RENATO AUGUSTO PATUCCI

**Modelo para tomada de decisão entre a produção de água não potável
em edifícios e a produção de água potável pelo Sistema Produtor São
Lourenço**

São Paulo

2019

RENATO AUGUSTO PATUCCI

**Modelo para tomada de decisão entre a produção de água não potável
em edifícios e a produção de água potável pelo Sistema Produtor São
Lourenço**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena de
Oliveira

São Paulo

2019

RENATO AUGUSTO PATUCCI

**Modelo para tomada de decisão entre a produção de água não potável
em edifícios e a produção de água potável pelo Sistema Produtor São
Lourenço**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena de
Oliveira

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Patucci, Renato Augusto

Modelo para tomada de decisão entre a produção de água não potável em edifícios e a produção de água potável pelo Sistema Produtor São Lourenço / R. A. Patucci -- versão corr. -- São Paulo, 2019.

176 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Sistema predial de água não potável 2.Sistema centralizado de água potável 3.Tomada de decisão 4.Programação inteira I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Dedico esse trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar nessa caminhada.

À minha família, que me incentivou desde o início, e me deu suporte em todos os momentos.

À Profa. Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira, que aceitou me orientar ainda com ideias pouco claras, incentivou o meu amadurecimento, o do trabalho e teve paciência. Um exemplo completo de orientação.

Ao Prof. Dr. Fernando Akira Kurokawa, que permitiu o trabalho manter o foco desde o início, direcionando o conteúdo de maior complexidade do meu entendimento.

Ao Sérgio e à Vanessa da construtora, que colaboraram gentilmente com seu tempo e forneceram todas as informações do seu alcance para o trabalho.

Ao Luiz Augusto, síndico do edifício, que liberou acesso ao condomínio, disponibilizou seu tempo e me atendeu com grande interesse.

A direção da empresa em que trabalho, por ter compreendido e aprovado minha dedicação nesse projeto, com vistas ao crescimento pessoal e profissional.

Aos dedicados professores desse programa de mestrado, que promoveram grande aprendizado através das disciplinas ministradas.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação do Construinova, sempre zelosos.

Ao Prof. Dr. Uiraci Espinelli Lemes de Souza, no primeiro esboço desse projeto, e por ter me indicado a Profa. Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira.

Ao Prof. Dr. Erik Eduardo Rego, que colaborou com o trabalho através dos seus conhecimentos em regulação do setor elétrico nacional.

“Você não consegue ligar os pontos olhando para frente. Você só consegue ligá-los olhando para trás. Então você tem que confiar que os pontos se ligarão algum dia no futuro.”

(Steve Jobs)

RESUMO

O adensamento populacional que as metrópoles vivenciam contribui para reduzir a disponibilidade específica de água, medida em $\text{m}^3/\text{hab.ano}$. Adicionalmente a este evento, quando o crescimento urbano ocorre de forma não planejada, isso impacta também a qualidade dos mananciais. Esses dois efeitos ocorrem de forma combinada, sobretudo na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Como consequência observam-se opções de ampliação da capacidade de produção de água potável sucessivamente mais custosas, seja por processos mais caros para o tratamento de um manancial mais poluído, próximo ao centro consumidor, seja pela maior distância de um manancial não poluído, e maiores custos com obras, como ocorre atualmente na implantação do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL). Esse processo de encarecimento das opções para ampliação do sistema centralizado de produção de água potável persistirá na RMSP, conforme a população continue a aumentar nas próximas décadas. Existem fontes alternativas com disponibilidade satisfatória, como a água residuária, que quando adequadamente tratadas, podem ser direcionadas para usos que não demandam água potável. Essa possibilidade tem sido aproveitada de forma crescente pelo mercado imobiliário em edifícios, através da instalação de sistemas prediais de água não potável (SPANP), e há diferentes tecnologias disponíveis se consolidando com custos em tendência de queda. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa é formular um modelo matemático de tomada de decisão para verificar se a utilização de SPANP são viáveis em relação à implantação do SPSL. Para o desenvolvimento da pesquisa, realizou-se revisão bibliográfica para avaliar as experiências de implantação de SPANP com fonte de águas cinzas em diferentes localidades, bem como para estabelecer a comparação de produção de água potável em macroescala em relação à produção de água não potável em microescala. Foram coletados dados quanto aos custos de construção, operação e manutenção de um SPANP em operação em um edifício na RMSP, e o mesmo para o SPSL. Por meio dos princípios da Programação Inteira, foi formulado um modelo para a indicação de qual opção de sistema apresenta o menor custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação. Foram simulados cinco cenários com a alteração das principais variáveis que influenciam o comportamento da viabilidade das opções, sendo que as simulações foram realizadas com o uso do software LINDO™. Em quatro dos cinco cenários simulados, o SPSL foi a opção de menor custo acumulado no 20º ano de operação, indicando a maior probabilidade do mesmo ser a opção de implantação mais econômica no presente. No entanto, devido à tendência de encarecimento das alternativas de ampliação do sistema centralizado de produção de água potável e de redução de custos dos SPANP, essa conclusão não pode ser adotada automaticamente quanto ao próximo sistema centralizado de água potável planejado para ser implantado.

Palavras-chave: Sistema predial de água não potável. Sistema centralizado de água potável. Tomada de decisão. Programação inteira.

ABSTRACT

The population agglomeration phenomenon that the metropolises pass through, reduces the water availability measured by the indicator $\text{m}^3/\text{hab}.\text{year}$. Additionally, when urban growth happens in an unplanned way, it also impacts the quality of the water sources. These two effects occur in a combined way, especially in the São Paulo Metropolitan Region (SPMR). As a consequence, the options for expanding the production capacity of drinking water are successively more costly, either by more expensive processes for the treatment of a more polluted source, near the consumer center, or by the larger distance of an unpolluted source, and higher costs with construction, as it is currently happening in the implementation of the São Lourenço Producer System (SLPS). The process that is turning expensive the options for expanding the centralized drinking water system will persist in the SPMR as the population continues to increase in the coming decades. There are alternative sources with satisfactory availability, such as wastewater, which when properly treated, can be directed to uses that do not require potable water. This possibility has been used more and more by the real estate market in buildings, through the installation of non-potable water systems (NPWS), and there are different technologies available in consolidation with falling costs. Thus, the objective of the research is to formulate a mathematical decision making model to verify if the use of NPWS are viable in relation to the implementation of the SLPS. For the development of the research, a bibliographical review was carried out to evaluate the experiences of implementation of NPWS with source of gray water in different localities, as well as to establish the comparison of production of drinking water in macro scale in relation to the production of non-potable water in micro scale. Data were collected on the costs of construction, operation and maintenance of NPWS in a building in the SPMR, and the same for SLPS. Through the principles of Integer Programming, a model was formulated to indicate which system option has the lowest accumulated total cost during the first 20 years of operation. Five scenarios were simulated with the change of the main variables that influence the viability behavior of the options, the simulations were performed using LINDO™ software. In four of the five simulated scenarios, SLPS was the lowest accumulated cost option in the 20th year of operation, indicating that it is more likely to be the most economical deployment option in the present. However, due to the rising cost of alternatives for the expansion of the centralized drinking water production system and the cost reduction of NPWSs, this conclusion cannot be automatically adopted for the next centralized drinking water system planned to be implemented.

Keywords: Non-potable water systems. Centralized drinking water system. Decision making. Integer Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Custo da produção de água potável de sistema futuro em relação ao sistema atual	19
Figura 1.2	- Lucro líquido anual da SABESP	22
Figura 1.3	- Consumo de água per capita na RMSP em litros/habitante.dia	22
Figura 1.4	- Histórico do volume útil do sistema Cantareira em 15 de agosto	23
Figura 1.5	- Evolução do balanço de demandas x disponibilidade hídrica do SIM	25
Figura 2.1	- UGRHs na Macrometrópole de São Paulo	28
Figura 2.2	- Crescimento da demanda hídrica urbana na Macrometrópole de São Paulo	29
Figura 2.3	- Cenário típico de sistemas de reúso indireto não planejado, efetuados em série	30
Figura 2.4	- Esquema básico de um sistema de reúso potável indireto planejado	31
Figura 2.5	- Reúso potável direto	32
Figura 2.6	- Traçado do sistema de adução de água bruta do SPSL	35
Figura 2.7	- Traçado do sistema de adução de água tratada do SPSL	36
Figura 2.8	- Perfil hidráulico da adutora de água bruta do SPSL – parte 1	37
Figura 2.9	- Perfil hidráulico da adutora de água bruta do SPSL – parte 2	38
Figura 2.10	- Perfil hidráulico da adutora de água tratada do SPSL	39
Figura 2.11	- Fontes e tipos de água não potável	43
Figura 2.12	- Sistemas prediais de água não potável, fontes e usos no edifício	44
Figura 2.13	- Sistema descentralizado individual de água não potável	47
Figura 2.14	- Sistema descentralizado em grupo de água não potável	48
Figura 2.15	- Sistema centralizado de água não potável	49
Figura 4.1	- Fluxograma das etapas da pesquisa	52
Figura 4.2	- Planta do apartamento, fontes de águas cinzas utilizadas e não utilizadas	54
Figura 4.3	- Detalhe do projeto hidráulico das suítes do apartamento	55
Figura 4.4	- Planta do sistema de tratamento de águas cinzas do edifício	56
Figura 4.5	- Custo unitário de implantação x População atendida	75
Figura 4.6	- Custo unitário de operação x População atendida	76
Figura 4.7	- Custo unitário de manutenção x População atendida	76
Figura 5.1	- Efeito escala nos custos de operação e manutenção com a adição de novos sistemas	89
Figura 5.2	- Efeito escala nos custos de operação e manutenção do SPANP descentralizado individual, em grupo e centralizado	90

