	50	2.809	2.820	2.245.348	0,39	225.726,00	12.728,67
2020	1.438	50	2.876	2.880	2.338.748	0,15	225.726,00	10.846,76

*CAPEX: custo de expansão variável.

*OPEX: custo operacional fixo variável..

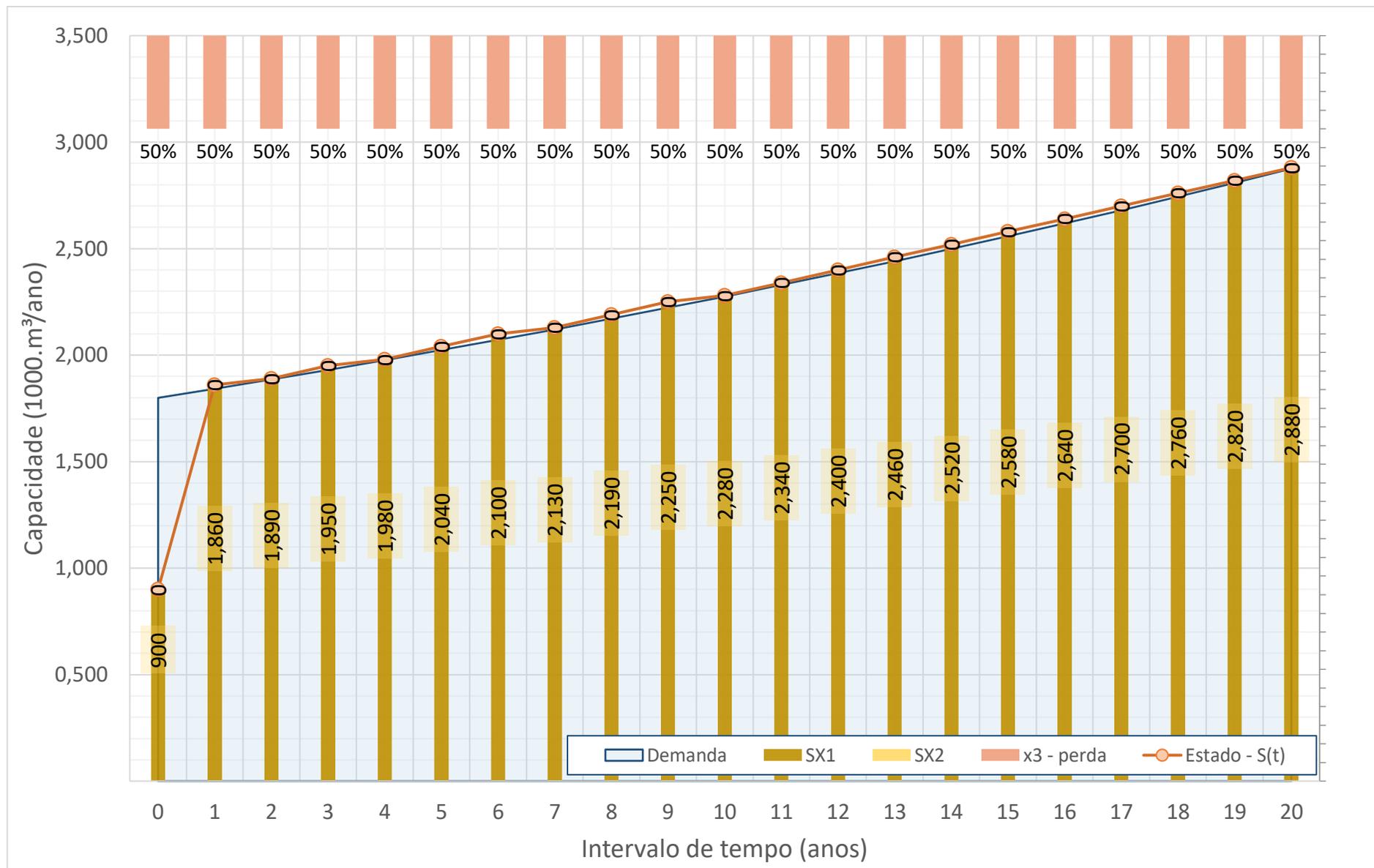


Figura 7.1. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S0.

Pode-se observar que o cenário S0 apresenta uma boa correlação com o acontecido nos anos respectivos a sua simulação, uma vez que quando comparados aos dados reais apresentam um leve acréscimo de valores. Ou seja, os resultados estão superestimados.

A não resposta exata pelo programa pode ser explicada pela determinação da demanda per capita do município, 65,29 m³/ano.hab, a qual possivelmente está superestimada, uma vez que não se têm dados suficientes da época para tal determinação, tais como valores de micromedição e macromedição do sistema de abastecimento de água, assim como se teve acesso para o ano de 2020.

A partir dos valores de CAPEX, custo de expansão do sistema, pode-se concluir que no início do período simulado, quando o sistema apresenta uma capacidade 900.000 m³/ano, a quantidade de poços é de 9 unidades, enquanto que é sabido, via dados disponibilizados pela CORSAN, através do trabalho de Heine (2008) que o sistema de poços em 2001 contava com 14 unidades.

Observando a trajetória de expansão, percebe-se que o modelo indica que em 2020 será necessária a construção de 20 poços, os quais somamos a quantidade inicial prevista, 9 unidades, resultam em 29 poços, 3 unidades a mais quando comparada a quantidade do poços do sistema observado no ano de 2020. Esse valor superestimado concorda com o valor superestimado da demanda por água populacional.

Possivelmente os resultados não ficaram ainda mais superestimados em função da consideração da população abastecida ter sido considerada a população urbana, que é maior do que a população abastecida pelo sistema de abastecimento do município. Cerca de 90 a 95% da população urbana é abastecida pelo sistema público de água.

O programa utilizado é considerado um modelo de otimização e mesmo que tenha se esforçado para representar as condições reais a partir das condições de entrada do programa, o presente estudo não tem a pretensão de demonstrar o caminho de otimização que deveria ter sido realizado, nem mesmo atestar o mesmo, mas sim demonstrar que o programa reflete, por suas considerações, resultados coerentes.

Para tanto, feitas as abstrações, considera-se que o cenário S0 cumpriu com seu objetivo de atestar confiabilidade ao programa utilizado, de maneira a possibilitar as seguintes interpretações e soluções realizadas.

7.2.S1 – Cenário inercial

O cenário inercial se propõe a representar a situação atual do sistema de abastecimento de água. Ou seja, as informações a serem inseridas como condição de entrada no programa são referentes ao ano de 2020.

A partir da Tabela 7.3 pode-se observar os valores utilizados e sua respectiva descrição.

Tabela 7.3. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S1.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Referente ao ano de 2020	53,18
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade máxima do sistema (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	--	--
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Sem restrição

O objetivo desse cenário é definir o comportamento do sistema de abastecimento de água do município, tal como se apresentou em 2020, para os próximos 20 anos. Isto é, se caso o sistema não sofrer alguma interferência como ele se desenvolverá até o ano de 2040.

Logo, foram caracterizados: a demanda, a partir da população abastecida pelo sistema de abastecimento no ano de 2020, sua taxa de crescimento e respectivo consumo; a capacidade máxima do sistema de poços em produzir água; curvas de custos e condição de retirada de água do aquífero.

A curva de custo de redução de perdas não foi considerada para o presente cenário, uma vez que no ano de 2020 nenhum investimento foi realizado para diminuir os índices de perdas de água do sistema de abastecimento. Para tanto, de maneira a impedir que o

programa tomasse a decisão de diminuir perdas – e com isso se afastasse da representação do sistema de abastecimento de água que motiva esse cenário (a não interferência), elevou-se enormemente os custos de redução de perdas, tornando-os excessivamente caros de maneira que essa ação passe a ser desconsiderada pelo programa.

A condição de retirada de água da fonte produtora de água – sistema aquífero – refere-se ao comportamento da produção de água do sistema de abastecimento diferenciado por duas condições neste estudo: retirada de água sem restrição e retirada de água restritiva. De modo que em 2020 nenhuma medida quanto a restrição de água bombeada pelo sistema de poços foi tomada, a disponibilidade de água do aquífero foi caracterizada como ilimitada no programa.

7.2.1. Resultados

Os resultados do cenário S1 estão dispostos na Tabela 7.4. A Figura 7.2 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.4. Resultados referentes ao cenário de simulação S1.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Total de água produzida (1000.m ³ /ano)	Capacidade de produção (1000.m ³ /ano)	Custo operacional (R\$/ano)	Ociosidade (%)	CAPEX (R\$/ano)	OPEX (R\$/ano)
2020	1.092	53,18	2.332	2.890	1.494.506,00	19,31	--	--
2021	1.118	53,18	2.387	2.890	1.696.553,00	17,40	--	258.627,41
2022	1.144	53,18	2.444	2.890	1.765.779,00	15,43	--	251.411,89
2023	1.171	53,18	2.502	2.890	1.838.037,00	13,43	--	244.397,68
2024	1.199	53,18	2.561	2.890	1.913.466,00	11,38	--	237.579,16
2025	1.227	53,18	2.622	2.890	1.992.211,00	9,27	--	230.950,87
2026	1.256	53,18	2.684	2.890	2.074.424,00	7,13	--	224.507,50
2027	1.286	53,18	2.747	2.890	2.160.264,00	4,95	--	218.243,90
2028	1.317	53,18	2.812	2.890	2.249.897,00	2,70	--	212.155,05
2029	1.348	53,18	2.879	2.890	2.343.498,00	0,38	--	206.236,08
2030	1.380	53,18	2.947	2.950	2.441.250,00	0,36	170.000,00	200.482,24
2031	1.413	53,18	3.017	3.040	2.543.342,00	0,03	248.000,00	194.888,92
2032	1.446	53,18	3.089	3.100	2.649.976,00	0,62	161.000,00	189.451,66
2033	1.480	53,18	3.162	3.190	2.761.360,00	0,2	234.000,00	184.166,10
2034	1.515	53,18	3.237	3.250	2.877.714,00	0,65	152.000,00	179.027,99
2035	1.551	53,18	3.313	3.340	2.999.267,60	0,14	221.000,00	174.033,24
2036	1.588	53,18	3.392	3.400	3.126.261,00	0,47	144.000,00	169.177,83
2037	1.626	53,18	3.472	3.490	3.258.945,00	0,73	209.000,00	164.457,89
2038	1.664	53,18	3.555	3.580	3.397.584,00	0,09	203.000,00	159.869,63
2039	1.704	53,18	3.639	3.640	3.542.454,00	0,25	132.000,00	155.409,39
2040	1.744	53,18	3.725	3.730	3.693.843,00	0,34	192.000,00	151.073,57

*CAPEX: custo de expansão variável.

*OPEX: custo operacional fixo variável.

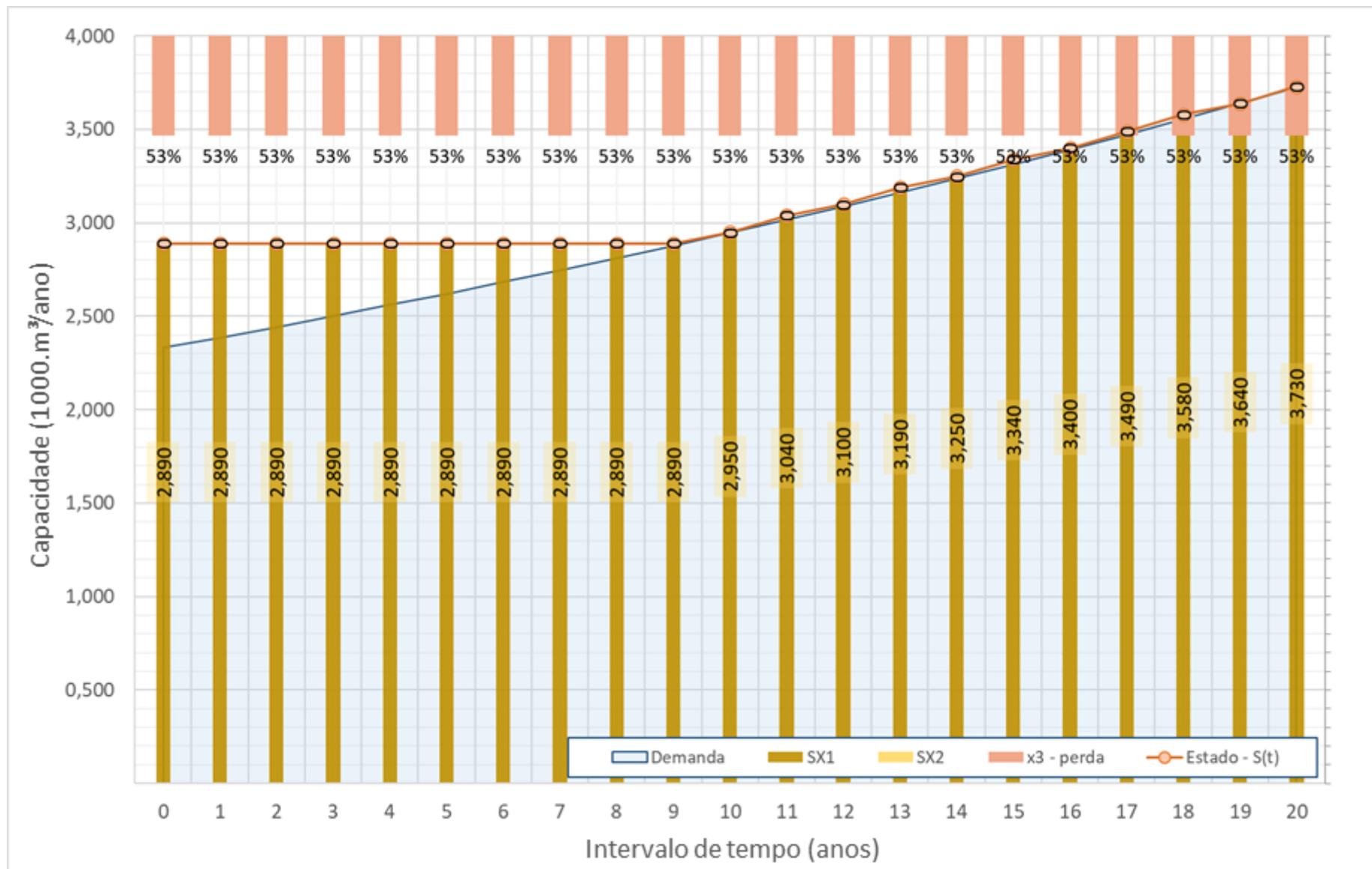


Figura 7.2. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S1.

A partir do cenário S1, como já explicado, é possível realizar uma previsão do que virá a acontecer nos próximos 20 anos se nada for modificado e/ou implementado ao sistema atual de abastecimento de água de Ivoti.

A partir da Tabela 7.4, constata-se que a demanda por água da população chegará a 3.725.000,00 m³/ano no final do período simulado, sustentando uma perda de água da ordem de 53%.

O sistema de abastecimento de água terá que ser capaz de produzir, no ano 2040, 3.730.000,00 m³/ano, sustentando uma margem de segurança indicado pela ociosidade do sistema (a mesma também se apresenta como uma litamitação do programa, em que quanto maior a discretização utilizada, menor será o refinamento dos dados). O custo para manter o sistema será de R\$ 52.820.631,60 e o valor investido na expansão do sistema, ou seja, na perfuração de novos poços, ao final dos 20 anos é de R\$ R\$ 2.066.000,00.

Chama-se a atenção para a capacidade atual do sistema de abastecimento de água, a qual atualmente atinge valor de 330 m³/h, caracterizada por este estudo como a capacidade máxima atual do sistema. Portanto, diante de uma demanda inferior a capacidade de produção de água, se prevê que a necessidade de expansão do sistema ocorrerá somente após o ano de 2030, quando investimentos em expansão da infraestrutura do sistema de poços tubulares começam ser realizados.

Além de valores, ou seja, quanto de água será necessária ser alocada em cada ano simulado e os custos associados a essas quantidades, o resultado de trajetória informa quando serão ocorridas as mudanças, de modo a viabilizar a previsão do futuro conforme o interesse do gestor do sistema, em que providências podem começar a serem tomadas em concomitância a novas simulações, a fim de avaliar com constância o sistema de abastecimento de água.

7.3. S1R – Cenário restritivo

O cenário S1R toma as mesmas premissas e critérios do cenário S1, com exceção da condição de disponibilidade de água. Se antes a fonte produtora de água, o aquífero, dispunha do recurso hídrico de forma ilimitada, agora a disponibilidade de água se restringe ao uso sustentável, isso é, oferta de até 197 m³/h de água.