Figura 5.3	- Comparação do histórico acumulado de inflação da tarifa de energia e do IGPM	98
Figura 5.4	- Projeção de inflação da tarifa de energia	100
Figura 5.5	- Consumo de água per capita da população dos municípios conectados ao SIM	105
Figura 6.1	- Aplicação do modelo no cenário base para o ano 20	109
Figura 6.2	- Resolução do cenário base para o ano 20	110
Figura 6.3	- Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 20	110
Figura 6.4	- Resolução do cenário com efeito escala para o ano 20	111
Figura 6.5	- Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenário base e cenário com efeito escala	113
Figura 6.6	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 20	114
Figura 6.7	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 20	115
Figura 6.8	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 20	115
Figura 6.9	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 20	116
Figura 6.10	- Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenários com efeito escala, aumento de custos operacionais e aumentos crescentes de custos operacionais	118
Figura 6.11	- Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água per capita para 167,5 L/hab.dia, para o ano 20	119
Figura 6.12	- Resolução do cenário com aumento do consumo de água per capita para 167,5 L/hab.dia, para o ano 20	120
Figura 6.13	- Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenários de aumentos crescentes de custos operacionais e aumento do consumo de água per capita	121
Figura A.1	- Tanque de equalização, decantador primário, rotores, decantador secundário e tanque de acúmulo	151
Figura A.2	- Filtro, reservatório de corante, reservatório de hipoclorito de sódio, tanque de acúmulo	151
Figura A.3	- Reservatório superior, água cinza recuperada para a distribuição aos apartamentos	152
Figura B.1	- Aplicação do modelo no cenário base para o ano 0	154
Figura B.2	- Resolução do cenário base para o ano 0	154
Figura B.3	- Aplicação do modelo no cenário base para o ano 5	155
Figura B.4	- Resolução do cenário base para o ano 5	155
Figura B.5	- Aplicação do modelo no cenário base para o ano 10	156
Figura B.6	- Resolução do cenário base para o ano 10	156

Figura B.7	- Aplicação do modelo no cenário base para o ano 15	157
Figura B.8	- Resolução do cenário base para o ano 15	157
Figura B.9	- Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 0	158
Figura B.10	- Resolução do cenário com efeito escala para o ano 0	158
Figura B.11	- Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 5	159
Figura B.12	- Resolução do cenário com efeito escala para o ano 5	159
Figura B.13	- Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 10	160
Figura B.14	- Resolução do cenário com efeito escala para o ano 10	160
Figura B.15	- Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 15	161
Figura B.16	- Resolução do cenário com efeito escala para o ano 15	161
Figura B.17	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 0	162
Figura B.18	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 0	162
Figura B.19	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 5	163
Figura B.20	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 5	163
Figura B.21	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 10	164
Figura B.22	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 10	164
Figura B.23	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 15	165
Figura B.24	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 15	165
Figura B.25	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 0	166
Figura B.26	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 0	166
Figura B.27	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 5	167
Figura B.28	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 5	167
Figura B.29	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 10	168
Figura B.30	- Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 10	168
Figura B.31	- Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 15	169

Figura B.32 - Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 15	169
Figura B.33 - Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 0	170
Figura B.34 - Resolução do cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 0	170
Figura B.35 - Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 5	171
Figura B.36 - Resolução do cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 5	171
Figura B.37 - Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 10	172
Figura B.38 - Resolução do cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 10	172
Figura B.39 - Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 15	173
Figura B.40 - Resolução do cenário com aumento do consumo de água per capita para o ano 15	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	- Obras para o enfrentamento da crise hídrica de 2013 a 2015 na RMSP	20
Tabela 2.1	- Projeções de população por UGRHI	28
Tabela 2.2	- Impactos potenciais nas Unidades de Conservação	40
Tabela 2.3	- Parâmetros de qualidade para o uso não potável	46
Tabela 4.1	- Custos de instalação do SPANP do edifício residencial	57
Tabela 4.2	- Custos de instalação do sistema de tratamento de águas cinzas - maio de 2018	58
Tabela 4.3	- Levantamento de quantidades da infraestrutura adicional para a instalação do SPANP no edifício residencial	59
Tabela 4.4	- Custos de instalação do sistema predial de coleta de águas cinzas, recalque e distribuição de água não potável - maio de 2018	59
Tabela 4.5	- Custos de operação e manutenção do SPANP de águas cinzas do edifício residencial	62
Tabela 4.6	- Resumo dos custos de implantação, operação e manutenção do SPANP	62
Tabela 4.7	- IDP no sistema interligado metropolitano	64
Tabela 4.8	- Consumo <i>per capita</i> de água no sistema interligado metropolitano	66
Tabela 4.9	- Cálculo da potência do sistema de bombeamento	67
Tabela 4.10	- Cálculo de horas na ponta e fora da ponta	68
Tabela 4.11	- Custo mensal do SPSL com energia elétrica	68
Tabela 4.12	- Custos operacionais da SABESP para o ano de 2018	69
Tabela 4.13	- Custos operacionais de produção de água pela SABESP na região metropolitana, para o ano de 2018	70
Tabela 4.14	- Custos operacionais de tratamento de esgoto pela SABESP na região metropolitana, para o ano de 2018	71
Tabela 4.15	- Resumo dos custos de implantação, operação e manutenção do SPSL	72
Tabela 4.16	- Custos de instalação de SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual	74
Tabela 4.17	- Custo unitário de implantação de sistemas de tratamento em função da população atendida	74
Tabela 4.18	- Custo unitário de operação e manutenção de estação de tratamento de efluente para reúso, em função da população atendida	76
Tabela 4.19	- Custos de operação e manutenção em base anual de SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual	77
Tabela 4.20	- População equivalente atendida pelos sistemas	78
Tabela 4.21	- Combinações de opções de SPANP para obter população equivalente ao do SPSL	82

Tabela 5.1	Custos de implantação, operação, manutenção e - população equivalente atendida dos sistemas - cenário base	84
Tabela 5.2	Custos de operação acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário base	84
Tabela 5.3	Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário base	85
Tabela 5.4	Custos de operação e manutenção em base anual de - SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual	89
Tabela 5.5	Custos de operação acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário considerando o efeito escala.....	90
Tabela 5.6	Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário considerando o efeito escala	90
Tabela 5.7	- Inflação dos custos de energia e do IGP-M	94
Tabela 5.8	Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento de custos operacionais	95
Tabela 5.9	Custos de operação acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento de custos operacionais	95
Tabela 5.10	Custos de operação acumulados dos sistemas para os - respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento crescentes de custos operacionais	100
Tabela 5.11	Histórico do consumo de água <i>per capita</i> nos municípios - conectados ao SIM	103
Tabela 5.12	População equivalente atendida pelos sistemas, com o - aumento do consumo de água <i>per capita</i>	106
Tabela 6.1	Síntese dos resultados obtidos por meio do software - LINDOTM, para o cenário com efeito escala (US\$)	112
Tabela 6.2	Síntese dos resultados obtidos por meio do software - LINDOTM, para o cenário com aumento de custos operacionais (US\$).....	116
Tabela 6.3	Síntese dos resultados obtidos por meio do software - LINDOTM, para o cenário com aumento crescente de custos operacionais (US\$).....	117
Tabela 6.4	Síntese dos resultados obtidos por meio do software - LINDOTM, para o cenário com aumento crescente de custos operacionais (US\$).....	120
Tabela 6.5	Resumo dos resultados no 20º ano, em cinco - cenários	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT/CB	Comitê Brasileiro da Construção Civil
A_{ij}	Coeficientes das Restrições
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARSESP	Agência Reguladora de Saneamento e Energia de São Paulo
B_{ij}	Constantes das Restrições
CBA	Companhia Brasileira de Alumínio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
C_{ij}	Coeficientes da Função Objetivo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COT	Carbono Orgânico Total
CRL	Cloro Residual Livre
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica
DBR	Disco Biológico Rotativo
DOSP	Diário Oficial do Estado de São Paulo
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
IDP	Índice de Perdas na Distribuição
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
IPC	Índice de Preços ao Consumidor
IRA	Índice de Regularidade de Abastecimento
LINDO	<i>Linear Interactive and Discrete Optimizer</i>
MAX	Máximo
MIN	Mínimo
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
PI	Programação Inteira
PO	Pesquisa Operacional
PRFV	Polímero Reforçado com Fibras de Vidro
RCAB	Reservatório de Acumulação de Água Bruta

RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RPINP	Reúso Potável Indireto Não Planejado
RPIP	Reúso Potável Indireto Planejado
RPIP	Reúso Potável Direto
s.a.	Sujeita à
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SES	Secretaria do Estado e da Saúde
SIM	Sistema Interligado Metropolitano
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para Construção
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPANP	Sistema Predial de Água Não Potável
SPANP-C	Sistema Predial de Água Não Potável Clara
SPANP-P	Sistema Predial de Água Não Potável Pluvial
SPANP-R	Sistema Predial de Água Não Potável Recuperada
SPANP-S	Sistema Predial de Água Não Potável Subterrânea
SPSL	Sistema Produtor São Lourenço
SSRH	Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos
TCU	Tribunal de Contas da União
TE	Tarifa de Energia
TUST	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
UC	Unidade de Conservação
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UHE	Usina Hidroelétrica
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UV	Ultravioleta
VPL	Valor Presente Líquido
WHO	<i>World Health Organization</i>
Z	Função Objetivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	26
2	FONTES DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO URBANO	27
2.1	SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL	33
2.1.1	Sistema centralizado	34
2.2	SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA NÃO POTÁVEL	43
2.2.1	Sistema descentralizado individual	47
2.2.2	Sistema descentralizado em grupo	48
2.2.3	Sistema centralizado	48
3	PESQUISA OPERACIONAL	50
3.1	FORMULAÇÃO GERAL DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	52
4.2	COLETA DE DADOS	53
4.2.1	Coleta de dados do SPANP	53
4.2.2	Coleta de dados do SPSL	62
4.3	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	73
4.3.1	Variáveis do modelo	73
4.3.2	Ajuste de parâmetros do modelo	73
4.3.3	População atendida em cada sistema	78
4.3.4	Formulação do modelo	78
4.3.5	Escolha de <i>software</i> para processamento matemático	81
4.3.6	Possibilidades de implantação de SPANP com população equivalente ao SPSL	81
4.3.7	Período de análise das simulações	82
4.4	APLICAÇÃO DO MODELO	83
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
5	APLICAÇÃO DO MODELO	84

5.1	CENÁRIO BASE.....	84
5.2	CENÁRIO COM EFEITO ESCALA.....	87
5.3	CENÁRIO COM AUMENTO DE CUSTOS OPERACIONAIS.....	93
5.4	CENÁRIO COM AUMENTO DE CUSTOS OPERACIONAIS CRESCENTES.....	97
5.5	CENÁRIO COM AUMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL PERCAPITA.....	103
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	109
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
	REFERÊNCIAS.....	127
	ANEXO A – PROPOSTA COMERCIAL DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	135
	ANEXO B – MINUTA DE CONTRATO: MANUTENÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	145
	APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE VISITA NO EDIFÍCIO DO ESTUDO DE CASO	150
	APÊNDICE B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE LINDO™	153

1 INTRODUÇÃO

As projeções de longo prazo de crescimento demográfico são bastante influenciadas segundo as taxas de fertilidade consideradas. Conforme a ONU (2015) em escala global, a população deve crescer dos atuais 7,3 bilhões de habitantes, para 9,7 e 11,2 bilhões nos anos de 2050 e 2100 respectivamente. No Brasil é previsto que a população passe dos atuais 208 para 238 milhões de habitantes em 2050 e, então, decresça para 200 milhões em 2100 segundo a ONU (2015). Dessa forma, é certo que a demanda por recursos naturais continuará a aumentar nas próximas décadas, sobretudo a da água.

As populações com disponibilidade de água entre 500 e 1.700 m³/hab./ano vivem em condições de estresse hídrico (ANA, 2007). O adensamento populacional, além de reduzir a disponibilidade hídrica por habitante, acaba exercendo forte pressão no aumento do consumo e na redução da qualidade dos mananciais existentes (SAUTCHÚK *et al.* 2005).

A região sudeste do Brasil, entre o final do ano de 2013 e o início de 2015, enfrentou a pior crise hídrica da história desde quando foram iniciadas as medições das vazões de água que abastecem os principais mananciais da região, em 1930 (SABESP, 2014). Nesse evento pôde-se verificar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água dessa região que concentra a maior parcela da população do país, principalmente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Para restabelecer o equilíbrio entre a oferta e a demanda é necessário, principalmente, realizar melhor gestão da demanda em associação às práticas conservacionistas e também o desenvolvimento de métodos e sistemas alternativos para a ampliação da oferta como a utilização de água não potável, ações para redução de perdas e minimização da geração de efluentes (SAUTCHÚK *et al.* 2005).

De acordo com Sautchúk *et al.* (2005) em novas edificações a implantação de um programa de conservação de água considera do lado da oferta o aproveitamento de águas pluviais, o uso de água subterrânea, o reúso de água e a captação direta, além da concessionária.

Os sistemas alternativos para a ampliação da oferta levam em consideração os diferentes padrões de qualidade da água, pois nem todos os usos como, por exemplo,

a descarga em bacia sanitária e a irrigação, necessitam serem próprios para o consumo humano. Desse modo, diferentes fontes podem auxiliar o atendimento da demanda de água não potável (DOMÈNECH e VALLÈS, 2014).

Conforme Daiger (2009), devido ao fato de fontes alternativas gerarem novos recursos de água, a implementação dessas possibilita que futuras ampliações do sistema de abastecimento centralizado sejam prorrogadas ou, até mesmo, evitadas. Dessa forma, as avaliações econômicas e energéticas entre as opções não devem ter como base os parâmetros médios do sistema centralizado, mas sim os parâmetros marginais. Essas avaliações são específicas e não podem ser generalizadas, uma vez que cada localidade tem suas características próprias.

Um estudo do Banco Mundial (1992) mostrou que o custo por metro cúbico de produção de água de um novo sistema, pode ser mais de duas vezes e em alguns casos mais de três vezes o custo unitário do sistema anterior, conforme ilustrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Custo da produção de água potável de sistema futuro em relação ao sistema atual

Fonte: Banco Mundial (1992), adaptado pelo autor

O aumento do custo ocorre por diferentes razões, como pela necessidade de bombeamento devido uma grande diferença altimétrica ou distância da fonte disponível e do local de consumo, encarecimento dos processos de tratamento devido

os mananciais estarem poluídos, ou pelo deslocamento da captação para montante do rio.

Durante a crise hídrica de 2013 a 2015 na RMSP foram adotadas diversas ações para a ampliação da oferta que, de acordo com a CETESB (2015), dividiram-se entre obras emergenciais de curto prazo e obras estruturais de médio prazo. A descrição das medidas adotadas encontra-se apresentada na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Obras para o enfrentamento da crise hídrica de 2013 a 2015 na RMSP (continua)

Obras emergenciais (curto-prazo)	
Concluídas em 2014	Captações da Reserva Técnica do Sistema Cantareira: - Represa Jacaré - 1ª etapa (vol.: 182 milhões de m ³ - equivalente a 18,5% do volume útil); - Represa Atibainha - 2ª etapa (vol.: 105 milhões de m ³ - equivalente a 10,7% do volume útil).
	Captação de volume adicional de 35,2 milhões de m ³ da represa Ponte Nova do Sistema Alto Tietê.
	Ampliação da elevatória do rio Guaratuba e da adutora para a represa Ponte Nova, para captação de 0,5 m ³ /s adicional.
	Ampliação da ETA Rio Grande de 5 m ³ /s para 5,5 m ³ /s, com a implantação de módulo de ultrafiltração por membranas.
	Ampliação da ETA ABV de 14 para 15 m ³ /s, com a instalação de módulo de ultrafiltração por membranas.
2015	Interligação do rio Guaió com a represa Taiaçupeba - capacidade de transferência de 1 m ³ /s para o Sistema Alto Tietê.
	Interligação do braço do Rio Grande (represa Billings) com a represa Taiaçupeba, para transferência de 4 m ³ /s para o Sistema Alto Tietê.
	Ampliação da ETA ABV de 15 para 16 m ³ /s, com a instalação de módulo de ultrafiltração por membranas.
2016	Reversão de 1 m ³ /s do Alto Juquiá para o ribeirão Santa Rita (bacia Guarapiranga).
	Reversão de 2 m ³ /s do rio São Lourenço para o ribeirão das Lavras (bacia Guarapiranga).
	Reversão de 1,2 m ³ /s do rio Itatinga para a represa Jundiá (Sistema Alto Tietê).
	Reversão de 2,5 m ³ /s do rio Itapanhaú para a represa Biritiba (Sistema Alto Tietê).
	Adequações, reformas e ampliações de estruturas (elevatórias e adutoras) do Sistema Adutor Metropolitano – SAM para transferir água tratada dos sistemas Guarapiranga, Alto Tietê e Rio Grande para áreas atendidas originalmente pelo sistema Cantareira.