A caracterização e a condição impostas a esse cenário encontram-se dispostas na Tabela 7.5.

Tabela 7.5. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S1R.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Referente ao ano de 2020	53,18
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.298
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	--	--
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,055

O cenário S1R tem como principal objetivo demonstrar a previsão do que acontecerá ao sistema de abastecimento de água de Ivoti se caso, a partir de 2020, o sistema de poços começasse a bombear somente a quantidade de água atestada sustentável para uso do aquífero, mantendo-se os mesmos níveis de demanda e os mesmos tipos de investimentos. A intenção é apresentar a linha de desenvolvimento do sistema de abastecimento ao longo de 20 anos (até 2040) se as tomadas de decisão agirem em prol de um aproveitamento sustentável, sem realizar investimentos em outras frentes de alocação de água.

Ainda e portanto, o cenário S1R não considera a possibilidade de reduzir os índices de perdas de água pelo sistema de abastecimento, uma vez que descaracterizaria o contexto da disponibilidade de água do sistema de abastecimento no ano de 2020.

7.3.1. Resultados

Os resultados do cenário S1R estão dispostos na Tabela 7.6. A Figura 7.3 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.6. Resultados referentes ao cenário de simulação S1R.

Ano	Demanda (1000.m³/ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m³/ano)	Produção de água (1000.m³/ano)	Ociosidade (%)	Água faltante (1000.m³/ano)	População desatendida (%)
2020	1.092	53,18	2.332	1.710	40,83	621,79	26,67
2021	1.118	53,18	2.387	1.710	40,83	677,05	28,36
2022	1.144	53,18	2.444	1.710	40,83	733,62	30,02
2023	1.171	53,18	2.502	1.710	40,83	791,54	31,64
2024	1.199	53,18	2.561	1.710	40,83	850,82	33,22
2025	1.227	53,18	2.622	1.710	40,83	911,51	34,77
2026	1.256	53,18	2.684	1.710	40,83	973,64	36,28
2027	1.286	53,18	2.747	1.710	40,83	1.037,25	37,76
2028	1.317	53,18	2.812	1.710	40,83	1.102,36	39,20
2029	1.348	53,18	2.879	1.710	40,83	1.169,01	40,60
2030	1.380	53,18	2.947	1.710	40,83	1.237,24	41,98
2031	1.413	53,18	3.017	1.710	40,83	1.307,09	43,32
2032	1.446	53,18	3.089	1.710	40,83	1.378,60	44,64
2033	1.480	53,18	3.162	1.710	40,83	1.451,80	45,92
2034	1.515	53,18	3.237	1.710	40,83	1.526,73	47,17
2035	1.551	53,18	3.313	1.710	40,83	1.603,44	48,39
2036	1.588	53,18	3.392	1.710	40,83	1.681,97	49,59
2037	1.626	53,18	3.472	1.710	40,83	1.762,36	50,75
2038	1.664	53,18	3.555	1.710	40,83	1.844,65	51,89
2039	1.704	53,18	3.639	1.710	40,83	1.928,90	53,01
2040	1.744	53,18	3.725	1.710	40,83	2.015,14	54,10

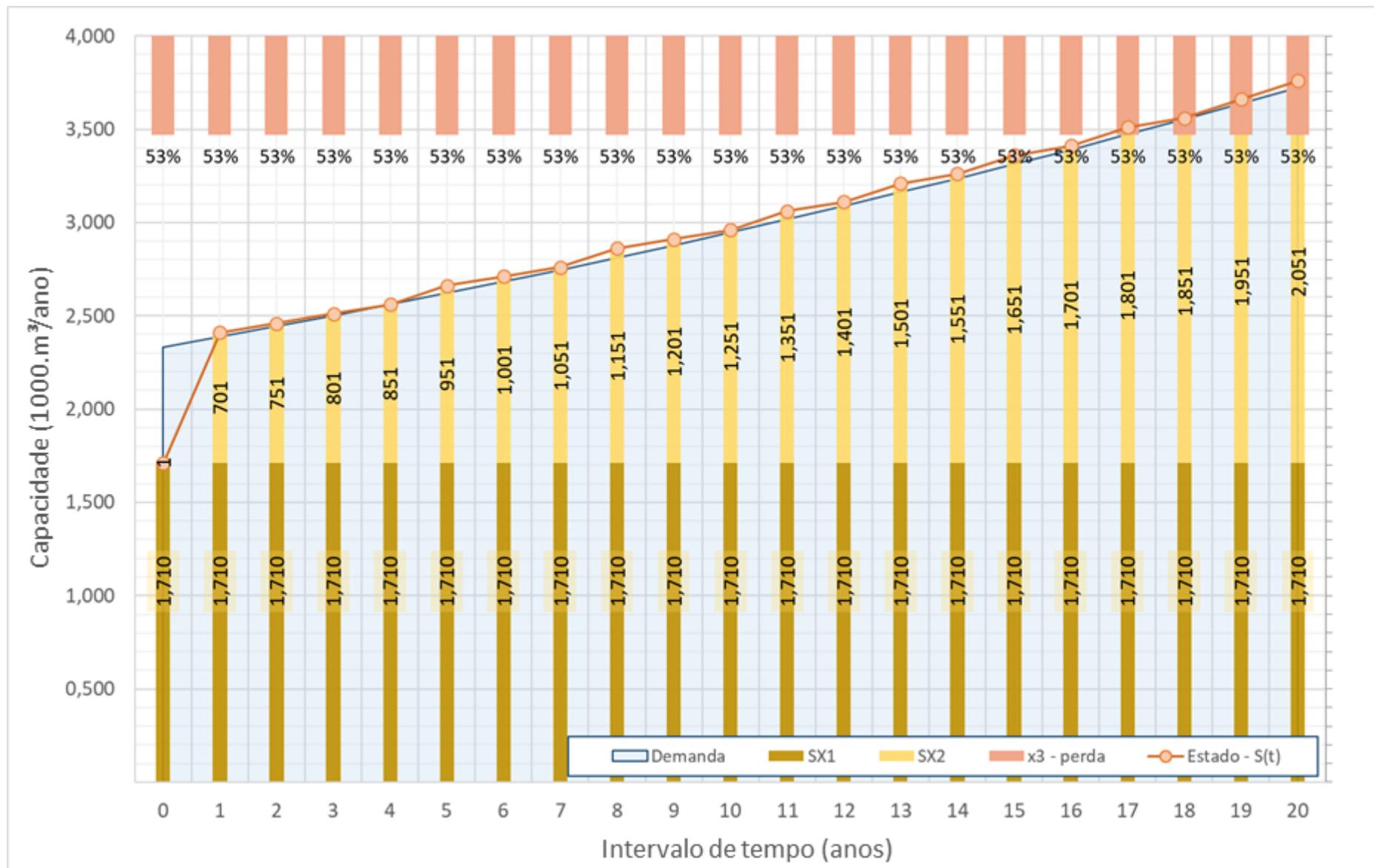


Figura 7.3. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S1R.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável: 1.710.000 m³/ano. A trajetória, exibida pela Figura 7.3, ilustra o desenvolvimento da fonte SX1, o sistema de poços, e da fonte SX2 que, para esse cenário, quer significar a água faltante a integrar o sistema de poços de maneira que a demanda seja suprida.

A partir dos resultados gerados, o quais foram guiados pelo critério principal desse cenário: exploração sustentável do aquífero, pode-se concluir algumas previsões:

- No momento corrente já falta água no município, isto é, para manter a população abastecida e sustentar o índice de perdas do sistema de abastecimento precisa-se praticar a superexploração do aquífero. A quantidade de água superexplorada, atualmente (ano de 2021), pode ser aproximada para o valor de 677.050,00 m³/ano.
- Ao final do período de 20 anos simulados a falta de água acumulada para abastecer a cidade de Ivoti será de aproximadamente 26.606.540,23 m³.
- Se o sistema de poços para abastecimento do município de Ivoti começar a bombear somente a vazão sustentável do aquífero, cerca de 40% dos poços poderão ser desativados. Isso refletiria no desabastecimento de 28,36% da população atual, 43,32% da população de daqui 10 anos e 54,10% da população do ano de 2040.

7.4.S2 – Cenário restritivo com diminuição de perdas

O cenário S2 é o cenário que reflete a situação ideal, para submeter o sistema de abastecimento de água do município, na busca da conciliação entre uma exploração de água sustentável do sistema aquífero, evitando tanto quanto for possível, o desperdício de água e, ainda, atender a demanda por água da população abastecida pelo sistema público de abastecimento.

Esse cenário tem como condição de contorno os dados do sistema de abastecimento de água referentes ao ano de 2020, tendo como período simulado os próximos 20 anos. Essas informações estão descritas na Tabela 7.7.

Tabela 7.7. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S2.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Referente ao ano de 2020	53,18
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo de expansão	Equação 6.4	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo fixo	Equação 6.6	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de redução de perdas	Equação 6.8	a = 0 b = 0 c = 46.871,00 d = -5.000.000,00 e = 10.000.000,00
	Equação 6.9	a = 0 b = 0 c = 218.379,00 d = -10.000.000,00 e = 300.000.000,00
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,055

7.5.1. Resultados

Os resultados do cenário S2 estão dispostos na Tabela 7.8. A Figura 7.4 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.8. Resultados referentes ao cenário de simulação S2.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m ³ /ano)	Produção de água (1000.m ³ /ano)	Ociosidade (%)	Água que falta ou que sobra (m ³ /ano)	População desatendida (%)	Custo redução de perdas (R\$/ano)	Custo redução de perdas (R\$/ano)
2020	1.092	53,18	2.332	1.710	40,83	-621.790,00	26,67	--	--
2021	1.118	33,18	1.673	1.710	42,13	374.200,00	--	95.602.372,01	--
2022	1.144	33,18	1.712	1.710	40,83	-2.220,00	0,13	--	--
2023	1.171	33,18	1.753	1.710	40,83	-42.800,00	2,44	--	--
2024	1.199	28,18	1.669	1.710	42,23	40.580,00	--	265.395.090,00	360.997.462
2025	1.227	28,18	1.709	1.710	40,87	1.010,00	--	--	--
2026	1.256	28,18	1.749	1.710	40,83	-39.490,00	2,26	--	--
2027	1.286	23,18	1.674	1.710	42,06	35.620,00	--	244.201.605,20	605.199.067,2
2028	1.317	23,18	1.714	1.710	40,83	-4.070,00	0,24	--	--
2029	1.348	23,18	1.755	1.710	40,83	-44.690,00	2,55	--	--
2030	1.380	18,18	1.687	1.710	41,64	23.490,00	--	224.700.757,90	829.899.825,1
2031	1.413	18,18	1.726	1.710	40,83	-16.480,00	0,95	--	--
2032	1.446	18,18	1.767	1.710	40,83	-57.390,00	3,25	--	--
2033	1.480	13,18	1.705	1.710	41,00	4.920,00	--	206.757.346,00	1.036.657.171
2034	1.515	13,18	1.745	1.710	40,83	-35.490,00	2,03	--	--
2035	1.551	8,18	1.690	1.710	41,54	20.440,00	--	195.707.056,30	1.232.364.227
2036	1.588	8,18	1.730	1.710	40,83	-19.600,00	1,13	--	--
2037	1.626	3,18	1.679	1.710	41,90	30.840,00	--	185.247.519,40	1.417.611.747
2038	1.664	3,18	1.719	1.710	40,83	-8.950,00	0,52	--	--
2039	1.704	3,18	1.760	1.710	40,83	-49.690,00	2,82	--	--
2040	1.744	0	1.744	1.710	40,83	-34.110,00	1,96	170.351.694,60	1.587.963.441

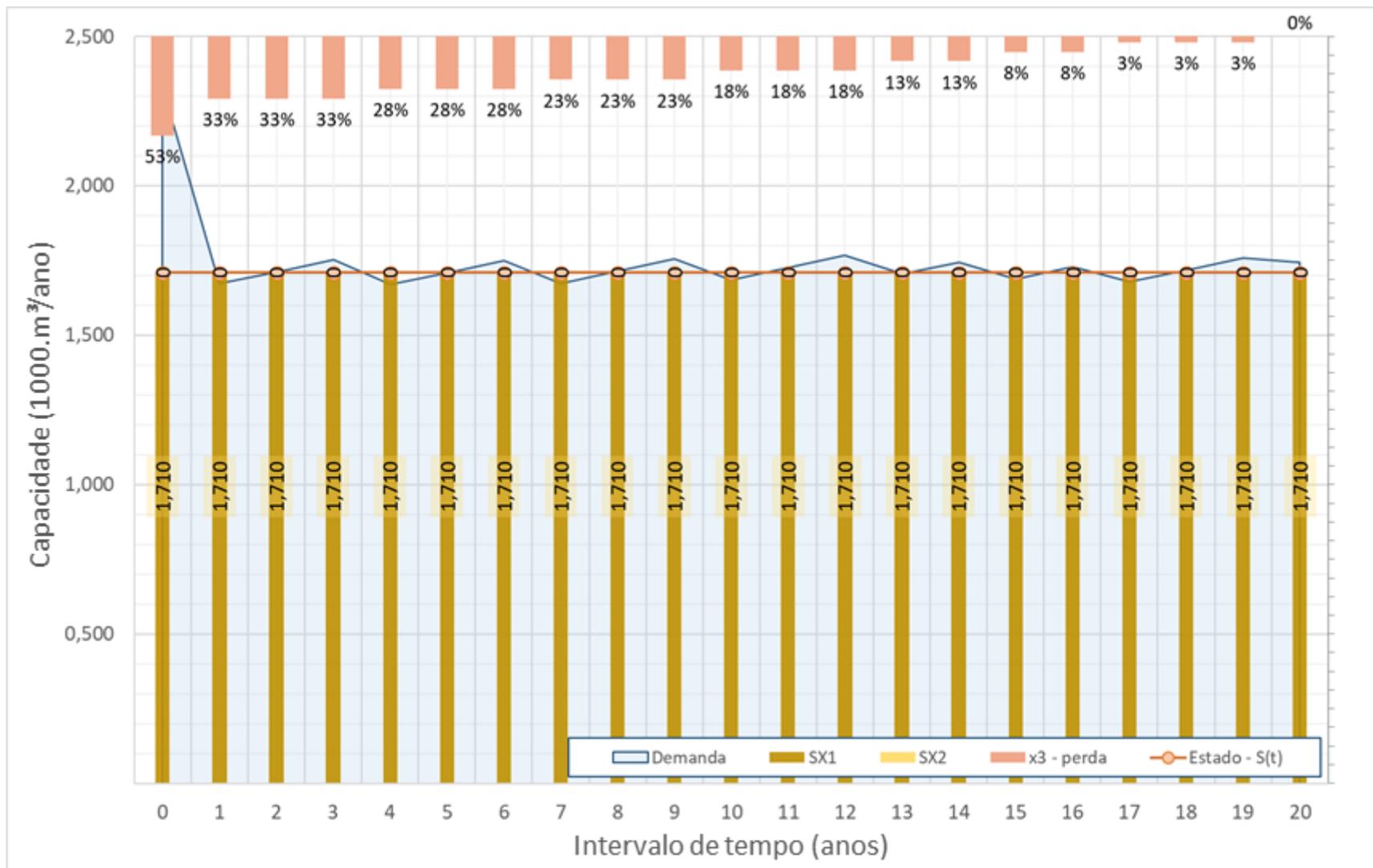


Figura 7.4. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S2.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável: 1.710.000 m³/ano. A trajetória, exibida pela Figura 7.4, ilustra o desenvolvimento da fonte SX1, sistema de poços, e a diminuição dos índices de perda de água através do sistema, denominado como x3.

A partir dos resultados gerados, que foram guiados por dois critérios principais desse cenário: a exploração sustentável do aquífero e a diminuição dos índices de perdas do sistema de abastecimento de água de Ivoti, pode-se concluir algumas previsões:

- Diminuindo-se os índices de perdas do sistema de maneira que cheguem a 28,18% até o ano de 2025, Ivoti poderia ser considerado um município que está em processo de deixar de praticar a superexploração de seu manancial. O custo acumulado de redução dos índices de perdas, a contar do presente até o ano de 2025, é de R\$ 360.997.462,00.
- Se até 2030 o município diminuir seus índices de perdas de água do sistema de abastecimento para 18,18%, poderá então abastecer a população com a água proveniente do aquífero de modo sustentável. Ainda, sobrariam 2.349 m³/ano. O custo acumulado a contar do presente, em redução dos índices de perdas, seria de R\$ 829.899.825,10.
- Ao final do período simulado, o balanço de água ainda é negativo. Cerca de 160.660,41 m³ de água ainda faltarão, uma vez que o somatório da quantidade de água excedente ao longo dos anos é 194.325,12 m³ e o somatório da falta de água, ao longo dos mesmos anos, é de 354.985,52 m³.
- A quantidade de água economizada em relação ao cenário S1, em que se tinha 53,18% de índice de perdas de água, chega em um total de 25.825.552,32 m³ ao final dos 20 anos.
- Se o sistema de poços para abastecimento do município de Ivoti começar a bombear somente a vazão sustentável do aquífero, cerca de 40% do sistema de poços poderá ser desativado. De modo a não submeter a população a um racionamento de água, assim como não praticar superexploração no aquífero de Ivoti, uma nova fonte de produção de água deve ser incorporada ao sistema.

7.5.S3 – Cenário com 2 fontes produtoras de água

O cenário S3 se destina a implementar ao sistema de abastecimento público do município de Ivoti uma nova fonte produtora de água de modo a operar em concomitância a fonte já consolidada do município – o sistema de poços. A nova fonte produtora de água é a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Campo Bom, localizada no município Campo Bom.

O objetivo principal desse cenário é avaliar o desempenho de uma nova fonte produtora de água associada ao sistema de abastecimento de Ivoti tal como ele se apresenta no ano de 2020, assim como às variações de atuação que o sistema pode tomar, a fim de se praticar uma acertiva gestão dos recursos hídricos disponíveis em termos ambientais e sociais.

7.6.1. Caracterização da nova fonte produtora de água

A ETA de Campo Bom tem como coordenadas 29°40'54.64"S e 51° 2'25.29"O. A água é captada do rio dos Sinos, principal corpo hídrico da região, que dista cerca de 1 km, em linha reta, da ETA.

7.6.1.1. Disponibilidade de água e demandas existentes

A ETA tem capacidade de bombeamento de 1000 L/s, produzindo 1.037.184,0 m³ de água potável (considerando-se: volume produzido + volume recirculado – volume de processo). A ETA já abastece cinco municípios, sendo eles: Estância Velha, Portão, Sapiranga, Campo Bom e Novo Hamburgo.

Estância Velha e Portão tem em conjunto um total de 51.655 pessoas abastecidas pela ETA, o que corresponde a 34% do total do sistema integrado. Sapiranga tem um total de 55.132 pessoas abastecidas pela ETA, correspondendo a 33,2 % do total abastecido. Campo Bom tem 48.276 pessoas abastecidas pela ETA, o que corresponde a 30% do total. Por fim, Novo Hamburgo detém 2,8 do total produzido e não informa sobre população abastecida.

Portanto, o consumo dos quatro municípios em união atinge cerca de 100% da produção total da ETA de forma a não ter disponibilidade de água para fornecer ao município de Ivoti, atualmente. Na busca por uma solução, investigou-se a disponibilidade do rio dos Sinos, a fim de determinar se existe viabilidade de, através da ETA, bombear água desse curso d'água.

Para isso, definiu-se um ponto onde ocorrerá a exploração da água do rio dos Sinos. A localização desse ponto fora determinada em função da proximidade com a ETA Campo Bom. A partir do ponto, considerado agora exutório de sua sub-bacia, delimitou-se a sub-bacia de contribuição, a qual atingiu uma área de 2.806,69 km².

Para definir a água disponibilidade hídrica da região, fez-se uso do documento “NOTA TÉCNICA nº 004/2021/DIPLA/DRHS” (2021), que tece sobre a disponibilidade hídrica superficial dos cursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul. Na nota técnica é informado que, para o ponto considerado por este estudo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, a Q90 é 0,00542 m³/s.km². Portanto, para o ponto de captação considerado, tem-se uma disponibilidade hídrica de 15,21 m³/s.

A fim de determinar as outorgas já existentes no local, através da plataforma SIOUT (2021) pode-se ter acesso a todas as outorgas e usos de água da bacia. Foram identificado 103 registros, os quais somados resultam em um valor de 2,28 m³/s de água já comprometidos. As informações mencionadas estão ilustradas na Figura 7.5 e seus respectivos valores na Tabela 7.9.

Tabela 7.9. Informações da disponibilidade de água do rio dos Sinos para o ponto em que ocorre o bombeamento de água para alimentar a fonte SX2.

Informações	Valores
Área da bacia de contribuição do ponto de bombeamento no rio dos Sinos (km ²)	2.806,69
Q90 da bacia hidrográfica (m ³ /s.km ²)	0,00542
Disponibilidade hídrica para o ponto de bombeamento no rio dos Sinos (m ³ /s)	15,21
Outorgas e usos de água na bacia hidrográfica (m ³ /s)	2,28
Disponibilidade de água SX2 (m³/s)	12,93

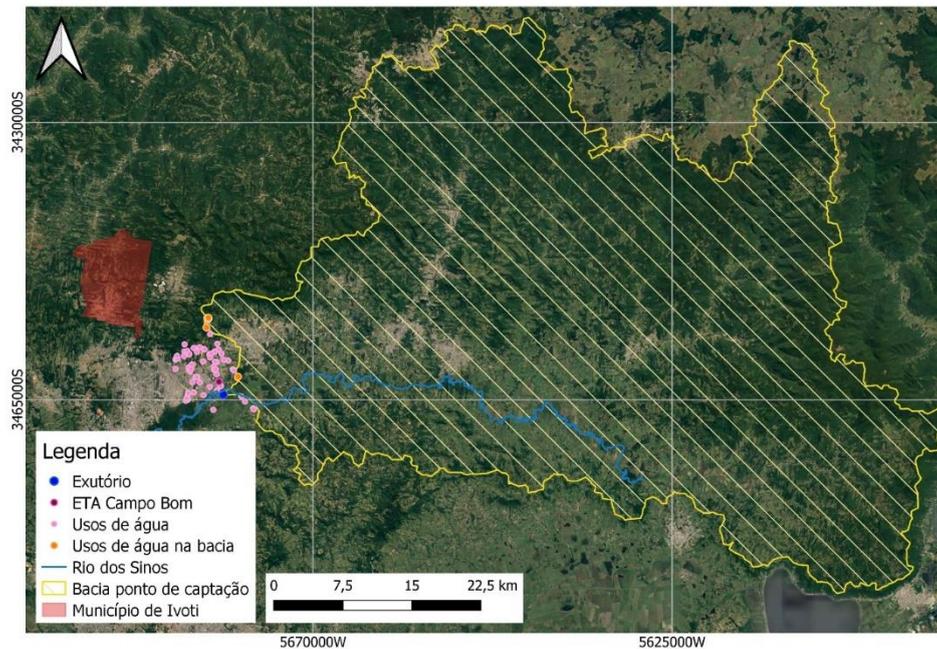


Figura 7.5. Sub-bacia de contribuição do ponto de exploração de água superficial do rio dos Sinos e demais informações.

Concluiu-se que a consideração feita é válida quanto à suprir os objetivos principais da simulação S3. Isto é, fornecer uma segunda fonte produtora de água para compor o sistema de abastecimento de água, já estabelecido, do município de Ivoti.

7.6.1.1.1. Variações climáticas

Conforme já informado, um dos critérios adotados para todo o estudo realizado é a projeção das tendências de comportamentos hidrológicos, assim como sociais, para os próximos 20 anos. Considerou-se a taxa de crescimento populacional para as determinações de aumento da demanda por água e a taxa de juros como fato de influência dos resultados de custos associados ao funcionamento e expansão do sistema no decorrer dos 20 anos.

De maneira a completar a análise, incorporou-se aos cálculos uma variável que rege a disponibilidade futura dos mananciais hídricos atuais, uma vez que a oferta de água natural é passível de alteração ao longo do tempo devido as mudanças climáticas. Estas considerações foram embasadas no estudo de tendências climáticas de SCHUSTER (2019) que prevê variações nos índices de precipitação e de vazão para diversas bacias do estado do Rio Grande do Sul.

Dois cenários, S3c e S3d, apresentados no decorrer do trabalho, apresentam essas considerações acerca da variação da disponibilidade hídrica dos mananciais considerados

(sistema de poços tubulares e recurso superficial do rio dos Sinos). A partir disso, portanto, tem-se o objetivo de realizar previsões que abranjam todas as condições que podem variar ao longo do horizonte de tempo considerado.

Conforme o estudo de SCHUSTER (2019) os índices variantes, a partir das maiores emissões de GEE, consistem-se em -7% sobre os índices pluviométricos da bacia do rio Caí, bacia em que 95% da área do município de Ivoti está inserida, e -8% sobre a vazão passante em 90% do tempo, Q90, do rio dos Sinos, rio a partir do qual a fonte SX2 se abastece.

De modo que a recarga do aquífero é dependente da chuva incidente sobre suas zonas de recarga, retirou-se 7% da disponibilidade do aquífero, considerada como a vazão de exploração sustentável SX1, resultado em um novo valor para a vazão sustentável do aquífero de 0,051 m³/s.

Sabe-se que o ideal seria realizar essa operação sabendo-se o quanto da vazão sustentável do aquífero é dependente da precipitação incidente sobre o município, contudo não se dispõe dessa informação. Não obstante, realizou-se um cálculo simples com a intenção de verificar esse valor. A partir dos dados da estação pluviométrica 2951081, denominada "Costa do rio Cadeira – montante", com localização exposta na Figura 7.6, definiu-se a chuva média do município de Ivoti, apresentada pela Tabela 7.10.

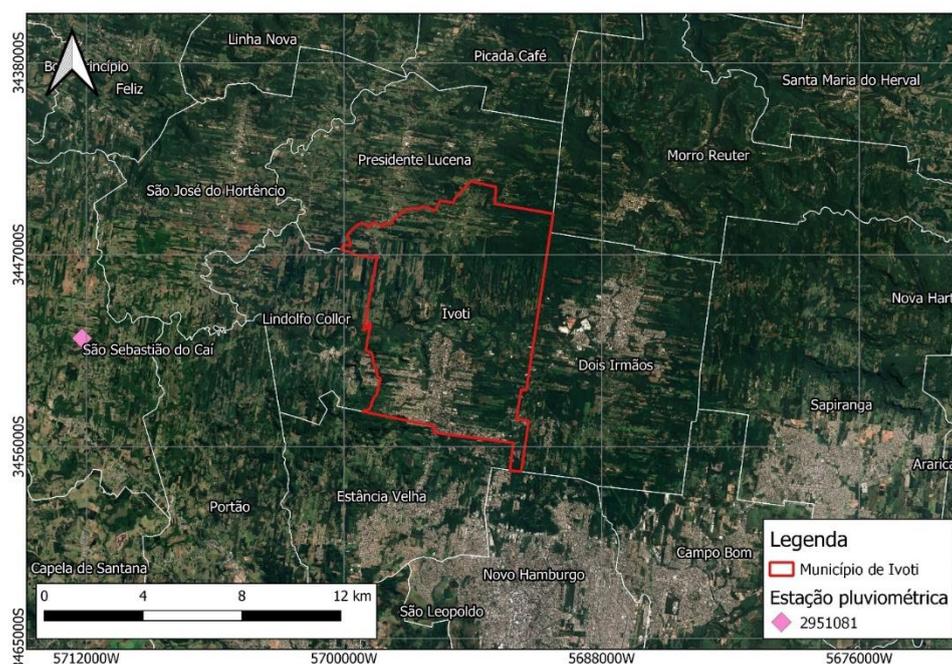


Figura 7.6. Localização da estação pluviométrica 2951081, a qual foi utilizada para determinar a chuva média incidente sobre o município de Ivoti.

Tabela 7.10. Chuva média ocorrente no município de Ivoti.

Mês	Valores (mm)
Janeiro	169,62
Fevereiro	84,58
Março	126,56
Abril	79,48
Mai	140,55
Junho	130,42
Julho	131,62
Agosto	121,97
Setembro	152,20
Outubro	186,80
Novembro	138,20
Dezembro	80,25

A partir da chuva média e da área do município de Ivoti chegou-se em um volume de água precipitada no município anualmente de 25.112.739,55 m³/ano, ou seja, 2.866,75 m³/h, considerado como 100% da disponibilidade.

Sabendo que a vazão sustentável, apresentada pelo capítulo 4.8, é de 197 m³/h conclui-se que a vazão sustentável é 6,87% da chuva média. Diminuindo 7% da chuva média, chegou-se ao resultado de um volume de água de 23.354.847,78 m³/ano, ou seja, 2.666,08 m³/h. Desse valor descobriu-se a nova vazão sustentável a partir da relação feita

anteriormente, a qual determinou que a mesma 6,87% da chuva média. Fazendo o cálculo, chega-se em um novo valor de vazão sustentável do aquífero, cerca de 183,21 m³/h, que é 0,051 m³/s, mesmo valor encontrado anteriormente.

Para SX2, referente a disponibilidade de água do rio dos Sinos, retirou-se 8%, chegando a uma nova disponibilidade de água de 11,89 m³/s.

7.6.1.2. Características do sistema

Para determinar as características que essa nova fonte deverá portar realizou-se cálculos no sentido de obter: as dimensões da adutora e os custos operacionais do sistema. Os custos de expansão e operacionais fixos foram considerados inexistentes, uma vez consolidada a estrutura de adução de água em Campo Bom, que se estende até o município de Ivoti, a mesma deverá suprir, minimamente, as possíveis demandas dos próximos 20 anos. Ainda, a equipe que opera o sistema de abastecimento de água atual de Ivoti, operará o sistema de água superficial.

A distância entre as fontes, considerando que o caminho siga a orientação das principais rodovias que ligam os municípios, a BR-116 e a RS-239, é de 23 km. A vazão considerada a passar na tubulação é a que supre a demanda do ano de 2040, considerando que o aquífero bombeia a vazão sustentável e os índices de perdas do sistema atingindo valores da ordem de 53%.

7.6.1.3. Custos iniciais

O custo de implementação do sistema de abastecimento de água via fonte superficial de produção considerados pelo presente estudo abrange a instalação da adutora que ligará os dois municípios, Campo Bom a Ivoti, e de um novo reservatório para reservar a água provinda dessa nova fonte. Por orçamentos recebidos de empresas que trabalham no ramo de Saneamento Ambiental, em novembro de 2021, determinou-se o custo inicial de instalação da adutora como sendo o valor de R\$ 3.835.000,00.

Já o custo do reservatório foi estimado por meio de valores referentes a expansão da reservação de água produzida pelo sistema de abastecimento de poços de Ivoti, explicados por este estudo, especificamente no capítulo 6.7. A quantidade de água admitida para ser reservada foi calculada a partir do volume diário consumido, condição de 30% do volume diário da hora e dia de maior consumo, conforme Azevedo Netto (1998), e 17% para reserva

de emergência. Os valores considerados, bem como o custo de reservação estão expostos na Tabela 7.11.

Tabela 7.11. Volumes considerados para o dimensionamento do novo reservatório e o custo do mesmo.

Informações	Valores
Volume diário consumido (m ³ /dia)	8.216,81
Condição mínima de 30% (m ³ /dia)	2.465,04
Reserva de emergência (m ³ /dia)	419,06
Total (m ³ /dia)	2.884,10
Custo (R\$)	151.488,07

7.6.1.4. Curva de custo operacional variável

Semelhante a curva de custo definida para o sistema de abastecimento de água, já consolidado, no município de Ivoti, a curva de custo operacional variável da fonte superficial produtora de água é dependente do custo de tratamento de água da ETA e da energia elétrica dispendida para levar a água potável da ETA até Ivoti.

Para isso, inicialmente, calculou-se a perda de carga entre o município de Ivoti e o local em que a ETA está instalada, fazendo uso da equação de Hazen-Williams para diâmetros de tubulação que variam de 50 a 2.000 milímetros, identificada pela Equação 7.1.

$$hf = 10,96171 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot \frac{L}{D^{4,8655}}$$

Equação 7.1

Em que,

hf : perda de carga distribuída (m);

Q : vazão (m³/s);

C : coeficiente do material (tabelado);

L : comprimento da adutora (m);

D : diâmetro da tubulação (m).

A vazão utilizada foi determinada a partir da diferença entre a vazão demandada ao final do período de simulação, ou seja, a vazão que a população de Ivoti demandará em 2040 e a vazão sustentável do aquífero. Multiplicou-se a essa vazão um *coeficiente de variação de consumo*, representante do dia e da hora de maior consumo, denominado K2. O coeficiente de material é obtido através de uma tabulação e diz respeito ao tipo de material da adutora, a qual foi considerada como sendo de concreto, com acabamento comum,

conforme Azevedo Netto (1998). O comprimento da adutora foi considerado como sendo a distância entre o município de Ivoti e o local em que a ETA está instalada.