Tabela 1.1 – Obras para o enfrentamento da crise hídrica de 2013 a 2015 na RMSP (conclusão)

Obras Estruturais (médio-prazo)	
2017	Sistema Produtor São Lourenço iniciado em 2014, para a reversão de 4,7 m ³ /s médios do reservatório Cachoeira do França, na bacia Ribeira do Iguape, suficientes para atender cerca de 2 milhões de pessoas.
	Ampliação do Sistema Rio Grande de 5,5 para 7,7 m ³ /s a partir da interligação do braço do Rio Pequeno (represa Billings) ao braço do Rio Grande, em duas etapas, com previsão de implementação total para final de 2017 / início de 2018.
	Interligação entre as represas Jaguari (Bacia do Rio Paraíba do Sul) e Atibainha (Sistema Cantareira), que permitirá o transporte médio anual de 5,13 m ³ /s de água diretamente ao Sistema Cantareira.

Fonte: CETESB (2015), adaptado pelo autor

Cabe destacar que as ações de ampliação de oferta têm maior custo e impacto ambiental em relação à abordagem de gestão da demanda. Durante a crise, para a diminuição da demanda foi concedido bônus de até 30% na conta de água para a redução de 20% de consumo e essa medida atingiu 80% de adesão da população atendida pela SABESP na RMSP. Outra ação implementada foi o acréscimo na conta de consumidores que aumentaram seu consumo médio. Além dessas medidas realizou-se distribuição de dispositivos economizadores de água de torneiras à população em geral (CETESB, 2015). No entanto, essas ações não se mostraram duradouras, pois não foram continuadas ou adaptadas após passada a fase mais aguda.

A ocorrência da crise hídrica mostrou a preferência por soluções pelo lado do aumento da oferta do que a gestão da demanda. Uma característica importante para justificar a preferência pelo aumento da oferta em relação à redução da demanda é que apesar de a água de ser um recurso limitado, também é o produto de comércio das empresas de saneamento.

O modelo de negócio atual das mesmas não se sustenta promovendo incentivo econômico para a redução do consumo por longos períodos. Contrariamente, quanto maior o consumo maior será a receita com a venda da água para os consumidores.

Na Figura 1.2 é possível verificar o impacto econômico nas finanças da SABESP devido às medidas adotadas no período mais agudo da crise hídrica nos anos de 2014 e 2015. O efeito combinado do menor volume de água vendido com a redução da tarifa para o incentivo da redução do consumo, fez com que o lucro médio da

companhia nos anos de 2014 e 2015 fosse 62% menor do que a média nos anos de 2012 e 2013.

Figura 1.2 – Lucro líquido anual da SABESP

Fonte: SABESP (2013) e SABESP (2018), adaptado pelo autor

Ainda que os incentivos econômicos para a redução do consumo tenham sido retirados assim que o risco de desabastecimento reduziu para níveis aceitáveis, a população da RMSP manteve índices de consumo próximos aos verificados durante a crise hídrica, quando as campanhas de conscientização foram mais intensas, na Figura 1.3 é possível observar essa mudança de comportamento.

Figura 1.3 – Consumo de água *per capita* na RMSP em litros/habitante.dia

Fonte: SABESP (2018b), adaptado pelo autor

A conscientização da população é um fator notável, tendo em vista que os incentivos econômicos para a redução do consumo foram removidos, mas o nível de consumo continuou equivalente ao do período da crise hídrica.

Isso reforça o conceito de que ações sociais e campanhas educativas são as mais eficientes em custo, e ambientalmente responsáveis para lidar com quadros de escassez. A redução média de 25% no consumo *per capita*, de 2014 a 2017, frente ao ano de 2013, equivale à capacidade de atendimento de uma população hoje 33% superior à capacidade em 2013, mudança essa alcançada com alteração de comportamento individual do usuário.

Esse engajamento da população, aliado às obras ora emergenciais e hoje concluídas, para trazer maior flexibilidade operacional ao Sistema Interligado Metropolitano (SIM) operado pela SABESP, é fundamental nesse contexto de escassez.

Na Figura 1.4 é apresentada a medição do volume útil do sistema Cantareira no dia 15 de agosto nos últimos 16 anos.

Figura 1.4 – Histórico do volume útil do sistema Cantareira em 15 de agosto

Fonte: SABESP (2018c), adaptado pelo autor

Especialistas já alertam sobre o risco de um novo desabastecimento hídrico para além da área da RMSP, que atualmente possui estrutura mais robusta para enfrentar uma nova crise do que em relação a 2014. A bacia de Piracicaba, Capivari e Jundiaí em 2018 tem municípios com racionamento de água implantado antes de outros municípios da RMSP (BARRETO, 2018). Por outro lado, observa-se que a política de

bônus para a redução do consumo de água é a última medida a ser adotada, particularmente pela SABESP, devido ao alto ônus financeiro relacionado (SABESP, 2018d).

Na RMSP, uma das obras estruturais de ampliação e reforço do sistema centralizado de produção de água potável é a construção do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL). Conforme a SABESP (2011) esse sistema terá vazão média anual de produção de 4,7 m³/s para o reforço e a regularização do abastecimento de água de, aproximadamente, 2 milhões de pessoas na zona oeste da RMSP mediante a conexão do mesmo ao SIM.

As obras do SPSL aumentarão a disponibilidade hídrica do SIM, o que garantirá o atendimento à crescente demanda de água na RMSP acima do índice de regularidade de abastecimento (IRA), indicador que corresponde ao percentual de horas do dia em que o sistema teve abastecimento pleno de 95% até o ano de 2020. Após essa data, são previstas novas obras de ampliação em outros sistemas para a continuidade de atendimento da crescente demanda (SABESP, 2011). Desse modo, o SPSL é considerado nessa pesquisa por empregar os parâmetros da margem da ampliação do sistema de abastecimento, no período de 2015 a 2020.

Na Figura 1.5 estão apresentados os cenários de aumento de demanda de água desde o início dos estudos de viabilidade do SPSL até o ano de 2025. Há dois cenários de aumento de demanda um com crescimento superior e outro inferior.

Entre os anos de 2018 e 2025 é previsto um aumento de demanda médio de aproximadamente de 4%, equivalente ao crescimento médio da população esperado para o mesmo período. Para o atendimento da demanda incremental, são previstas sucessivas obras de ampliação do sistema centralizado, dessa forma ratifica-se a orientação pelo aumento de capacidade dos sistemas, ante a redução do consumo de água *per capita* para servir uma população crescente.

A busca de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas traz como consequência direta aumentos consideráveis de custo, além de problemas legais e político-institucionais associados (SAUTICHÚK *et al.*, 2005).

Figura 1.5 – Evolução do balanço de demandas x disponibilidade hídrica do SIM

Fonte: SABESP (2011), adaptado pelo autor

Nesse sentido, a oferta de água não potável recuperada, produzidas em sistemas descentralizados, pode ser uma alternativa viável do ponto de vista técnico para auxiliar o atendimento da demanda crescente de água, realizado de forma centralizada pelo sistema público de água potável no contexto de escassez hídrica na RMSP.

Enquanto as opções de novas fontes não poluídas para a produção de água potável encontram-se em distâncias sucessivamente maiores do centro consumidor na RMSP, o mercado imobiliário tem proposto cada vez mais, sistemas de água não potável em projetos de edifícios. Proposta essa devido à temática da sustentabilidade, para a redução do consumo de água potável fornecido pela concessionária e para a valorização do imóvel.

As obras de ampliação do sistema centralizado de produção de água potável são de grande porte, apresentam importantes impactos ambientais, têm longos prazos de implantação e exigem expressivo aporte de recursos financeiros. Além dessas características, as alternativas disponíveis para novas captações são cada vez mais complexas e dispendiosas.

Por outro lado, o mercado competitivo e em crescimento de diferentes tecnologias para a produção de água não potável em pequena escala, cujos custos de implantação e operação tendem a se reduzirem, tem se estabelecido. Nesse contexto, a produção de água não potável nos edifícios pode apresentar maior viabilidade econômica em relação à ampliação do sistema centralizado de água potável? E, esse ponto já foi atingido na RMSP?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é formular um modelo matemático de tomada de decisão para verificar se o sistema predial de água não potável recuperada (SPANP-R) com fonte de águas cinzas, do tipo descentralizado individual, em condomínio residencial pode ser uma fonte alternativa complementar economicamente viável, em relação ao fornecimento centralizado de água potável.

O objetivo específico da pesquisa é realizar uma análise comparativa entre o SPANP-R, com fonte de águas cinzas, descentralizado individual de um condomínio residencial na RMSP e o SPSL, considerando-se as principais variáveis relacionadas à implantação, manutenção e operação e, dessa forma:

- averiguar, do ponto de vista econômico, se a implantação de SPANP-R de águas cinzas em condomínios residenciais, de determinadas características e porte, são viáveis em relação à ampliação do sistema centralizado de produção de água potável na RMSP;
- produzir documento que sirva de base para a discussão de políticas públicas quanto à regulamentação de SPANP-R na RMSP.

2 FONTES DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO URBANO

Quanto maior o adensamento urbano maior é a concentração da demanda de água, fazendo com que mesmo em locais com elevada disponibilidade hídrica possam apresentar quadros de escassez devido ao porte da população atendida. Desse modo, antes de avaliar formas de ampliação da oferta, é necessário assegurar que do ponto de vista da demanda todas as ações, que são mais eficientes em custo e quanto ao meio ambiente já foram aplicadas.

Oliveira e Gonçalves (1999) avaliam que as ações para a redução de demanda e desperdícios em edifícios dividem-se em três tipos, sendo as ações sociais campanhas educativas e de conscientização no sentido de induzir a mudança de comportamento individual do usuário, as ações tecnológicas representam a substituição de sistemas e componentes convencionais por economizadores de água, implantação de sistemas de medição de consumo setorizado e detecção e correção de vazamentos. Por fim, as ações econômicas relacionam-se com incentivos econômicos como o uso de subsídios para a aquisição de sistemas e componentes economizadores bem como a redução de tarifas e, como desincentivos econômicos, o aumento de tarifas.

Observa-se a utilização de ações econômicas em centros urbanos que passam por períodos de restrição no abastecimento público de água potável, com a adoção de rodízios, desincentivos financeiros e aplicação de multas.

Simultaneamente, verifica-se o aumento da procura de fontes alternativas de produção de água não potável, que podem ser implantadas após a edificação já construída como, por exemplo, das fontes pluvial e subterrânea, e as águas cinzas que são planejados na fase de projeto de novas edificações.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (2013) analisa a oferta de água de acordo com os mananciais que abastecem as regiões metropolitanas, a Macrometrópole de São Paulo, que concentra 74,6% da população e 82,8% do PIB do estado (EMPLASA, 2017), é composta por oito Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) em um total de 22, conforme ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – UGRHIs na Macrometrópole de São Paulo

Fonte: DAEE (2013), adaptado pelo autor

Do ano de 2018 a 2035 é previsto um crescimento populacional de 8,7% nessa região, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Projeções de população por UGRHI

UGRHI	2018	2025	2035
02 - Paraíba do Sul	2.176.529	2.298.477	2.405.612
03 - Litoral Norte	282.644	306.005	330.282
05 - Piracicaba / Capivari / Jundiaí	5.673.617	5.984.388	6.217.851
06 - Alto Tietê	21.310.657	22.206.211	22.938.472
07 - Baixada Santista	1.857.493	1.960.432	2.048.752
09 - Mogi Guaçu	594.596	621.814	641.581
10 - Tietê / Sorocaba	2.109.243	2.253.517	2.375.576
11 - Ribeira de Iguape e Litoral Sul	53.308	58.271	63.557
Total	34.058.087	35.689.115	37.021.683

Fonte: DAEE (2013), adaptado pelo autor

As projeções do DAEE (2013) apontam que esse crescimento populacional acarretará no acréscimo de 8,9% na demanda de água para o abastecimento urbano, conforme ilustrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Crescimento da demanda hídrica urbana na Macrometrópole de São Paulo

Fonte: DAEE (2013), adaptado pelo autor

A demanda crescente é majoritariamente atendida pelo sistema centralizado de abastecimento de água potável, em que se verificam problemas de escassez e de ordem econômica, devido às maiores distâncias dos mananciais, bem como, à necessidade de tratamentos mais intensos causados pela poluição da água (OLIVEIRA e GOLÇALVES, 1999).

Os mananciais são corpos hídricos artificiais que, quando localizados próximos das áreas urbanas, apresentam em suas bacias de drenagem atividades antrópicas que colocam em risco a qualidade das suas águas. Na RMSP, as represas Billings e Guarapiranga apresentam grande parte das suas áreas ocupadas por assentamentos irregulares havendo mais de 200.000 pessoas nessa situação. A ocupação desordenada está diretamente associada ao lançamento de efluentes sem tratamento nas bacias hidrográficas, havendo impacto direto no aumento dos custos para o tratamento de água, maior número de casos de doenças de veiculação hídrica, aporte de nutrientes e contaminantes como metais tóxicos, compostos orgânicos persistentes e traços de produtos farmacêuticos (SILVA *et al.*, 2018).

Hespanhol (2015) avalia que o reúso potável indireto não planejado (RPINP) é praticado extensivamente no Brasil. O exemplo típico consiste no lançamento de esgotos, tratados ou não, e coletados a jusante para tratamento e abastecimento público, como exemplo ao longo do rio Tietê e do Rio Paraíba do Sul, conforme apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Cenário típico de sistemas de reúso indireto não planejado, efetuados em série

Fonte: HESPANHOL (2015)

De acordo com Hespanhol (2015) o reúso potável indireto planejado (RPIP) consiste em um sistema secundário de tratamento de esgotos, seguido de sistemas de tratamento avançado e, se necessário, balanceamento químico antes do lançamento em um corpo receptor designado como atenuador ambiental, que podem ser corpos hídricos receptores naturais, rios, lagos, aquíferos não confinados, ou reservatórios construídos para a regularização de vazões nos quais os esgotos tratados lançados são posteriormente captados para o reúso indireto.

O RPIP, conforme ilustrado na Figura 2.4, é difícil ser aplicado nas condições atuais brasileiras, incluindo a RMSP, devido restrições técnicas, ambientais, legais e institucionais (HESPANHOL, 2015).

Figura 2.4 – Esquema básico de um sistema de reúso potável indireto planejado

Fonte: HESPANHOL (2015)

O reúso potável direto (RPD) consiste no tratamento avançado de efluentes para em seguida adentrar diretamente na estrutura de uma ETA e segue o esquema apresentado na Figura 2.5 (HESPANHOL, 2015).

Encontram-se aplicações do RPD em muitos países desenvolvidos, Guo e Englehardt (2015) avaliaram que o RPD descentralizado em estações para atender até 10.000 residências tem custos competitivos em relação os custos de produção de água e tratamento de esgotos tradicionais na maior parte das cidades dos Estados Unidos e devem ser considerados para a expansão de capacidade em áreas urbanas.

Em 2017 a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou um guia quanto o gerenciamento de sistemas de produção de água potável através de RPD e RPIP para orientar o planejamento, projeto e operação desses sistemas (WHO, 2017).

Figura 2.5 – Reúso potável direto

Fonte: HESPANHOL (2015)

No entanto, uma parte da demanda poderia ser suprida por água não potável para os usos que prescindam de água potável em residências. Estudos que apresentam a participação da utilização de água na bacia sanitária têm resultados diversos em função da data do estudo, da localidade, fatores culturais e outras variáveis.

Rodrigues (2006) verificou que em edifícios com medição de água individualizada e unidades com bacias sanitárias de caixa acoplada instaladas, a participação do consumo de água para a descarga representou 20% do consumo total residencial.

Oliveira, Gonçalves e Uchida (2009) avaliaram o perfil do consumo residencial de água em bacias sanitárias com sistemas de descarga duplo (6/3L) e simples de 6L, em um edifício multifamiliar de dois dormitórios, dois banheiros, sala de estar e jantar, cozinha e lavanderia, no Brasil. Esse uso representou 20% e 16% do consumo doméstico para a descarga com acionamento simples e duplo, respectivamente.

Na Austrália, segundo Loh e Coghlan (2003) o consumo de água em bacias sanitárias nas residências varia de 17% a 21% em edifícios e em residências unifamiliares

respectivamente. O consumo nas bacias sanitárias foi de 15,3% nos edifícios residenciais em Brasília (SANT'ANA, 2013).

Esses valores sugerem o potencial impacto que a utilização de fontes alternativas para o suprimento da demanda de água não potável pode provocar na redução do consumo água potável nas residências, sobretudo na RMSP.

2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

O Ministério da Saúde do Brasil, através da Portaria de Consolidação 5 (BRASIL, 2017) dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água potável produzida de forma centralizada, através de solução alternativa coletiva e por solução alternativa individual.

O sistema centralizado de água potável é caracterizado como instalações compostas por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável através de rede de distribuição. A rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento que transporta a água do centro de produção, até as ligações prediais onde é realizada a ligação de água e a medição do consumo. A solução alternativa coletiva é realizada através de captação subterrânea ou superficial, no entanto, não contêm rede de distribuição. Essas duas modalidades de produção de água potável são objeto de controle e vigilância de qualidade conforme a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

A solução alternativa individual é o tipo de produção que atende domicílios de uma única família, que são apenas sujeitos ao controle e vigilância de qualidade, conforme a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Em relação às diferentes modalidades de produção de água potável, nessa pesquisa é dada ênfase ao sistema centralizado por esse atender a maior parte da demanda, sobretudo na RMSP.

2.1.1 Sistema centralizado

No Brasil a produção e distribuição de água potável através de sistema centralizado é um serviço público realizado por empresas controladas por estados, municípios e empresas privadas que detêm concessões administrativas para a prestação do

serviço por período de tempo determinado. O SIM da RMSP é composto por 29 municípios, dos quais 24 são atendidos pela SABESP, empresa controlada pelo estado de São Paulo, e 5 que são atendidos por empresas públicas municipais.

Durante os anos de 2014 a 2018, a ampliação da oferta no SIM da RMSP correspondeu à execução de obras para realizar a captação de água no Rio Juquiá na vazão média de 4,7 m³/s.