Por fim, o diâmetro da tubulação foi calculado a partir da equação de Bresse, apresentada pela Equação 7.2, a qual retornou o resultado de 0,46 mm para o diâmetro da adutora. A partir desse resultado, arbitrou-se o diâmetro, com base em disponibilidade de diâmetros comerciais, o valor de 0,6 m. Os demais resultados, bem como os valores referentes as variáveis mencionadas, estão dispostos na Tabela 7.12.

$$D = K \cdot \sqrt{Q}$$

Equação 7.2

Em que,

D : diâmetro da adutora (m);

K : coeficiente de Bresse, utilizado no Brasil como sendo 1,2.

Q : vazão da adutora (m³/s).

Tabela 7.12. Resultado da perda de carga distribuída da adutora que leva a água da ETA até Ivoti.

Variáveis	Valores
Vazão demandada em 2040 (m ³ /s)	0,118124
Vazão sustentável (m ³ /s)	0,054722
Vazão de final de curso (m ³ /s)	0,063401
K2	1,5
Vazão a passar na adutora (m ³ /s)	0,095102
Coeficiente tabelado	120
Comprimento da adutora (m)	23.000
Diâmetro da tubulação (m)	0,6
Perda de carga distribuída (m)	5,47

Seguindo, determinou-se o desnível altimétrico entre as cidades, para, a partir da equação da energia, se definir a altura manométrica a ser vencida pela bomba que elevará a água da ETA até o sistema de abastecimento de Ivoti. Essas informações estão expressas na Tabela 7.13.

Tabela 7.13. Altura manométrica entre o sistema de abastecimento de água de Ivoti e a ETA de Campo Bom.

	Altimetria
Ivoti	127,00 m
Altura do reservatório	3,00 m
Campo Bom	29,00 m

Diferença	101,00 m
Perda de carga distribuída (m)	5,47 m
Altura manométrica (m) - H_b	106,47 m

A perda de carga singular não foi determinada, uma vez que o planejamento pormenorizado da disposição da adutora não foi realizado, devido ao assunto fugir do escopo do presente trabalho.

Dispondo das informações de perda de carga e da altura manométrica, descobre-se a potência que a bomba terá que possuir. O cálculo é realizado através da Equação 7.3 (Azevedo Netto, 1998).

$$N_b = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_b}{\eta_B}$$

Equação 7.3

Em que,

N_b : potência da bomba (W);

γ : peso específico da água (N/m³);

Q : vazão (m³/s);

H_b : altura manométrica (m);

η_B : rendimento da bomba (%).

Tabela 7.14. Cálculo da potência da bomba que elevará a água da ETA, em Campo Bom, para Ivoti.

	Valores
Peso específico da água (N/m ³)	1.000
Vazão (m ³ /s)	0,095102
Altura manométrica (m)	106,47
Rendimento da bomba (%)	70
Potência da bomba (W)	14.464,98

A partir da potência da bomba, a quantidade de horas bombeada por dia e a quantidade de dias que o sistema funcionará, determina-se a quantidade de *watts* gastos em 1 ano.

Tabela 7.15. Energia gasta anualmente para aduzir água da ETA, em Campo Bom, para Ivoti.

	Valores
Potência da bomba (W)	14.464,98
Horas de bombeamento por dia (h)	24
Dias do ano	365
Energia (kWh/ano)	123.278,39

Para finalmente se chegar ao custo da energia gasta multiplicou-se o montante de energia necessária anualmente, para a realização da elevação de água de um município a outro, por uma tarifa média de luz, de modo a se chegar em um montante de investimento.

O cálculo da tarifa média se deu a partir da série de dados de gastos de energia (kWh) e custos associados (R\$) do sistema de abastecimento de água do município de Ivoti, apresentados na Tabela 6.7. Por meio do cálculo das tarifas mensais para os anos de 2016 a 2020 calculou-se a tarifa média de cada ano, através das quais determinou-se uma tarifa média para os 5 anos de amostragem (2016-2020).

As informações citadas nos parágrafos acima são expostas na , juntamente com o custo total anual em energia elétrica.

Tabela 7.16. Custo em energia elétrica do último ano da simulação, para levar a vazão necessária, a cumprir a demanda, da ETA em Campo Bom até Ivoti.

	Valores
Tarifa média (kWh/R\$.ano)	0,7238
Energia (kWh/ano)	123.278,39
Custo (R\$/ano)	89.226,81

Ao custo de energia foi somado o custo de tratamento de água. A partir de Braga, Melo, Ferreira e Brandão (2018), utilizou-se como custo de tratamento o valor de 0,17 R\$/m³.mês.

Repetindo o mesmo processo descrito, foi determinado outros custos anuais referentes a diferentes vazões bombeadas. Desse modo, gerou-se a curva de custo operacional do sistema superficial produtor de água, implementado ao sistema atual de abastecimento de água de Ivoti via simulação.

As informações mencionadas constam na Tabela 7.17.

Tabela 7.17. Informações a partir das quais a curva de custo operacional variável da fonte superficial produtora de água foi gerada.

HB	Q (1000.m ³ /ano)	Potência (W)	Energia (kWh/ano)	Custo energia (kWh/ano)	Custo tratamento (R\$/ano)	Custo (R\$/ano)
100,04	315,36	1.504,64	12.962,76	9.382,23	8.812,80	18.195,03
Tarifa média	473,04	2.256,96	19.444,14	14.073,34	13.219,20	27.292,54
0,7238	630,72	3.009,28	25.925,52	18.764,46	17.625,60	36.390,06
	788,40	3.761,60	32.406,91	23.455,57	22.032,00	45.487,57
	946,08	4.513,92	38.888,29	28.146,68	26.438,40	54.585,08
	1.103,76	5.266,24	45.369,67	32.837,80	30.844,80	63.682,60

	1.261,44	6.018,56	51.851,05	37.528,91	35.251,20	72.780,11
	1.419,12	6.770,88	58.332,43	42.220,02	39.657,60	81.877,62
	1.576,80	7.523,20	64.813,81	46.911,14	44.064,00	90.975,14
	1.734,48	8.275,52	71.295,19	51.602,25	48.470,40	100.072,65
	1.892,16	9.027,84	77.776,57	56.293,37	52.876,80	109.170,17
	2.049,84	9.780,17	84.257,95	60.984,48	57.283,20	118.267,68
	2.207,52	10.532,49	90.739,34	65.675,59	61.689,60	127.365,19
	2.365,20	11.284,81	97.220,72	70.366,71	66.096,00	136.462,71
	2.522,88	12.037,13	103.702,10	75.057,82	70.502,40	145.560,22
	2.680,56	12.789,45	110.183,48	79.748,94	74.908,80	154.657,74
	2.838,24	13.541,77	116.664,86	84.440,05	79.315,20	163.755,25
	2.995,92	14.294,09	123.146,24	89.131,16	83.721,60	172.852,76
	3.153,60	15.046,41	129.627,62	93.822,28	88.128,00	181.950,28

A curva pode ser observada através da Figura 7.7 e da Equação 7.4

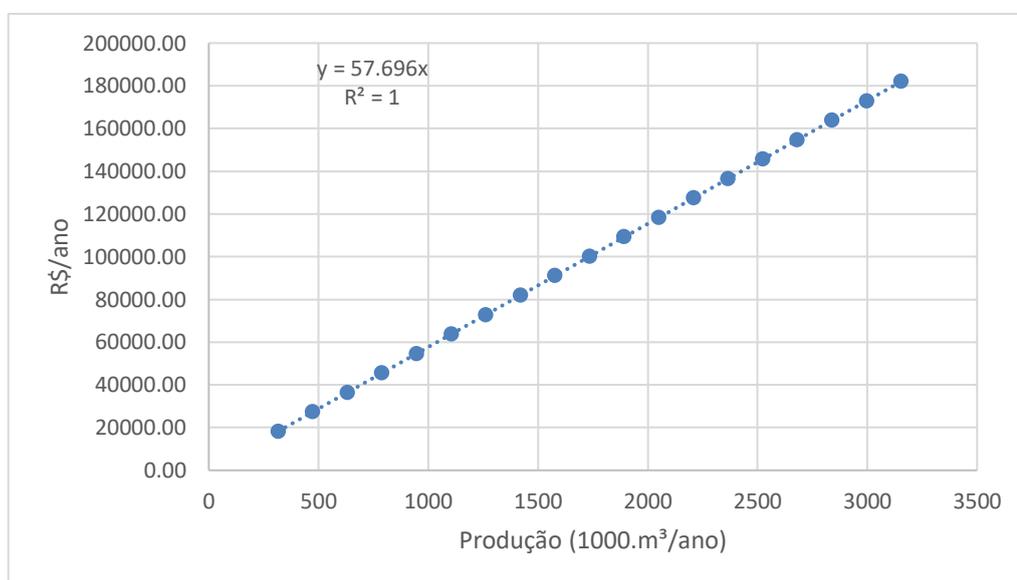


Figura 7.7. Ilustração da curva de custo operacional variável da fonte superficial produtora de água.

Para facilitar a visualização da curva de custo operacional variável da segunda fonte, escreveu-se a Equação 7.4.

$$y = 57,696 \cdot x$$

Equação 7.4

7.6.2. S3a - S1R + SX2

O cenário S3a reúne o cenário S1R a nova fonte de produção de água, captação de água superficial do rio dos Sinos. Ou seja, a água que antes faltava na trajetória de expansão do sistema de abastecimento ilustrada pelo cenário S1R será suprida pela nova fonte, uma vez que essa dispõe de uma grande quantidade de água.

Esse cenário tem como condição de contorno os dados do sistema de abastecimento de água referentes ao ano de 2020, tendo como período simulado os próximos 20 anos. Essas informações estão descritas na Tabela 7.18.

Tabela 7.18. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3a.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Referente ao ano de 2020	53,18
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema SX1 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890
Capacidade do sistema SX2 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	3.000
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo operacional variável SX2	Equação 7.4	a = 0 b = 57,696
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	Equação 6.8	a = 0 b = 0 c = 46.871,00 d = -5.000.000,00 e = 10.000.000,00
	Equação 6.9	a = 0 b = 0 c = 218.379,00 d = -10.000.000,00 e = 300.000.000,00
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,055
Disponibilidade SX2 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	12,93

7.6.2.1. Resultados

Os resultados do cenário S3a estão dispostos na Tabela 7.19. A Figura 7.8 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.19. Resultados referentes ao cenário de simulação S3a.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m ³ /ano)	Produção de água SX1 (1000.m ³ /ano)	Custo operacional SX1 (R\$/ano)	Ociosidade de SX1 (%)	Folga de água (%)	Produção de água SX2 (1000.m ³ /ano)	Ociosidade de SX1 (%)	Custo operacional SX2 (R\$/ano)	OPEX (R\$/ano)
2020	1.092	53,18	2.332	1.632,24	901.491,50	40,83	--	--	100,00	--	--
2021	1.118	53,18	2.387	1.687,00	951.162,40	42,17	1,34	699,96	76,67	40.387,20	258.627,41
2022	1.144	53,18	2.444	1.673,64	938.875,40	42,96	2,13	770,04	74,33	44.425,92	251.411,89
2023	1.171	53,18	2.502	1.661,52	927.880,30	43,66	2,83	840,00	72,00	48.464,64	244.397,68
2024	1.199	53,18	2.561	1.650,80	918.185,00	44,29	3,46	909,96	69,67	52.503,36	237.579,16
2025	1.227	53,18	2.622	1.641,48	909.800,40	44,83	4,00	980,04	67,33	56.542,08	230.950,87
2026	1.256	53,18	2.684	1703,64	966.452,90	41,2	0,37	980,04	67,33	56.542,08	224.507,50
2027	1.286	53,18	2.747	1.697,28	960.544,40	41,58	0,75	1.050,00	65,00	60.580,80	218.243,90
2028	1.317	53,18	2.812	1.692,36	956.039,80	41,86	1,03	1.119,96	62,67	64.619,52	212.155,05
2029	1.348	53,18	2.879	1.689,00	952.962,20	42,06	1,23	1.190,04	60,33	68.658,24	206.236,08
2030	1.380	53,18	2.947	1.687,20	951.339,10	42,16	1,33	1.260,00	58,00	72.696,96	200.482,24
2031	1.413	53,18	3.017	1.687,08	951.201,10	42,17	1,34	1.329,96	55,67	76.735,68	194.888,92
2032	1.446	53,18	3.089	1.688,64	952.583,20	42,08	1,25	1.400,04	53,33	80.774,40	189.451,66
2033	1.480	53,18	3.162	1.691,76	955.524,50	41,89	1,06	1.470,00	51,00	84.813,12	184.166,09
2034	1.515	53,18	3.237	1.696,68	960.069,00	41,61	0,78	1.539,96	48,67	88.851,84	179.027,99
2035	1.551	53,18	3.313	1.703,40	966.265,40	41,21	0,38	1.610,04	46,33	92.890,56	174.033,24
2036	1.588	53,18	3.392	1.641,96	910.210,10	44,81	3,98	1.749,96	41,67	100.968,00	169.177,83
2037	1.626	53,18	3.472	1.652,40	919.573,00	44,2	3,37	1.820,04	39,33	105.006,70	164.457,89
2038	1.664	53,18	3.555	1.664,64	930.711,40	43,48	2,65	1.890,00	37,00	109.045,40	159.869,63
2039	1.704	53,18	3.639	1.678,92	943.696,10	42,65	1,82	1.959,96	34,67	113.084,20	155.409,38
2040	1.744	53,18	3.725	1.695,12	958.604,60	41,7	0,87	2.030,04	32,33	117.122,90	151.073,57

*OPEX: custo operacional fixo variável.

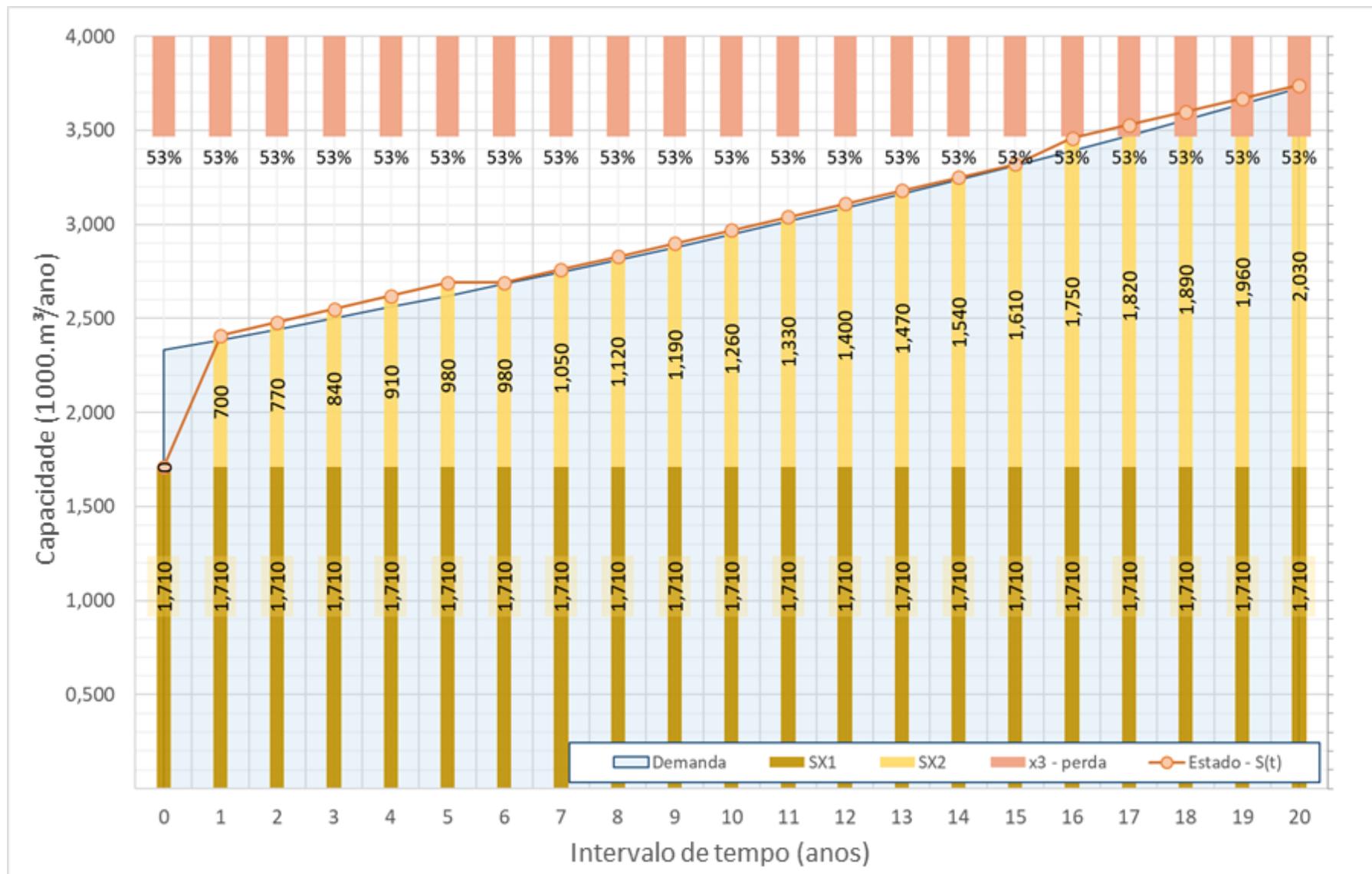


Figura 7.8. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3a.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável: 1.710.000 m³/ano, conferindo segurança ao sistema subterrâneo de produção de água ao não retirar toda a disponibilidade aferida ao aquífero, deixando assim o sistema com uma leve ociosidade. A mesma também se apresenta como uma limitação do programa, em que quanto maior a discretização utilizada, menor será o refinamento dos dados.

A trajetória, exibida pela Figura 7.8, ilustra o desenvolvimento da fonte SX1, sistema de poços, assim como a trajetória de expansão da fonte SX2 e custos associados.

A partir dos resultados gerados, pode-se concluir algumas previsões:

- Seriam necessários um total de 26.600.040,00 m³ de água para os próximos 20 anos de abastecimento público de água, a fim de suprir a demanda da população e assim não praticar a super exploração do aquífero. A vazão da fonte SX2, em m³/s, no ano de 2040 é de aproximadamente 0,064.
- O custo operacional total acumulado da fonte SX2, dispendido ao longo dos 20 anos de amostragem estudada, é de R\$ 1.534.713,60. Deve-se acrescentar a esse custo os custos iniciais, investimento que deve ser realizado para implementar a adutora e o novo reservatório de água: R\$ 3.986.488,07. O custo acumulado total da implementação dessa nova fonte de produção de água, para os 20 anos futuros, será de R\$ 5.521.201,67.
- O custo inicial, de implementação da adutora e do reservatório, será retornado em 6 anos a partir da economia do custo operacional do novo sistema (sistema de poços tubulares + sistema de adução do rio dos Sinos).
- Ambas fontes produtoras de água não possuem custos relativos a expansão do sistema. Isso se deve ao fato de que, no presente cenário, as fontes já dispõem de infraestrutura para bombear o necessário de água, de modo a não precisar de investimento para ampliação das mesmas.
- Considerando-se a soma dos custos operacionais variáveis deste cenário, respectivos as fontes SX1 e a SX2, e os custos operacionais variáveis do cenário S1 somados aos custos de expansão do mesmo cenário, podemos reparar: o cenário S1 tem um custo

total acumulado de R\$ 54.886.631,60 (R\$ 52.820.631,60 + R\$ 2.066.000,00), enquanto o cenário S3a tem um custo total acumulado de R\$ 21.317.885,40 (R\$ 19.783.171,80 (custo operacional SX1) + R\$ 1.534.713,60 (custo operacional SX2)), sem considerar os custos iniciais. Considerando os custos iniciais (R\$ 3.986.488,07), o total consiste em R\$ 25.304.373,47.

- A porcentagem de segurança refere-se a quantidade de água não produzida em virtude de se manter certa folga de água em relação a vazão sustentável do aquífero, passível de ser explorada.
- Já é sabido que, ao limitar a exploração do aquífero a vazão sustentável cerca de 40% dos poços podem ser suprimidos do sistema. Ou, ainda, o sistema de poços tubulares poderia atuar durante uma quantidade inferior de horas que atualmente atuam.

7.6.3. S3b – S2 + SX2

O cenário S3b reúne a principal premissa e o principal critério do cenário S2 a nova fonte de produção de água, captação de água superficial do rio dos Sinos. Ou seja, no cenário S3b é considerado que o sistema de abastecimento de água já consolidado em Ivoti sofreu uma redução de seus índices de perdas de água e hoje apresentam o valor de 30%. Ainda, em virtude da implementação da fonte SX2, a água que antes faltaria na trajetória de expansão do sistema de abastecimento de água será suprida pela nova fonte, uma vez que essa demonstra uma grande quantidade de água disponível, que pode ser ofertada.

Esse cenário tem como condição de contorno os dados do sistema de abastecimento de água referentes ao ano de 2020, com exceção dos índices de perdas do sistema e tem como período simulado os próximos 20 anos. Essas informações estão descritas na Tabela 7.20.

Tabela 7.20. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3b.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Condição estabelecida	35
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema SX1 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890

Capacidade do sistema SX2 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	3.000
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo operacional variável SX2	Equação 7.4	a = 0 b = 57,696
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	Equação 6.8	a = 0 b = 0 c = 46.871,00 d = -5.000.000,00 e = 10.000.000,00
	Equação 6.9	a = 0 b = 0 c = 218.379,00 d = -10.000.000,00 e = 300.000.000,00
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,055
Disponibilidade SX2 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	12,93

7.6.3.1. Resultados

Os resultados do cenário S3b estão dispostos na Tabela 7.21. A Figura 7.9 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.21. Resultados referentes ao cenário de simulação S3b.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m ³ /ano)	Produção de água SX1 (1000.m ³ /ano)	Custo operacional SX1 (R\$/ano)	Ociosidade SX1 (%)	Folga de água (%)	Produção de água SX2 (1000.m ³ /ano)	Custo operacional SX2 (R\$/ano)	Ociosidade SX2 (%)	OPEX (R\$/ano)
2020	1.092	30	1.560	1.559,64	837.611,4	47,46	6,63	--	--	100,00	--
2021	1.118	30	1.597	1.596,60	869.850,1	47,46	6,63	--	--	97,67	260.000,00
2022	1.144	30	1.634	1.634,40	903.447,0	45,25	4,42	--	--	97,67	250.000,00
2023	1.171	30	1.673	1.673,16	938.462,8	42,98	2,15	--	--	95,33	240.000,00
2024	1.199	30	1.713	1.682,88	947.287,8	42,42	1,59	30	1.730,88	95,33	240.000,00
2025	1.227	30	1.753	1.693,44	957.016,9	41,80	0,97	60	3.461,76	93,00	230.000,00
2026	1.256	30	1.795	1.704,96	967.683,2	41,12	0,29	90	5.192,64	90,67	220.000,00
2027	1.286	30	1.838	1.687,56	951.589,9	42,14	1,31	150	8.654,40	90,67	220.000,00
2028	1.317	30	1.881	1.701,12	964.068,1	41,35	0,52	180	10.385,28	88,33	210.000,00
2029	1.348	30	1.926	1.685,64	949.874,2	42,25	1,42	240	13.847,04	86,00	210.000,00
2030	1.380	30	1.971	1.701,24	964.270,4	41,34	0,51	270	15.577,92	86,00	200.000,00
2031	1.413	30	2.018	1.688,04	952.037,8	42,12	1,29	330	19.039,68	83,67	190.000,00
2032	1.446	30	2.066	1.705,80	968.475,0	41,07	0,24	360	20.770,56	81,33	190.000,00
2033	1.480	30	2.115	1.694,76	958.279,9	41,72	0,89	420	24.232,32	79,00	180.000,00
2034	1.515	30	2.165	1.684,92	949.199,8	42,3	1,47	480	27.694,08	79,00	180.000,00
2035	1.551	30	2.216	1.706,16	968.835,2	41,05	0,22	510	29.424,96	76,67	170.000,00
2036	1.588	30	2.269	1.698,72	961.924,9	41,49	0,66	570	32.886,72	74,33	170.000,00
2037	1.626	30	2.323	1.692,48	956.183,2	41,85	1,02	630	36.348,48	72,00	160.000,00
2038	1.664	30	2.378	1.687,56	951.627,4	42,14	1,31	690	39.810,24	69,67	160.000,00
2039	1.704	30	2.434	1.683,96	948.277,2	42,36	1,53	750	43.272,00	67,33	160.000,00
2040	1.744	30	2.492	1.681,56	946.155,1	42,49	1,66	810	46.733,76	67,33	150.000,00

*OPEX: custo operacional fixo variável.

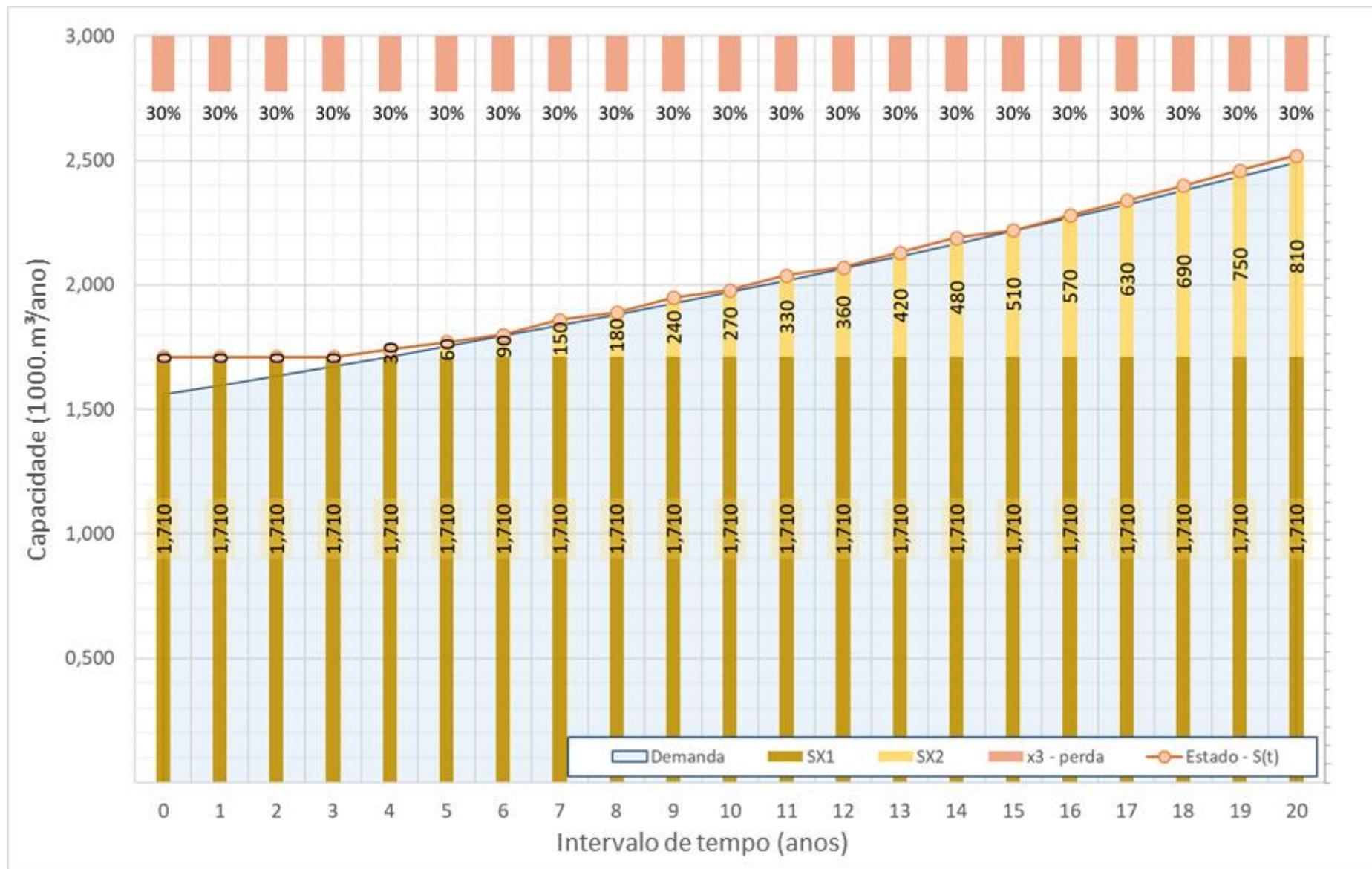


Figura 7.9. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3b.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável: 1.710.000 m³/ano, assim também foi conferida a fonte uma segurança ao sistema subterrâneo de produção de água ao não retirar toda a disponibilidade aferida ao aquífero. A trajetória, exibida pela Figura 7.9, ilustra o desenvolvimento da fonte SX1, sistema de poços, a trajetória de expansão da fonte SX2, assim como os custos associados. Além de todos os fatores estarem sob a nova ótica de índices mais baixos de perdas de água da fonte SX1, 30%.

A partir dos resultados gerados, pode-se concluir algumas previsões:

- Adotar para o sistema de abastecimento de água de Ivoti, SX1, um índice de perdas de água de 30%, quer dizer que o investimento realizado em algum ano é de aproximadamente R\$ 24.970.576, conforme funções de custo de índices de perdas, Equação 6.8 e Equação 6.9.
- Seriam necessários um total de 6.570.000 m³ de água para os próximos 20 anos de abastecimento público de água, a fim de suprir a demanda da população e assim não praticar a super exploração do aquífero. A vazão da fonte SX2, em m³/s, no ano de 2040 é de aproximadamente 0,026.
- Ao final do período simulado, comparando os cenários S3a e S3b, seriam economizados um total de 20.030.040,00 m³ de água. Essa quantidade de água em termos de custos operacionais equivale a R\$ 965.256,40, quando produzido pela fonte SX2.
- Entende-se que a diminuição dos índices de perdas de água do sistema acarreta na diminuição da quantidade de água produzida pela fonte SX2, a qual produz no final de período analisado um total de 20.030.040 m³. O respectivo custo, associado a essa quantidade, acumulado ao final dos 20 anos analisados, considerando somente os custos operacionais variáveis da SX2, é de R\$ 1.155.650,88.
- O custo operacional total acumulado deste cenário, considerando ambas as fontes, dispendido ao longo dos 20 anos de amostragem estudada, é de R\$ 19.288.676,47 (R\$ 18.909.613,75 (SX1) + R\$ 379,062.72 (SX2)). Deve-se acrescentar a esse custo os custos iniciais, investimento que deve ser realizado para implementar a adutora, e o custo do novo reservatório de água: R\$ 3.986.488,07. O custo acumulado total da

implementação e operação dessa nova fonte de produção de água, para os 20 anos futuros, é de R\$ 23.275.164,54.

- Serão necessários 19 anos para que o valor investido por essa sugestão seja revertido, considerando-se os custos economizados em operação do sistema (quando comparado ao cenário S1).
- A porcentagem de segurança refere-se a quantidade de água não produzida em virtude de se manter certa folga de água em relação a vazão sustentável do aquífero, passível de ser explorada.
- Ao limitar a exploração do aquífero a vazão sustentável cerca de 40% dos poços podem ser suprimidos do sistema. Ou, ainda, o sistema de poços tubulares poderia atuar durante uma quantidade inferior de horas que atualmente atuam.

7.6.4. S3c – S3a + variações climáticas

O objetivo deste cenário é inserir o cenário S3a em uma condição de mudança climática, ou seja, em que a disponibilidade dos mananciais que abastecem as fontes SX1 e SX2 é diminuída. Esta análise contempla a possibilidade da situação em que o aquífero de Ivoti passe a fornecer menos água, assim como o rio dos Sinos, em cerca de 7% e 8% respectivamente.

As condições que caracterizam esse sistema estão expostas na Tabela 7.22.

Tabela 7.22. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3c.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Referente ao ano de 2020	53,18
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema SX1 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890
Capacidade do sistema SX2 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	3.000
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo operacional variável SX2	Equação 7.4	a = 0 b = 57,696

Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	Equação 6.8	a = 0 b = 0 c = 46.871,00 d = -5.000.000,00 e = 10.000.000,00
	Equação 6.9	a = 0 b = 0 c = 218.379,00 d = -10.000.000,00 e = 300.000.000,00
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,051
Disponibilidade SX2 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	11,89

7.6.4.1. Resultados

Os resultados do cenário S3c estão dispostos na Tabela 7.23. A Figura 7.10 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.23. Resultados referentes ao cenário de simulação S3c.