Neste empreendimento a estação de tratamento de água (ETA) foi dimensionada para uma vazão média pouco superior de 5,0m³/s e para a vazão máxima diária de 6,0m³/s considerando o coeficiente do dia de maior consumo igual a 1,2 (SABESP, 2011). Trata-se do SPSL, cujos esforços na implantação são coordenados pela SABESP.

O SPSL é composto por obras lineares com 48 km de adutora de água bruta com 2100 mm de diâmetro, 31 km de adutora de água tratada com 2100 mm, 1800 mm, 1500 mm e 1200 mm de diâmetro e 14 km em 4 subadutoras com 800 mm e 400 mm de diâmetro, 40 km de linha de transmissão em 138 kV. Além disso, apresenta outras estruturas como a captação, estações elevatórias, subestações, estação de tratamento de água (ETA), chaminés de equilíbrio, reservatórios, estruturas de controle, situadas em 11 municípios (SABESP, 2011). Esses componentes do sistema estão apresentados nas Figuras 2.6 e 2.7.

No perfil hidráulico das adutoras de água bruta e água tratada, observa-se a captação na cota 645 m acima do nível do mar e pressurização da rede para a cota piezométrica de 995 m. As instalações da ETA encontram-se na cota de 924 m, e a interligação no SIM ocorre na cota piezométrica de 820 m. O perfil hidráulico do SPSL encontra-se apresentado nas Figuras 2.8, 2.9 e 2.10.

Figura 2.8 – Perfil hidráulico da adutora de água bruta do SPSL – parte 1

Fonte: SABESP (2011), adaptado pelo autor

Figura 2.9 – Perfil hidráulico da adutora de água bruta do SPSL – parte 2

Fonte: SABESP (2011), adaptado pelo autor

Figura 2.10 – Perfil hidráulico da adutora de água tratada do SPSL

Fonte: SABESP (2011), adaptado pelo autor

O projeto teve os impactos ambientais em Unidades de Conservação (UC) levantados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA). As obras, que se iniciaram no ano de 2014 e com a conclusão prevista para o ano de 2018, estão localizadas em 9 UCs conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Impactos potenciais nas Unidades de Conservação

UC Afetação Territorial	Intervenções Previstas	Potenciais Impactos à UC ou à sua ZA, causados pelo empreendimento
Parque Estadual da Serra do Mar, núcleos Pedro de Toledo e Curucutu Não afeta o Parque. Obras na ZA (APM na RMSP).	Execução de 5,88 km de adutora, 18,7 km de estrada de acesso e 40,36 km de LT na ZA do Parque. Juquitiba e São Lourenço: centros de apoio urbano às obras.	Supressão de 38 ha de vegetação natural (franjas), afetação de 7,6 km bordas, fragmentação de maciços de vegetação (6 km), travessia subterrânea de 15 córregos (adutora), travessia de 100 córregos (LT), afetação de 29 ha de APP. Maior parte dos impactos deve-se à LT. Aumento de pressão antrópica na ZA do P.E. Projeto consistente com os objetivos da ZA do Parque. Programas previstos: ganho ambiental p/ APM e o P.E.
Parque Estadual do Jurupará Não afeta o Parque. Obras na ZA (3 km).	Execução de ~ 1 km de acesso viário e de adutora no limite da ZA do Parque.	Impacto pequeno em área de reflorestamento, que drena para fora da ZA. O SPSSL não causará impacto ao P.E. Jurupará nem impacto sensível à sua Zona de Amortecimento.
Reserva Estadual do Morro Grande – REMG Não afeta a Reserva. Obras na ZA (3 km).	Execução de 6,6 km de adutora em estradas asfaltadas e Chaminé de equilíbrio, na ZA da Reserva.	Supressão de pequenas franjas de vegetação, travessia subterrânea de córregos e intervenção em APP na ZA, em trecho já antropizado na estrada de Caucaia, que drena para fora da Reserva. Impacto mínimo, que não afeta a REMG nem a sua ZA.
APA Estadual Represa de Itupararanga Obras na APA.	Execução de: 32km de adutora ao longo de estradas, ETA São Lourenço e 2 Chaminés de equilíbrio.	Supressão de franjas de vegetação, travessia subterrânea de córregos e intervenção em APP no setor de montante da APA, em corredor bastante antropizado, com ocupação rural e peri-urbana. Impactos localizados de pequena magnitude, que não afetam a represa; instalações não geram efluentes.
APA da Várzea do Rio Tietê – Setor Oeste Obras na APA.	Execução de 9,6 km de adutora na APA, ao longo de vias públicas e junto à ETE Barueri	Supressão de pequenas franjas de vegetação, travessia subterrânea de córregos e intervenção em APP na APA, em Zona de Uso Controlado, em áreas urbanas ou com alta antropização. Não afeta vegetação do Parque Ecológico Ilha de Tamboré. Impacto pequeno, intervenções compatíveis com o zoneamento e os objetivos da APA.
RPPN Meandros I Obras no limite da RPPN.	Execução de 1,2 km de adutora no limite da RPPN, em vicinal. Traçado já foi desviado para fora da Reserva.	Obra pode entrar alguns metros no interior da Reserva. Possível afetação de bordas de vegetação. Outros impactos temporários são de pequena magnitude. Impactos não comprometem os objetivos da RPPN.
RPPN Meandros II Sem obras na RPPN.	Não há.	O SPSSL não causará impacto direto nem indireto nestas duas RPPN.
RPPN Meandros III Sem obras na RPPN.	Obras da adutora ficam a mais de 1-2 km do limite das RPPN.	
Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV) Todas as intervenções do SPSSL situam-se na RBCV.	Não há obras na Zona Núcleo. Parte das obras fica na ZA. A população a ser abastecida pelo SPSSL e a maior parte das instalações do SPSSL estão na Zona de Transição da RBCV.	SPSSL é compatível com os objetivos de proteção ambiental em âmbito regional da RBCV: cuidados ambientais na definição do traçado e na concepção do Projeto, baixo grau de impacto global, amplo leque de medidas de reposição florestal, recomposição dos ambientes afetados, compensação ambiental e apoio à proteção da bacia do manancial.

Fonte: SABESP (2011b)

A transposição de água entre bacias gera diversos impactos. Essa sistemática é a mesma adotada há mais de dois mil anos resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento de água em uma região, em detrimento daquela que fornece. Como os sistemas de coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgotos não são expandidos em correspondência às novas vazões aduzidas, ocorre um aumento da poluição na região que a recebe. Portanto sem um programa para o tratamento de

esgoto da vazão importada de outras bacias, o mesmo será lançado em estado bruto nos corpos receptores da RMSP, agravando o problema ambiental de esgotos na área urbana (HESPANHOL, 2008).

Segundo a SABESP (2011), a jusante do ponto de captação do SPSL no rio Juquiá, existem seis usinas hidroelétricas (UHE), no sentido de montante para jusante são a França, Fumaça, Barra, Porto Raso, Alecrim e Serraria somando capacidade instalada de 230,72 MW e geração de 1.330 GWh/ano, as UHEs aproveitam praticamente todo potencial hidroelétrico do rio até a sua foz.

As UHEs são da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) e a questão da redução da vazão do rio e geração de energia em aproximadamente 17%, está resolvida do ponto de vista jurídico. O artigo 5º do decreto federal de 27/06/1996 assegurou o direito de reversão de 4,7 m³/s para o abastecimento público da RMSP a partir de 2016.

As seis UHEs foram construídas entre os anos de 1957 e 1986, de forma que os contratos de concessão para a exploração do potencial hidroelétrico estiveram sujeitos a diferentes legislações e regulações, bem como já passaram pela primeira renovação de contrato de direito da CBA.

Cabe destacar que essas UHEs são um caso específico de autoprodução, ou produção para consumo próprio, na matriz elétrica nacional, com linhas de transmissão de interesse restrito que conectam as UHEs à fábrica de alumínio da CBA, não enquadrados no Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) e não tendo seu despacho centralizado por comando pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

O último contrato de concessão das UHEs com a União tem o número 304 de 1998 e esteve vigente até o dia 27 de junho de 2016. Hoje apesar do contrato de concessão estar vencido, pelo fato de não haver norma regulamentar para essa situação específica, a CBA continua operando e utilizando a energia gerada. O Tribunal de Contas da União (TCU) denunciou essa situação e o destino do direito de exploração desse potencial hidroelétrico será decidido, portanto, judicialmente.

A futura concessão das usinas deve resultar ou pela renovação do contrato em mais um período com a CBA com encargos pagos à União relativa à exploração e comercialização da energia produzida, ou pela devolução dos ativos à União que promoveria um novo leilão para os concessionários interessados. Os últimos certames

de concessão de ativos já instalados tiveram o formato de concorrência através da oferta do maior valor no momento inicial do contrato, frente à opção de oferta da maior taxa atrelada à geração durante o prazo do contrato.

Nos dois casos, cabe destacar que a redução da vazão decorrente da destinação ao SPSL, acarretará em redução da produção de energia, e consequente desvalorização desses ativos que serão disputados. Ou seja, a união observará a desvalorização desses ativos, em benefício da população da RMSP. Diante desse cenário, não é possível precisar a perda econômica advindos da implantação do SPSL.