Ano	Demanda (1000.m³/ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m³/ano)	Produção de água SX1 (1000.m³/ano)	Custo operacional SX1 (R\$/ano)	Ociosidade de SX1 (%)	Folga de água (%)	Produção de água SX2 (1000.m³/ano)	Ociosidade de SX2 (%)	Custo operacional SX2 (R\$/ano)	OPEX (R\$/ano)
2020	1.092	53,18	2.332	1.515,72	800.007,80	40,83	--	0	100,00	--	
2021	1.118	53,18	2.387	1.562,04	839.702,90	42,59	1,76	825	72,50	47.599,20	258.627,41
2022	1.144	53,18	2.444	1.543,68	823.826,80	43,75	2,92	900	70,00	51.926,40	251.411,89
2023	1.171	53,18	2.502	1.526,52	809.233,20	44,82	3,99	975	67,50	56.253,60	244.397,68
2024	1.199	53,18	2.561	1.585,80	860.395,90	41,09	0,26	975	67,50	56.253,60	237.579,16
2025	1.227	53,18	2.622	1.571,52	847.913,00	41,99	1,16	1.050	65,00	60.580,80	230.950,87
2026	1.256	53,18	2.684	1.558,68	836.758,30	42,8	1,97	1.125	62,50	64.908,00	224.507,50
2027	1.286	53,18	2.747	1.547,28	826.938,00	43,52	2,69	1.200	60,00	69.235,20	218.243,90
2028	1.317	53,18	2.812	1.537,32	818.460,60	44,14	3,31	1.275	57,50	73.562,40	212.155,05
2029	1.348	53,18	2.879	1.529,04	811.337,90	44,67	3,84	1.350	55,00	77.889,60	206.236,08
2030	1.380	53,18	2.947	1.522,20	805.584,50	45,09	4,26	1.425	52,50	82.216,80	200.482,24
2031	1.413	53,18	3.017	1.517,04	801.218,80	45,42	4,59	1.500	50,00	86.544,00	194.888,92
2032	1.446	53,18	3.089	1.588,56	862.825,80	40,92	0,09	1.500	50,00	86.544,00	189.451,66
2033	1.480	53,18	3.162	1.586,76	861.248,40	41,03	0,20	1.575	47,50	90.871,20	184.166,09
2034	1.515	53,18	3.237	1.586,76	861.191,20	41,04	0,21	1.650	45,00	95.198,40	179.027,99
2035	1.551	53,18	3.313	1.588,44	862.689,80	40,93	0,10	1.725	42,50	99.525,60	174.033,24
2036	1.588	53,18	3.392	1.516,92	801.116,00	45,42	4,59	1.875	37,50	108.180,00	169.177,83
2037	1.626	53,18	3.472	1.522,32	805.684,70	45,08	4,25	1.950	35,00	112.507,20	164.457,89
2038	1.664	53,18	3.555	1.529,64	811.887,60	44,63	3,8	2.025	32,50	116.834,40	159.869,63
2039	1.704	53,18	3.639	1.538,88	819.781,10	44,04	3,21	2.100	30,00	121.161,60	155.409,38
2040	1.744	53,18	3.725	1.550,16	829.427,60	43,34	2,51	2.175	27,50	125.488,80	151.073,57

*OPEX: custo operacional fixo variável

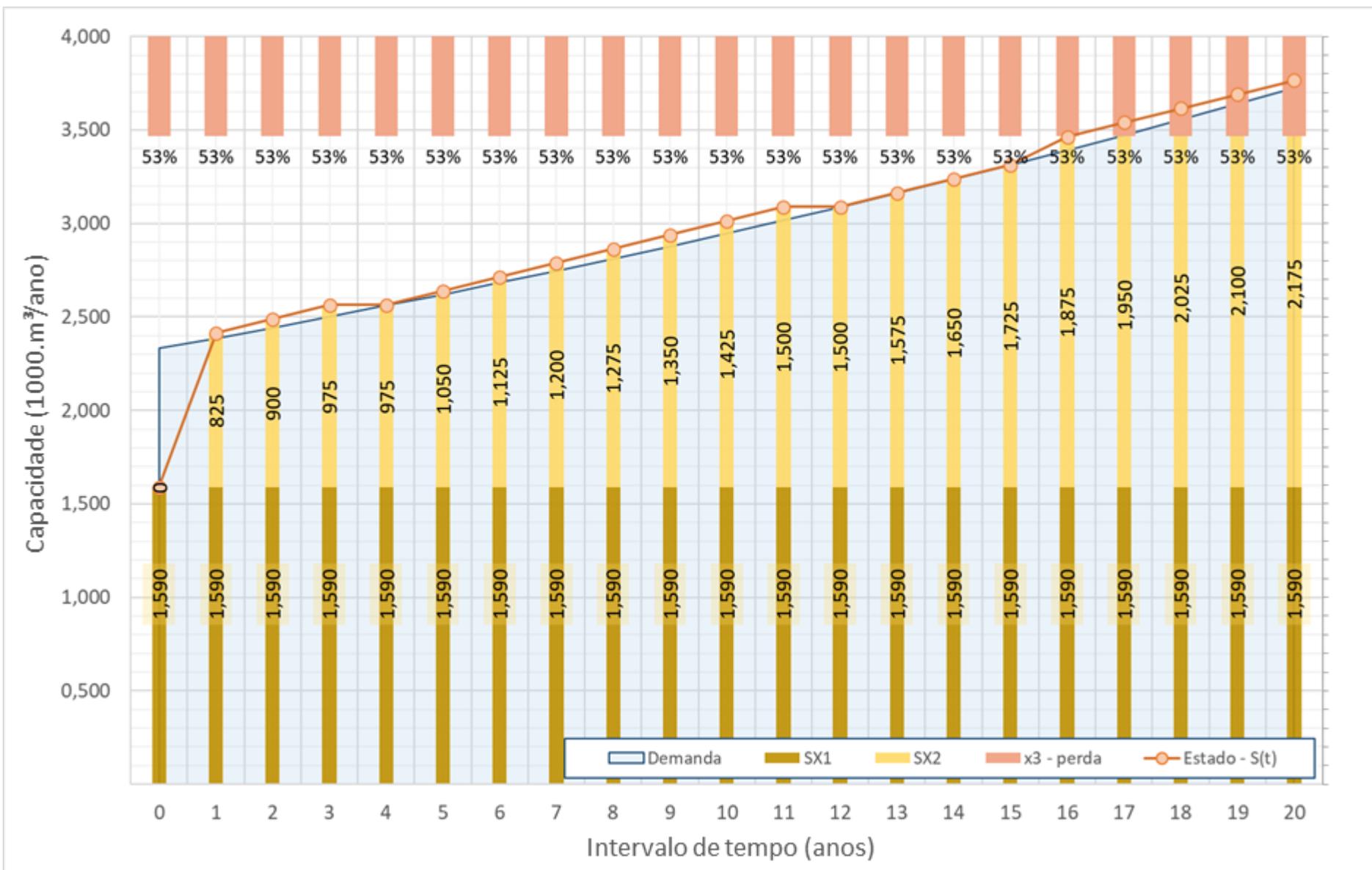


Figura 7.10. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3c.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável, sob a condição de mudança climática, em que os índices pluviométricos diminuíram cerca de 7%: 1.590.000 m³/ano, conferindo segurança ao sistema subterrâneo de produção de água ao não retirar toda a disponibilidade aferida ao aquífero, deixando o sistema com uma leve ociosidade. A mesma também se apresenta como uma limitação do programa, em que quanto maior a discretização utilizada, menor será o refinamento dos dados.

Vale ressaltar que a disponibilidade da fonte SX2 foi reduzida em 8%. A trajetória, exibida pela Figura 7.10, ilustra o desenvolvimento de exploração da fonte SX1, sistema de poços, assim como a trajetória de expansão da fonte SX2 e custos associados, sob a luz das variações climáticas.

A partir dos resultados gerados, pode-se concluir algumas previsões:

- Não faltará água, uma vez que para a fonte SX2 está se considerando uma quantidade grande de disponibilidade de água, de modo a suprir a demandada.
- A quantidade acumulada de água utilizada pela fonte SX1 ao longo dos 20 anos é de 32.525.280,00 m³, cerca de 2.691.480,00 m³ produzidos a menos quando comparada a produção da fonte SX1 no cenário S3a. Essa variação na produção de água equivale a diminuição do custo operacional variável da fonte SX1 em R\$ 2.385.941,90 ao final dos 20 anos.
- Em compensação, a produção de água da fonte SX2 é maior que a produção da mesma fonte para o cenário S3a, uma vez que a produção da fonte SX1 diminuiu e a demanda por água da população necessita ser atendida. A quantidade acumulada de água utilizada pela fonte SX2 ao longo dos 20 anos é de 29.175.000,00 m³, cerca de 2.574.960,00 m³ produzidos a mais quando comparado a mesma fonte do cenário S3a. O custo acumulado dessa maior produção, referente aos 20 anos, é de R\$ 1.683.280,80, cerca de R\$ 148.567,20 a mais investido.
- A porcentagem de segurança refere-se a quantidade de água não produzida em virtude de se manter certa folga de água em relação a vazão sustentável do aquífero, passível de ser explorada.

- Vale ressaltar que a capacidade máxima atual do sistema de abastecimento de água é de 2.890.800 m³/ano (ano de 2020). Para esse cenário, a capacidade do sistema foi considerada como sendo 1.590.000 m³/ano, ou seja, a ociosidade do sistema caminha em torno de 45%. A mesma também se apresenta como uma limitação do programa, em que quanto maior a discretização utilizada, menor será o refinamento dos dados.

7.6.5. S3d – S3b + variações climáticas

O objetivo deste cenário é inserir o cenário S3b em uma condição de mudança climática, ou seja, em que a disponibilidade dos mananciais que abastecem as fontes SX1 e SX2 é diminuída. Esta análise contempla a possibilidade da situação em que o aquífero de Ivoti passe a fornecer menos água, assim como o rio dos Sinos, em cerca de 7% e 8% respectivamente.

As condições que caracterizam esse sistema estão expostas na Tabela 7.24.

Tabela 7.24. Informações inseridas no programa para a simulação do cenário S3d.

Características do sistema	Qualitativo	Quantitativo
Demanda per capita (m ³ /ano.hab)	Referente ao ano de 2020	50,8
Taxa de crescimento populacional (%)	Desenvolvimento populacional urbano	2,37
Índice de perdas (%)	Condição estabelecida	35
População (hab.)	Referente ao ano de 2020	21.491
Capacidade do sistema SX1 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	2.890
Capacidade do sistema SX2 (10 ³ .m ³ /ano)	Referente ao ano de 2020	3.000
Custo operacional variável SX1	Equação 6.2	a = 0,2099 b = 209,69
Custo operacional variável SX2	Equação 7.4	a = 0 b = 57,696
Custo fixo	Equação 6.4	k = 266,05 alfa = 0,00000001
Custo de expansão	Equação 6.6	a = 0 b = 3.762,1 c = 0
Custo de redução de perdas	Equação 6.8	a = 0 b = 0 c = 46.871,00 d = -5.000.000,00 e = 10.000.000,00
	Equação 6.9	a = 0 b = 0 c = 218.379,00

		d = -10.000.000,00 e = 300.000.000,00
Retirada de água (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	Com restrição
Disponibilidade SX1 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	0,051
Disponibilidade SX2 (m ³ /s)	Referente ao ano de 2020	11,89

7.6.5.1. Resultados

Os resultados do cenário S3d estão dispostos na Tabela 7.25. A Figura 7.11 ilustra a trajetória simplificada do presente cenário, de maneira a facilitar a visualização das tomadas de decisão.

Tabela 7.25. Resultados referentes ao cenário de simulação S3d.

Ano	Demanda (1000.m ³ /ano)	Perda (%)	Demanda bruta (1000.m ³ /ano)	Produção de água SX1 (1000.m ³ /ano)	Custo operaciona l SX1 (R\$/ano)	Ociosidad e SX1 (%)	Folga de água (%)	Produção de água SX2 (1000.m ³ /ano)	Custo operaciona l SX2 (R\$/ano)	Ociosida de SX2 (%)	OPEX (R\$/ano)
2020	1.092	30	1.560	1.559,64	837.611,4	42,74	1,91	0	--	100,00	--
2021	1.118	30	1.597	1.561,56	839.309,3	42,62	1,79	35,04	2019,36	98,83	258.627,41
2022	1.144	30	1.634	1.564,44	841.767,7	42,44	1,61	69,96	4038,72	97,67	251.411,89
2023	1.171	30	1.673	1.568,16	845.007,8	42,2	1,37	105,00	6058,08	96,50	244.397,68
2024	1.199	30	1.713	1.572,84	849.052,2	41,91	1,08	140,04	8077,44	95,33	237.579,16
2025	1.227	30	1.753	1.578,36	853.925,3	41,56	0,73	174,96	10096,8	94,17	230.950,87
2026	1.256	30	1.795	1.584,96	859.653,2	41,15	0,32	210,00	12116,16	93,00	224.507,50
2027	1.286	30	1.838	1.557,48	835.783,1	42,87	2,04	279,96	16154,88	90,67	218.243,90
2028	1.317	30	1.881	1.566,12	843.180,8	42,34	1,51	315,00	18174,24	89,50	212.155,05
2029	1.348	30	1.926	1.575,60	851.508,2	41,73	0,90	350,04	20193,6	88,33	206.236,08
2030	1.380	30	1.971	1.586,28	860.799,1	41,06	0,23	384,96	22212,96	87,17	200.482,24
2031	1.413	30	2.018	1.563,00	840.528,1	42,53	1,70	455,04	26251,68	84,83	194.888,92
2032	1.446	30	2.066	1.575,84	851.668,6	41,72	0,89	489,96	28271,04	83,67	189.451,66
2033	1.480	30	2.115	1.589,76	863.872,0	40,84	0,01	525,00	30290,40	82,50	184.166,09
2034	1.515	30	2.165	1.569,96	846.518,9	42,09	1,26	594,96	34329,12	80,17	179.027,99
2035	1.551	30	2.216	1.586,16	860.742,5	41,07	0,24	630,00	36348,48	79,00	174.033,24
2036	1.588	30	2.269	1.568,76	845.505,2	42,17	1,34	699,96	40387,20	76,67	169.177,83
2037	1.626	30	2.323	1.587,48	861.875,5	40,99	0,16	735,00	42406,56	75,50	164.457,89
2038	1.664	30	2.378	1.572,60	848.818,7	41,93	1,10	804,96	46445,28	73,17	159.869,63
2039	1.704	30	2.434	1.558,92	836.982,7	42,79	1,96	875,04	50484,00	70,83	155.409,38
2040	1.744	30	2.492	1.581,60	856.692,0	41,36	0,53	909,96	52503,36	69,67	151.073,57

*OPEX: custo operacional fixo variável

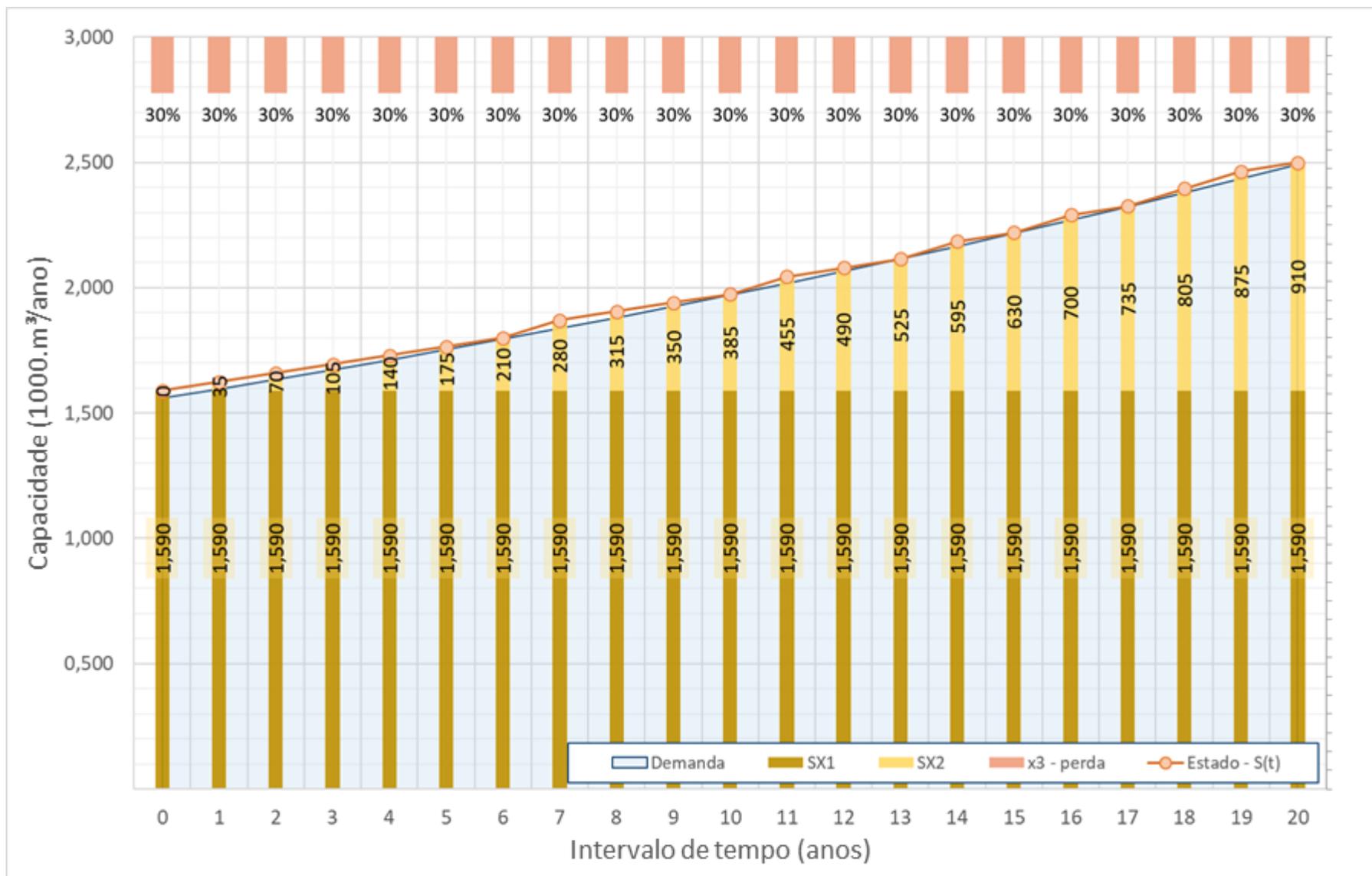


Figura 7.11. Ilustração da trajetória de expansão do cenário S3d.