Apesar da vazão adicionada na bacia do Alto Tietê, a maior vazão transposta na nova bacia não garante aumento de produção de energia elétrica à jusante na mesma de imediato, além da própria perda de carga hidráulica no fluxo das águas, esgotos e efluentes para o atendimento da população na RMSP, para a vazão adicional ser aproveitada do ponto de vista energético, seriam necessários investimentos em capacidade instalada de geração na nova bacia.

Obras de ampliação em UHEs, se não previstas em projeto antes do período de construção, praticamente tornam-se inviáveis. Dessa forma, essa transposição entre as bacias gera uma perda econômica, tornando ociosa parte da capacidade instalada de geração elétrica no rio Juquiá.

Além da perda líquida de produção de energia elétrica, há a necessidade de importar água para a nova bacia, exigindo a elevação do fluxo em aproximadamente 3.900 kPa, devido o elevado desnível topográfico da Serra do Paranapiacaba, correspondente ao divisor de águas das bacias do Rio Juquiá e Sorocaba. Somadas as perdas de carga nas tubulações, é necessário expressivo o consumo de energia.

A cobrança pelo uso da água do Alto Juquiá incidirá sobre 100% da vazão captada, pois a mesma não retornará à sua bacia original, o valor da cobrança será de cerca de R\$ 4,5 milhões por ano (SABESP, 2011).

A questão ambiental da ampliação do sistema centralizado de produção de água potável é relevante no sentido em que seus impactos, particularmente os da construção, são bem definidos. Outro aspecto é que as fontes não poluídas para a ampliação do sistema centralizado encontram-se em locais cujo meio ambiente é preservado.

Diferentemente da opção de utilização de algumas fontes de água não potável nos edifícios, como a água cinza, que não introduz novos impactos ambientais no meio ambiente.

2.2 SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

As fontes alternativas de água não potável são divididas entre a água clara que é o “efluente gerado de sistemas de resfriamento, sistema de vapor e condensado, sistemas de destilação etc.” (MARQUES e OLIVEIRA, 2014, p.4), a água pluvial, a água subterrânea e a água residuária que é o “efluente gerado após o uso da água em edificações residenciais, comerciais e industriais. É também denominada água servida” (MARQUES e OLIVEIRA, 2014, p.4). Após o efluente receber tratamento, se transformam em diferentes tipos de água não potável, conforme ilustrados na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Fontes e tipos de água não potável

Fonte: Marques e Oliveira (2014), adaptado pelo autor

Nos edifícios, os sistemas prediais de água não potável (SPANP) podem ser classificados de acordo com sua fonte geradora, como ilustrado na Figura 2.12.

Figura 2.12 – Sistemas prediais de água não potável, fontes e usos no edifício

Fonte: Marques e Oliveira (2014)

Conforme Cook, Sharma e Gurung (2014), uma limitação dos SPANP-P é a sua baixa eficiência. Por um lado, existem limites físicos de armazenamento das águas das chuvas e, por outro lado, os eventos climáticos apresentam alta variabilidade e baixa constância. Dessa forma, podem-se verificar longos déficits no sistema devido os períodos de seca de cada localidade.

Outra fonte disponível é a água residuária proveniente de águas cinzas. Marques e Oliveira (2014) a classificam como efluentes advindos de aparelhos sanitários, excluindo os efluentes de bacias sanitárias. Particularmente há a classificação de águas cinzas claras, que exclui também os efluentes da pia de cozinha e da máquina de lavar louça.

Como as águas cinzas tem um padrão de produção constante e proporcional à demanda de água não potável, têm-se verificado iniciativas do poder público em diversas localidades no mundo quanto ao uso da mesma, sobretudo nas regiões com maior escassez de água em países desenvolvidos (DOMÈNECH e VALLÈS, 2014).

Algumas cidades da região metropolitana de Barcelona regulamentaram a instalação de SPANP-R de águas cinzas. Os primeiros resultados dessa política mostraram que a percepção sobre riscos à saúde, regime operacional, custo percebido, e consciência ambiental foram, em diferentes graus, fatores determinantes da aceitação do público quanto à tecnologia. Apesar de muitos sistemas não estarem funcionando plenamente, a aceitação dos usuários foi notável, devido principalmente à consciência ambiental da população (DOMÈNECH e SAURÍ, 2010).

A perspectiva de Domènech e Vallès (2014) quanto à região metropolitana de Barcelona, é que esses sistemas tendem a ter uma maior aceitação nos próximos anos, devido à recente adoção de tecnologias mais eficazes. Ressalta-se que a curva de aprendizado e amadurecimento é fundamental e é uma experiência única a ser vivida pela população de cada localidade que passe por esse processo. Assim, não se pode generalizar que essa aceitação seja transferida para outras regiões.

Os SPANP fornecem possibilidades significativas de redução de demanda de água potável para o uso residencial, no entanto, devido a grande variedade de sistemas disponíveis, é necessário estudo detalhado dos custos de implantação para avaliar se os mesmos produzem economia financeira durante sua vida útil (BRUK *et al.*, 2016).

Existem diversas tecnologias, que utilizam diferentes tipos de tratamento. No Brasil, o tratamento feito por biodisco ou disco biológico rotativo (DBR) é muito empregado em sistemas descentralizados individuais, devido o baixo requisito de área, equipamentos mecânicos simples e baixa geração de maus odores (VON SPERLING, 2005).

Um fator importante a se monitorar para a obtenção de economia no consumo de água potável, quando da utilização de SPANP, é quanto ao comportamento dos usuários, de modo que os mesmos não acabem ampliando o consumo de água potável. Uma experiência de operação malsucedida na cidade de São Paulo demonstrou resultados pouco expressivos na redução do consumo de água potável em decorrência da disponibilidade de sistema de SPANP, e resultados satisfatórios de redução de consumo durante o período da crise hídrica de 2014 e 2015 (FERREIRA e OLIVEIRA, 2018).

No Brasil há uma regulamentação nacional sobre a prática de reúso. Trata-se da resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios legais sobre o reúso de água não potável. A resolução 121 desse mesmo órgão aborda o reúso especificamente para fins agrícolas. No âmbito do estado de São Paulo há uma resolução conjunta das Secretarias do Meio Ambiente (SMA), de Estado da Saúde (SES) e de Saneamento e Recursos Hídricos (SSRH) de 28 de junho de 2017 sobre o reúso de água não potável provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Esse documento aborda a questão de forma ampla estabelecendo, dentre

outros, os principais parâmetros e diretrizes para o monitoramento de qualidade do efluente tratado, mas não aborda especificamente as águas cinzas.

A Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT) através da comissão de estudo de conservação de água em edificações (CE-002: 146.004) no âmbito do Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002) está em processo de elaboração de uma norma para apresentar instruções quanto à caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edifícios.

Excetuando-se o aproveitamento das águas pluviais, que tem uma norma técnica própria, e os sistemas de resfriamento de água que devem atender os padrões de qualidade definidos pelos fabricantes dos equipamentos, a água não potável em edificações deve atingir os parâmetros mínimos de qualidade através de ensaios realizados em frequência conforme apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Parâmetros de qualidade para o uso não potável

Parâmetros	Frequência de amostragem - Edificação Multifamiliar / Coletiva	Limite
pH	Diária	6,0 a 9,0
E. Coli	Mensal	$\leq 200\text{NMP}/100\text{ ml}$
Turbidez	Semanal	$\leq 5\text{ UT}$
DBO _{5,20}	Mensal	$\leq 20\text{ mgO}_2/\text{L}$
CRL (cloro residual livre)	Diária	Mínimo 0,5mg/L - Máximo 5,0 mg/L Recomendável: 0,5 mg/L a 2,0 mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Condutividade elétrica	Semanal	$\leq 2.000\text{ mg/L}$ ou $\leq 3.200\text{ }\mu\text{S/cm}$
Carbono Orgânico Total (COT) - (Somente para água de rebaixamento de lençol)	Semestral	$< 4\text{ mg/L}$

Fonte: ABNT (2018), adaptado pelo autor

Encontram-se, também, iniciativas em alguns municípios com o fim específico de reúso de águas cinzas como em Niterói-RJ onde “As edificações [...] ficam obrigadas a incentivar o reúso da água através da reciclagem dos constituintes dos efluentes das águas cinzas servidas das edificações [...] se aplicará às obras novas que tenham consumo de volume igual ou superior a 20 (vinte) metros cúbicos de água por dia” (NITERÓI, 2011).

Na cidade de Maringá-PR a legislação municipal prevê incentivos a aqueles que adotarem o reaproveitamento de águas “[...] os munícipes serão incentivados a instalar reservatórios para a contenção de águas servidas na base de chuveiros, banheiras, lavatórios e em outros locais julgados convenientes [...] e também dispositivos para a utilização dessas águas na descarga de bacias sanitárias e mictórios e lavagem de pisos, terraços e outros procedimentos similares [...] A Administração Municipal, através dos órgãos competentes, cadastrará as residências e estabelecimentos comerciais que aderirem ao programa, para fins de estudo relativos à concessão de incentivos [...]” (MARINGÁ, 2003).