A capacidade da fonte SX1 limitou-se a capacidade do aquífero em conceder água de modo sustentável, sob a condição de mudança climática, em que os índices pluviométricos diminuíram cerca de 7%: 1.590.000 m³/ano. Também foi conferida ao sistema subterrâneo de produção de água uma segurança ao não retirar toda a disponibilidade aferida ao aquífero. Vale ressaltar que a disponibilidade da fonte SX2 foi reduzida em 8%. A trajetória, exibida pela Figura 7.11, ilustra o desenvolvimento da fonte SX1, sistema de poços, a trajetória de expansão da fonte SX2, assim como os custos associados. Além de todos os fatores estarem sob a ótica de índices mais baixos de perdas de água da fonte SX1, 35%.

A partir dos resultados gerados, pode-se concluir algumas previsões:

- Adotar para o sistema de abastecimento de água de Ivoti, SX1, um índice de perdas de água de 30%, quer dizer que o investimento realizado em algum ano é de aproximadamente R\$ 24.970.576,00, conforme funções de custo de índices de perdas, Equação 6.8 e Equação 6.9.
- A quantidade acumulada de água utilizada pela fonte SX1 ao longo dos 20 anos é de 32.613.000,00 m³, cerca de 868.680,00 m³ produzidos a menos quando comparada a produção da fonte SX1 no cenário S3b. Essa variação na produção de água equivale a diminuição do custo operacional variável da fonte SX1 em R\$ 2.260.016,30 ao final dos 20 anos.
- Em compensação, a produção de água da fonte SX2 é maior que a produção da mesma fonte para o cenário S3b, uma vez que a produção da fonte SX1 diminuiu e a demanda por água da população necessita ser atendida. A quantidade acumulada de água utilizada pela fonte SX2 ao longo dos 20 anos é de 12.249.960,00 m³, cerca de 2.379.960,00 m³ produzidos a mais quando comparado a mesma fonte do cenário S3b. O custo acumulado dessa maior produção, referente aos 20 anos, é de R\$ 706.776,00 cerca de R\$ 137.316,48 a mais investido.
- A porcentagem de segurança refere-se a quantidade de água não produzida em virtude de se manter certa folga de água em relação a vazão sustentável do aquífero, passível de ser explorada.

- Vale ressaltar que a capacidade máxima atual do sistema de abastecimento de água é de 2.890.800 m³/ano (ano de 2020). Para esse cenário, a capacidade do sistema foi considerada como sendo 1.590.000 m³/ano, ou seja, a ociosidade do sistema caminha em torno de 45%. A mesma também se apresenta como uma limitação do programa, em que quanto maior a discretização utilizada, menor será o refinamento dos dados.

8. DISCUSSÕES

Diante da principal dificuldade encontrada pelos gestores do sistema público de abastecimento de água do município de Ivoti, que é a prática da superexploração do manancial produtor de água, reconhecida pelo Plano Municipal de Saneamento Básico do município, tomou-se motivação para estudar as condições sócio-ambientais em que se encontra o sistema, a fim de oferecer subsídios que forneçam robustez e segurança hídrica.

O método utilizado é um programa que combina programação dinâmica que avalia alternativas de expansão da capacidade das fontes produtoras de água, assim como a distribuição do investimento em expansão ao longo do tempo para atendimento da demanda por água.

A partir da estruturação de diversos cenários em que o sistema de abastecimento de água do município de Ivoti foi submetido, através de simulações computacionais, a fim de se avaliar e analisar sua resposta frente a diferentes condições impostas, tornou-se possível elucidar questões do tipo:

Mantendo o sistema de abastecimento de água tal como se apresenta no ano de 2020 para os futuros 20 anos, será necessário implementar ao sistema cerca de 5 poços de modo a produzir água para suprir a demanda populacional do município.

O valor acumulado dos custos de expansão do sistema de poços somados aos custos operacionais do sistema resulta no montante de R\$ 54.886.631,60. Frente a isso, entende-se que não é sustentável manter o sistema de abastecimento de água do município de Ivoti, tal como se encontra nos tempos atuais, uma vez que a quantidade de água demandada aumentará e a superexploração, já ocorrente, se intensificará, sob riscos danosos ao aquífero presente na região.

Em contrapartida, pode-se concluir que somente limitar a exploração ao uso sustentável da fonte subterrânea de produção de água é uma ação que surtirá um efeito de falta de água na cidade, uma vez que, bombeando a vazão sustentável, cerca de 26,67% da população do ano de 2020 teria sido desabastecida, 41,98% da população de 2030 estará sob a mesma condição e, por fim, cerca de 54,10% da população de 2040 não teria acesso a água. Isto é, para o período dos 20 anos considerados faltariam cerca de 26.606.540,23 m³

de água. Diante da proporção de agravamento que a situação tomaria, entende-se que somente limitar a exploração do aquífero resolveria a problemática de superexploração da fonte hídrica, contudo, geraria outro sério problema, o desabastecimento da cidade de Ivoti.

Para isso, com intuito de conciliar as problemáticas detectadas, com o propósito de atender ambas as necessidades: o uso correto do sistema natural de produção de água e o abastecimento de água populacional do município, analisou-se a diminuição dos índices do sistema, os quais apresentam-se muito elevados, cerca de 50%, ao longo da trajetória simulada de 20 anos.

Admitindo um declínio dos índices de perda obedientes do curso: 53, 33, 28, 23, 18, 13, 8, 3 e 0% de redução – ainda que é sabido da inexistência de um sistema de abastecimento de água dotado de índices nulos de perda – constatou-se que ao final dos 20 anos terá faltado cerca de 160.660,41 m³ de água.

Seguindo no sentido do que fora mencionado, o índice nulo de perda de água é considerado como uma abstração do problema, de maneira a caracterizá-lo teoricamente, as condições são exploradas em suas máximas possibilidades, desconsiderando a factibilidade. Isso fornece uma interpretação literal sobre a questão estudada o que, por sua vez, viabiliza ponderações nas tomadas de decisão: ainda que se diminuísse as perdas a índice zero, faltaria água. Contudo, não seria uma grande falta de água.

Portanto, entende-se que diminuindo-se as perdas a índices padrões teria-se falta de água, todavia a quantidade faltante pode ser adquirida com a implementação de uma nova fonte, e, devido a não ser uma grande quantidade de água se torna mais fácil a obtenção da nova fonte se comparado com uma expressiva falta de água. O custo para diminuir os índices a 30%, por exemplo, é de R\$ 24.970.576,00.

Para tanto, o estudo propôs a trazida de água do rio dos Sinos, o qual dispõe de uma disponibilidade de água de 12,93 m³/s, quantidade essa extremamente superior a demandada pelo município de Ivoti ao final dos anos simulados, 0,064 m³/s. O aproveitamento de água se daria a partir da Estação de Tratamento de Água, instalada em Campo Bom. O custo de implementação da adutora com reservatório é de R\$ 3.986.488,07 e o custo operacional variável acumulado para manter o sistema levando a água tratada do rio dos Sinos ao sistema de abastecimento de Ivoti nos 20 anos considerados seria de R\$ 1.534.713,60.

O valor economizado em investimento operacional acumulado, para os 20 anos, de

um sistema em que somente a fonte SX1 bombeia a quantidade de água demandada e um sistema compartilhado entre as fontes SX1 e SX2 é de R\$ 52.820.631,60 – R\$ 21.317.885,40 – R\$ 2.066.000,00 = R\$ 33.568.746,2. Diminuindo-se desse valor os custos iniciais, de implementação da adutora e do reservatório, de R\$ 3.986.488,07, tem-se ainda uma economia de R\$ 29.582.258,13.

Associando-se a diminuição do índice de perda, considerando-o como de 30%, a implementação de uma nova fonte teria-se uma vazão bombeada, da ETA para Ivoti, de 0,026 m³/s ao final dos 20 anos.

O custo total dessa tomada de decisão compreende os custos de construção da adutora e o custo da realização de obras no sistema de abastecimento de Ivoti para diminuir o índice de perda: R\$ 3.986.488,07 + R\$ 24.970.576,00 = R\$ 28.957.064,07. De modo que a produção de água diminui, em virtude da diminuição do índice de perda, tem-se um custo operacional menor, com economia de R\$ 1.155.650,88 (comparando-se ao cenário S3A). Ainda, tem-se a economia em custo operacional da implementação da nova fonte (comparação feita entre cenário S3A e S1), de R\$ 33.568.746,2. Portanto, a implementação de uma nova fonte ao sistema associada a diminuição do índice de perda é mais barato ao longo prazo do que permanecer operando o sistema tal como ele se encontra em 2020. Seriam necessários 19 anos para reverter o investimento em infraestrutura e diminuição das perdas e ao final do período simulado de 20 anos, teria-se uma economia de R\$ 5.582.317,75.

Portanto, percebe-se, a partir dos resultados gerados pelo trabalho, que o maior custo total acumulado ao final dos 20 anos de considerações é o custo de continuar operando o sistema de abastecimento do município tal como ele se encontra. Isto é, não optando por realizar alguma das intervenções propostas. A maior desvantagem de investir na construção de um segundo sistema e na diminuição de perdas de água do sistema de poços é o alto investimento que deve ser dispendido a curto prazo. Contudo, os resultados do trabalho mostram que os mesmos investimentos são retornáveis ainda dentro do período dos 20 anos simulados.

Adiante, incorporou-se à análise a consideração da variação da disponibilidade hídrica das fontes produtoras de água: -7% para a disponibilidade de água ofertada pelo aquífero e -8% para a disponibilidade de água ofertada pelo recurso hídrico superficial. Essa variação associada ao cenário em que não se diminuem perdas, tem-se novas quantidades

de água produzidas pelas fontes, assim como diferentes custos operacionais.

Comparando com os resultados do cenário S31, a produção de água acumulada da fonte SX1 diminuiu cerca de 2.691.480 m³ (35.216.760 m³ - 32.525.280 m³) em função da disponibilidade de água do aquífero ter se tornado ainda menor, e a produção de água acumulada da fonte SX2 aumentou para compensar, cerca de 2.574.960 m³ (26.600.040 m³ - 29.175.000 m³), uma vez que a diminuição da disponibilidade de água do rio dos Sinos não chegou a ser suficiente para impedir o aumento de sua exploração. Os valores incorrem em uma economia de R\$ 2.237.374,7 em relação aos custos operacionais acumulados.

Para a situação em que se considerou a variação na disponibilidade de água das fontes de produção associada a diminuição do índice de perda para 30%, tem-se: produção de água acumulada da fonte SX1, dos 20 anos considerados, como 33.029.520,0 m³.

Observa-se uma diminuição de 655.440 m³ em função da menor disponibilidade de água do aquífero, o que se associa a diminuição do custo operacional variável acumulado dos 20 anos em R\$ 1.078.811,45. Já a fonte SX2 aumenta sua produção, como explicado anteriormente, em 2.214.840 m³ atingindo a produção acumulada dos 20 anos de 8.784.840 m³ e um custo aumentado, quanto a sua operação ao longo dos 20 anos de simulado, de R\$ 127.796,64, incorrendo em uma economia de R\$ 951.014,81.

A partir disso, percebe-se que quanto mais água o sistema de bombeamento de água do rio dos Sinos produzir de modo a diminuir a operação do sistema de poços, maiores investimentos serão retornados, uma vez que o custo operacional do sistema do rio dos Sinos se apresenta menor que o custo operacional do sistema de poços. Ainda, a menor disponibilidade hídrica analisada não afeta o sistema de Ivoti se o mesmo estiver operando em concomitância a nova fonte, porque ela dispõe de grande oferta de água.

Os valores quanto a produção de água acumulada ao longo dos 20 anos simulados e os custos associados a essa produção, bem como a cada decisão realizada, caracterizada por cada cenário, estão compilados na Tabela 8.1. A partir da apresentação desses valores resumidos, pode-se tirar conclusões sobre as decisões que demandam maior investimento e, em contrapartida, analisar a economia de água que possibilitam. Da mesma maneira, pode-se calcular a quantidade de anos necessários para que o valor investido seja retornado, como, por exemplo, para o cenário S3A seriam precisos 6 anos de economias e para o cenário S3B, 19 anos.

PLANEJAMENTO PARA FONTES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA COM VISTAS A FORNECER ROBUSTEZ E SEGURANÇA HÍDRICA AO MUNICÍPIO DE IVOTI

Tabela 8.1. Valores acumulados, respectivos aos 20 anos simulados, de produção de água e custos associados de cada cenário.

Cenários	S1	S3A	S3B	S3C	S3D
Produção de água SX1 acumulada ao final dos 20 anos (m ³)	62.518.000	35.216.760	33.684.960	32.525.280	32.613.000
Produção de água SX2 acumulada ao final dos 20 anos (m ³ /ano)	--	26.600.040	6.570.000	29.175.000	12.249.960
Custo operacional SX1 acumulado ao final dos 20 anos (R\$/ano)	52.820.631,60	19.783.171,80	18.909.613,75	17.397.229,90	17.471.934,70
Custo operacional SX2 acumulado ao final dos 20 anos (R\$/ano)	--	1.534.713,60	379.062,72	1.683.280,80	706.776,00
Custo em expansão SX1 acumulado ao final dos 20 anos (R\$/ano)	2.066.000,00	--	--	--	--
Custo em expansão SX2 acumulado ao final dos 20 anos (R\$/ano)	--	--	--	--	--
Custo construção adutora (R\$)	--	3.986.488,07	3.986.488,07	3.986.488,07	3.986.488,07
Custo diminuição de perdas para 30% (R\$)	--	--	24.970.576	--	24.970.576
Produção de água total (m³)	62.518.000	61.816.800	40.254.960	61.700.280	44.862.960
Custo total (R\$)	54.886.631,60	25.304.373,47	48.245.740,54	23.066.998,77	47.135.774,77

9. CONCLUSÃO

Conclui-se fundamentalmente, a partir da discussão deste estudo, que ações devem ser realizadas com a finalidade de modificar as características atuais do sistema público de abastecimento de Ivoti, de modo a continuar atendendo a demanda da população, sem que para isso seja praticada a superexploração do manancial subterrâneo.

Para tal, diante do expressivo índice de perdas do sistema ao realizar a sua distribuição de água, entende-se que devam ser mobilizados esforços que venham a diminuir a quantidade de água que é produzida e não efetivamente consumida. Ainda que essa redução não ocorra de forma expressiva em um curto prazo, tão pouco seja possível abandonar o regime de superexploração como condição de abastecimento, as ações devem ser implementadas continuamente, resultando na diminuição da produção de água, contudo, sem deixar de atender a demanda.

Conjuntamente, devem ser aprofundados estudos acerca da introdução de uma segunda fonte de produção de água a atuar concomitantemente ao sistema de poços, com o intento de ser realizada uma previsão dos acontecimentos futuros, atuando da forma mais acertiva quanto a investimentos, preservação do manancial subterrâneo e atendimento da demanda por água da população. Essa determinação tem como principal objetivo estipular uma ação que efetivamente solucionará a problemática da superexploração do aquífero, de modo a fornecer não somente uma conduta responsável perante as futuras gerações em termos de preservação do manancial, como conferir segurança hídrica para o município de Ivoti.

Consideradas as intervenções supracitadas, as quais atuam em diferentes frentes, pode-se concluir que o ideal a ser realizado no sistema de abastecimento de Ivoti, a respeito do cumprimento da exploração sustentável do aquífero e atendimento da demanda com a finalidade de fornecer robustez e segurança hídrica ao município, é a congregação de ambas as soluções apresentadas. Uma vez que, a partir delas, se garante o atendimento da demanda para um horizonte de mais de 20 anos, respeita-se a condição natural do aquífero, de forma a preservá-lo, e otimiza-se o desperdício de recursos hídricos e financeiros, a partir da diminuição do índice de perda..

As ações desenvolvidas a fim de cumprir tais propósitos devem ser estruturadas em um

planejamento de longo prazo, sendo esse caracterizado como um planejamento inicial, no qual, além das ações, devem ser estipulados os momentos de implementação das intervenções, bem como os investimentos associados a elas e os resultados pretendidos. Esse mesmo planejamento deve ser revisitado a cada atuação, a fim de se verificar o cumprimento do objetivo.

10. RECOMENDAÇÕES

Em teoria, se nenhuma decisão for tomada no âmbito de modificar o sistema de abastecimento público do município de Ivoti para um estado diferente do qual se encontra hoje serão investidos, ao longo dos próximos 20 anos, um valor mais expressivo do que realizando qualquer tipo de intervenção no sistema, tal como diminuição dos índices de perda do sistema para 30% e/ou implementar uma nova fonte de produção de água.

Para tanto, recomenda-se fortemente que estudos sejam aprofundados quanto a identificação de uma nova fonte produtora de água. Conforme o estudo, o custo operacional desse alternativo sistema é menor do que o custo operacional do sistema já estruturado no município de Ivoti, fato esse que torna ainda mais interessante a implementação de uma nova fonte, uma vez que o aquífero pode deixar de ser superexplorado.

Também foi observado que investir em redução de perdas de um sistema em que a nova fonte de produção de água fora implementada soma ao final dos 20 anos simulados uma economia de mais de 6 milhões de reais, o que torna alternativa interessante também do ponto de vista econômico.

O ponto negativo é o fato de que os investimentos a serem realizados concentram-se em um curto prazo de operação, o que pode ser bastante oneroso. Contudo, os investimentos podem ser revertidos a medida do passar dos anos a partir da economia em custo operacional gerada da diminuição da produção de água (em virtude da diminuição do índice de perda do sistema) e da fonte alternativa de produção de água ter menores custos. Ainda, os custos podem ser adequando ao longo do tempo conforme a capacidade financeira do órgão gestor, de forma a espacializá-los no tempo, conciliando custos e a diminuição da produção de água sem deixar de atender a demanda.

Inúmeras outras possibilidades podem ser analisadas a partir das considerações do presente estudo. O que não se altera é a premente necessidade de ser efetuada alguma modificação e/ou implementação no sistema de abastecimento de água de Ivoti, de maneira a frear o regime de superexploração do aquífero, sem deixar de continuar atendendo a demanda por água da população.

11. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS - ADASA. Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal. Relatório de consulta técnica. 2015.

ÁGUA DE IVOTI – Prestação de contas. Site. Disponibilizado em: <https://www.aguadeivoti.com.br/informacoes/prestacao-de-contas>. Acessado em 22/08/2021.

AFONSO, P., HESPANHOL, I. e MACHADO, M. Reúso Potável de Água na Região Metropolitana de São Paulo e em outros Países. Revista Eletrônica EcoDebate, Edição 3.105, 2018.

ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J.M. e PARENA, R. (2000). Performance Indicators for Water Supply Services. International Water Association - IWA, Londres, Inglaterra, 162p.

ALVES, L., CUARTAS, A., MARENGO, J., MEDIONDO, E., NOBRE, C., OBREGÓN, G., SAMPAIO, G., SELUCHI, M. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. Revista USP, São Paulo, n. 106, p. 31-44, julho/agosto/setembro 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em 25 de Setembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil) & CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Mudanças climáticas e recursos hídricos. Avaliação e diretrizes para adaptação. Brasília. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Hidrogeologia, conceitos básicos. Oficina de Capacitação do Progestão. Brasília. 2016.

AZEVEDO, N. Manual de Hidráulica. 8ª edição. 1998.

BARBOSA, C.; MATTOS, A. (2008). CONCEITOS E DIRETRIZES PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

BESSEY, S.G.; GARRETT, A. (1994). Managing Leakage - Report A - Summary Report. Water Research Centre, Water Services Association, Water Companies Association, Londres, Inglaterra, 67p.

BONETTI, Paolo (1994). Il pensiero politico di Pareto. Roma: Laterza ONETTI, Paolo (1994). Il pensiero politico di Pareto. Roma: Laterza.

BORANGA, J., PHILIPP JR., A. Reúso da Água. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Prefácio, p. 9-13, 2002.

BOSCARDIN BORGETTI, N.R., BORGETTI, J.R., ROSA FILHO, E.F. 2004. Aquífero Guarani: a verdadeira integração do Mercosul.-Curitiba. 214p.:il.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF, disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>>. Acessado em 09 jun. 2019.

BREGA FILHO, D., MANCUSO, P. Reúso da Água. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Conceito de reúso de água, p. 21-37, 2002.

CAMADURO, A.; CAMPOS, J. Recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: Uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. Revista Brasileira de Geociências. 35(1):89-98. Março, 2005.

CARDOSO, A. D. C., & MARTINS, L. A. – 2012. Aquífero de alta potencialidade no estado do Espírito Santo. CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência Regional de Salvador. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/27580/17839>>. Acessado em 17 ago. 2016.

CARDOSO, F.B.F.; ALMEIDA, L.; GONÇALVES, M.V.C.; OLIVEIRA, F.R.; NASCIMENTO, F.S.N.; FERREIRA, A.N.P.; GASPAR, M.T.P. Mapa das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil. ANA – Agência Nacional de Águas. 2012.

CERQUEIRA, W. Aquífero Guarani. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/aquifero->

CUELLAR, M. & PEREIRA, G. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. 2015.

CUNHA, D.; BORGES, E. Urbanização acelerada: Risco para o abastecimento de água na região metropolitana de Goiânia. 2015.

DÖLL, P; MENDIONDO, M.; FUHR, D. Desenvolvimento de Cenários como uma Ferramenta para o Planejamento Regional. 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. Os Solos do Brasil. Temas, solos brasileiros, solos do Brasil. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>. Acessado em 16/12/2020.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAO's Aquastat Programme. FAO's Land and Water Development Division, 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCRP/005/Y4473e01.htm>. Acessado em 24.05.2004.

FOSTER, S., ADAMS, B., MORALES, M. 1991. Estratégias para la Protección de Águas Subterráneas. (Versão Preliminar).UK Overseas Development Administration, Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. Organizações Panamericana de la Salud – Organización Mundial de la Salud. 85 p. figuras e tabelas.

FREDERICK, K. "Balancing Water Demands with Supplies: the Role of Management in a World of Increasing Scarcity", in The World Bank, 1993 (paper n. 189).

GIATTI, L. Reflexões sobre água de abastecimento e saúde pública: um estudo de caso na Amazônia brasileira.

GLEICK, P. H. The world's water. 2000-2001. Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p.

GOMES, U.; DOMÈNECH, L.; PENA, J.; HELLER, L.; PALMIER, L.

HIRATA, R., VILLAR, P. A interpretação dos tribunais frente ao artigo 45 da lei 11.445/2007 e a perfuração de poços como fontes alternativas de abastecimento de água. UNIFEST, CEPAS/USP, 2017. XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, v.4, p.1-23, 1973.

IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.

IGNÍZIO, J. (1976). Goal programming and extentions health (Lexington Books), Lexington Massachusetts.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. Brasil / Rio Grande do Sul / Ivoti. Panorama. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/ivoti/panorama> >. Acessado em 02 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. O que é um aquífero?. Disponível em: < <http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-63.html> >. Acessado em 10 de agosto de 2020.

IJIRI, Y. (1965). Management goals and accounting for control. Rand McNally, Chicago Illinois.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON, CLIMATE CHANGE - IPCC WGII AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers, 2014.

JOHNSON, A.T. 1967. Specific yield: Compilation of specific yield for various materials. U.S. Geological Survey Water Supply Paper.1662-D.Washington, 74 pag. In CUSTÓDIO & LLAMAS Hidrologia Subterrânea Ediciones Omega S.A.. Barcelona.

JOHNSON, R.; MELO, M. O Conceito Emergente de Segurança Hídrica. Sustentare, Três Corações, v. 1, n. 1, p.72-92, ago./dez. 2017.

KALF, F.R.P., WOOLLEY, D.R. 2005. Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. Hydrogeology Journal, 13. (1): 295-312.

KOOPMANS, T. C. (1951). Activity analysis of production and allocation, Cowles commission for research in economics, Monograph n°13, Wiley, New York.

LEAL, A.S. 1999. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidade e usos. In BOSCARDIN BORGHETTI, N.R. BORGHETTI Jr., ROSA FILHO, E.F. 2004. Aquífero Guarani: a verdadeira integração do Mercosul.-Curitiba. 214p.:il.

LEE, S. M. (1972). Goal programming for decision analysis, Auerbach Publishers, Philadelphia.

MAIA, R.; VIVAS, E. A Gestão da Escassez e Secas Enquadrando as Alterações Climáticas. Revista Recursos Hídricos, Vol. 31, Nº 1, 25-37, Março de 2010.

MANOEL FILHO, J. Exploração de água subterrânea em zona urbana: o caso da Grande Recife. Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências. 2004.

Manual de Saneamento. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Ministério da Saúde. Departamento de Saneamento.

MARENGO, J. A. 2008. Água e mudanças climáticas. Estudos avançados 22 (63). Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnztt6Khr8zYx3L/?lang=pt&format=pdf>> Acessado em 16/10/2021.

MARIANO, I. Testes de vazão. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. II Simpósio de Hidrogeologia Sudeste. 2005.

MILANI.E.J., FACCINI. U.F., SCHERER. C.M.S., ARAÚJO. L.M., CUPERTINO, J.A.1998. Sequences and stratigraphic hierachy of Paraná Basin. (Ordovincian to Cretaceous), Souhtern Brazil. Bo. IG/USP, Série científica, 29:125-173.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Águas subterrâneas, um recurso a ser conhecido e protegido. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 2007.

MIRANDA, E. Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade. Brasília/DF, Agosto de 2002.

MMA/IBAMA. Plano de Manejo. Parque Nacional de Aparatos da Serra e da Serra Geral. Encarte 4 – Anexos. 2003.

MORAES, A.C. R., 1994. Meio Ambiente e Ciências Humanas. São Paulo: Hucitec.

MORRIS, B.L., LAWRENCE, A.R.L, CHINTON, P.J.C., ADAMS, B., CALOW, R.C., KLINCK, B. A. 2003. Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management and Assessment Report Series, RS.03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

MUÑOZ, J.F., FERNANDEZ, B., ESCAURIAZA, C. 2003. Evaluation of groundwater availability and sustainability extraction rate for Upper Santiago Valley Aquifer, Chile. Hydrogeology Journal 11 (6): 688 - 700.

NAKAMURA, M. & NAKAJIMA, T. (eds.) Lake Biwa and its Watersheds: a Review of Lake Biwa Research. Institute, 2002. (LBRI research notes).

OLIVEIRA FILHO, G. A crise de água na região metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. CES REVISTA, Juiz de Fora, v. 29, n. 1. p. 5 -20, jan./jul. 2015 – ISSN 1983-1625.

PARETO, V. (1896). Course d'economy politique. Lausanne, Rouge.

PENA, R.F.A. Aquífero Alto do Chão. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/aquifero-alter-chao.htm>>. Acessado em 15 ago. 2020.

PERRONI, J.C.; BRAGA, L.; PERRONI, H. Critérios para gerenciamento da exploração do aquífero Guarani em Ribeirão Preto – SP (2019). Geowater Assessoria Projetos e Comércio LTDA, Araraquara.

PIMM, S. L. The complexity and stability of ecosystems. Nature, v.307, pp.321-326, 1984.

Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Plano PCJ. Setembro, 2020.

REBOUÇAS, A.C., BRAGA.B., TUNDISI., G. 2002. Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação –2. ed. – São Paulo: Escrituras Editora-p.39-63.

ROGERS, P. P. et al. (Ed.) Water crisis: myth or reality? London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006. 331p.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo,SP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=132>>. Acessado em 19 mar. 2020.

SANTOS, M. A; SANTOS, V.; FRANCA, R.; CHAVES, M. Águas subterrâneas: um estudo acerca da superexploração sobre a microbacia III do Rio Salgado. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. 2015.

SCHIRMER, G., ROBAINA, L.; TRENTI, R. Unidades geomorfológicas em municípios da Quarta Colônia do Rio Grande do Sul. Geografia Ensino & Pesquisa, vol. 17, n. 2, maio/ago. 2013. ISSN 22364994.

SCHUSTER, R. ANÁLISE DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGUNA DOS PATOS. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre. 2019.

SILVA, E. R; O Curso da Água na História: Simbologia, Moralidade e a Gestão de Recursos Hídricos. Setembro, 1998.

SILVA, E. R.; SCHRAMM, F. R., 1997. A questão ecológica; entre a ciência e a ideologia/utopia de uma época. Cadernos de Saúde Pública: Debate. 13(3):355-382.

SILVA, R; PORTO, M. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. São Paulo. 2003.

SILVA, R. T; CONEJO, J.G.L.; MIRANDA, E.C.; ALVES, R.F.F. (1998). Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água – DTA A2. Programa de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana, Brasília, DF, 70p.

SILVA, S. A distribuição espacial das reservas hídricas subterrâneas do nordeste e a transposição do Rio São Francisco. 2000.

SOMLYODY, L; VARIS, O. Freshwater under pressure. International Review for Environmental Strategies, v.6, n.2, p.181-204, 2006.

SOPHOCLEOUS, M.A. 2000. From safe yield to sustainable development of water resources – the Kansas experience. *Hydrogeologic Journal*. 235: (27-43).

SOUZA, M. P., 1993. Metodologia de cobrança sobre os usos da água e sua aplicação como instrumento de gestão. Tese de Doutorado - Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo.

TOLBA, M. K., 1982. Development without destruction: evolving environmental perceptions. Dublin, Ireland: Tycooly International Publishing, LTD.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. *REVISTA USP*, São Paulo, n.70, p. 24-35, junho/agosto. 2006.

TUNDISI, J. Recursos hídricos no futuro: Problemas e soluções. 2008.

UNFCCC. Climate Change Newsroom from the United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://newsroom.unfccc.int>

UN WATER. Water Security & the Global Water Agenda A UN-Water Analytical Brief., 2013, Disponível em: <http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf>. Acessado em: 23 de Setembro de 2019.

VIEIRA, P. F., 1995. Meio Ambiente, Desenvolvimento e Planejamento. In: VIOLA, E. et al. Meio Ambiente, Desenvolvimento e Cidadania: Desafios para as Ciências Sociais. p.45-97. São Paulo: Cortez; Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. G. C. Água no Semi-Árido. In: REBOUÇAS, A. da C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas

Doces no Bra - sil; capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 3.ed. p. 481-540. Imgren, A. S., Bell, J. B., & Szymczak, W. G. (1996).

WORLD WATER COUNCIL. A Pact for a water security world. – 2013 – 2015. Strategy. Disponível em: <www.worldwatercouncil.org>. Acessado em 23 de Setembro de 2019.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

CIP - Catalogação na Publicação

Pulcinelli, Natália
PLANEJAMENTO PARA FONTES DE PRODUÇÃO DE ÁGUA COM
VISTAS A FORNECER ROBUSTEZ E SEGURANÇA HÍDRICA AO
MUNICÍPIO DE IVOTI / Natália Pulcinelli. -- 2021.
187 f.
Orientador: Guilherme Marques.

Coorientador: Pedro Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hídrica,
Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Gestão dos recursos hídricos. 2. Superexploração
do aquífero. 3. Sistema de abastecimento de água. 4.
Ivoti. 5. Custos de alocação de água. I. Marques,
Guilherme, orient. II. Reginato, Pedro, coorient.
III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