2.2.1 Sistema descentralizado individual

De acordo com Suriyachan (2012), sistemas descentralizados têm por objetivo coletar, tratar, destinar e reutilizar o efluente tratado próximo ao local de geração. Santos (2013) analisa que o custo de instalação do sistema descentralizado individual é composto majoritariamente pela unidade de tratamento, pois é menor a necessidade de tubulações para o transporte dos resíduos.

Oliveira *et al.* (2014) indica que os sistemas descentralizados individuais são aqueles que atendem uma única unidade autônoma ou edifício, conforme ilustrado na Figura 2.13.

Figura 2.13 – Sistema descentralizado individual de água não potável

Fonte: Ferreira e Oliveira (2018), adaptado pelo autor

2.2.2 Sistema descentralizado em grupo

De acordo com a USEPA (2004), os sistemas descentralizados em grupo são aqueles em que a captação dos efluentes de dois ou mais edifícios são direcionados para uma central de tratamento.

Os sistemas descentralizados em grupo são aqueles que atendem a um conjunto de unidades autônomas ou de edifícios como um condomínio, uma quadra ou um bairro (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Essa configuração encontra-se ilustrada na Figura 2.14.

Figura 2.14 – Sistema descentralizado em grupo de água não potável

Fonte: Ferreira e Oliveira (2018), adaptado pelo autor

2.2.3 Sistema centralizado

Segundo Suriyachan *et al.* (2012) o sistema centralizado realiza a coleta, transporte, tratamento e destinação de forma segura de grandes volumes, normalmente em regiões de elevada densidade populacional.

Para Oliveira *et al.* (2014), nos sistemas centralizados, as águas residuárias provenientes de vários edifícios são coletadas e transportadas para um único local e, em seguida, são tratadas e distribuídas no próprio empreendimento ou enviadas a outros. Essa configuração é demonstrada na Figura 2.15.

Figura 2.15 – Sistema centralizado de água não potável

Fonte: Ferreira e Oliveira (2018), adaptado pelo autor

De acordo com Dias (2017) os SPANP centralizados apresentam maior viabilidade econômica em relação aos descentralizados considerando-se os custos de implantação, operação, manutenção e consumo de energia para uma vida útil de 20 anos.

3 PESQUISA OPERACIONAL

Conforme Arenales *et al.* (2015), Pesquisa Operacional (PO) é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos. Para Belfiore e Fávero (2013), a pesquisa operacional possibilita a geração de informações para a determinação de novos investimentos, definição da continuidade de projetos ou relocação de recursos.

De acordo com Fogliatto (s/d), após a década de 1950, os problemas de PO passaram a ser abordados de uma forma organizada e tiveram rápido avanço. Através do desenvolvimento de algoritmo simples, para a solução de problemas, e devido à rápida propagação de microcomputadores e o aumento da capacidade de processamento.

Problemas de PO são usualmente modelados na forma de uma função objetivo que se deseja minimizar ou maximizar e diversas restrições associadas como a disponibilidade de matérias-primas, mão-de-obra, recursos financeiros e outros (FOGLIATTO, s/d).

3.1 FORMULAÇÃO GERAL DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA

O modelo matemático de um problema de Programação Inteira (PI) é formulado através de uma função objetivo (Z), representada por uma expressão linear para a obtenção de um valor mínimo (MIN) ou máximo (MAX). A função está sujeita à (s.a.) restrições de igualdades ou desigualdades das variáveis de decisão X_i , sendo esses números inteiros do tipo 0 e 1 ou inteiros positivos. A formulação é descrita conforme a Equação (3.1).

$$\begin{aligned}
 (\text{MIN}) \text{ ou } (\text{MAX}) \quad Z &= \sum_{i=1}^n C_i X_i \\
 \text{s. a.} \quad &\begin{cases} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n \leq B_1 \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n \leq B_2 \\ A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots + A_{mn}X_n \leq B_m \\ X_i \in \{0,1\} \text{ ou } \mathbb{Z}_+ \end{cases} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

sendo que:

- A_{ij} – são os coeficientes das restrições;
- B_i – são as constantes que representam os valores máximos ou mínimos totais das restrições;
- C_{ij} – são os coeficientes da função objetivo (Z).

Em algumas situações, os modelos podem apresentar um número considerável de variáveis e restrições que inviabilizam uma resolução manual, sendo recomendada a utilização de softwares específicos (MARINS, 2011).

Para Santos (2000) o tipo mais comum de aplicação de problemas de PI envolve a distribuição de recursos limitados, entre as atividades que competem por eles, da melhor maneira possível, de forma ótima, ou seja, o planejamento de atividades cujo resultado melhor atende a função objetivo. Nos modelos de PI estão implícitas as características descritas a seguir.

- Proporcionalidade: o nível de contribuição e uma variável qualquer é sempre proporcional ao seu valor.
- Aditividade: Não há interação entre as diversas variáveis do modelo, ou seja, a contribuição do total de variáveis é a soma das contribuições individuais de cada uma das variáveis.
- Certeza: implica em que todos os parâmetros do sistema são constantes conhecidas, não se aceitando nenhuma incerteza de qualquer tipo.
- Divisibilidade: as variáveis devem ser números inteiros, não sendo possíveis valores fracionários.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se nesse capítulo as etapas do desenvolvimento da pesquisa, as mesmas são indicadas na Figura 4.1 e, em seguida, detalhadas.

Figura 4.1 – Fluxograma das etapas da pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo iniciou-se por meio de pesquisa bibliográfica, para avaliar as experiências de implantação de SPANP com fonte de águas cinzas em diferentes localidades, bem como para estabelecer a comparação de produção de água potável em macroescala em relação à produção de água não potável em microescala.

Na revisão bibliográfica apresentada nos capítulos 1, 2 e 3, buscou-se apresentar o referencial teórico sobre quais as informações quanto à ampliação de sistemas centralizados de produção de água potável deveriam ser considerados, bem como, quais características de SPANP poderiam produzir conclusões mais abrangentes. Além dessa análise, foi avaliada a formulação matemática apropriada para subsidiar

as simulações de cenários, informações essas que direcionaram o desenvolvimento da pesquisa.

4.2 COLETA DE DADOS

Pode-se dividir essa etapa entre a coleta de dados de um sistema descentralizado residencial na RMSP, e as informações sobre a ampliação do sistema centralizado de produção de água potável SPSL. Foi realizada a coleta de dados relativa aos custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas.

Destaca-se que os valores do sistema de tratamento de águas cinzas foram obtidos com diferentes referências de datas, sendo necessário corrigi-los, segundo os índices de inflação para apresentá-los na mesma moeda base, a data de maio de 2018. Os valores financeiros foram convertidos para a moeda dólar americano, devido a sua estabilidade, por se tratar da moeda de maior circulação global e de modo que os dados e resultados da pesquisa possam ser utilizados de forma mais ampla. Diferentemente do SPSL, cujo projeto, construção e operação são realizados de forma centralizada, a coleta de dados para modelar os custos associados a todo ciclo de vida do SPANP de águas cinzas envolveu o contato com diferentes pessoas que colaboraram com a disponibilização de dados e informações.

4.2.1 Coleta de dados do SPANP

A pesquisa de campo foi realizada para a obtenção de dados de um empreendimento residencial na cidade de São Paulo. Primeiramente, foram realizadas reuniões de trabalho junto a uma construtora com sede e foco de atuação na região Centro-Sul da cidade, e verificou-se a existência de um mercado de SPANP de águas cinzas estabelecido. Buscou-se um edifício já entregue com um histórico de operação desse sistema, e identificou-se um condomínio de torre única com quatro anos de operação à época. Com a identificação do edifício construído e entregue com os atributos selecionados, decidiu-se por sua escolha. A principal informação coletada diretamente da construtora foi o custo de aquisição e instalação do sistema de tratamento de águas cinzas do edifício.

Foram obtidos projetos, contratos e detalhes do empreendimento, junto à construtora, que permitiram o levantamento dos custos de implantação do sistema descentralizado individual. Em seguida realizou-se uma visita ao edifício para conhecimento do

sistema instalado e para a verificação das condições de operação do mesmo em relação ao projeto da época da construção. O relatório fotográfico da visita encontra-se no APÊNDICE A. Nessa visita estabeleceu-se contato com o síndico do condomínio, que contribuiu com a coleta de dados em relação os valores de operação e de manutenção do SPANP-R no edifício.

O edifício selecionado para a pesquisa trata-se de uma torre de quatorze andares e quatro apartamentos por andar, totalizando cinquenta e seis unidades. Cada apartamento tem duas suítes, dois dormitórios e um banheiro. Nos chuveiros e lavatórios desses três banheiros ocorre a captação das águas cinzas. Há também um banheiro na área social do apartamento e outro nas dependências de trabalhadores domésticos. Nesses dois últimos não ocorre à captação de águas cinzas.

A planta do apartamento e um detalhe do projeto hidráulico que apresenta a separação da captação das águas cinzas, do esgoto e do ponto de água não potável para o uso nas bacias sanitárias estão apresentados nas Figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

Figura 4.2 – Planta do apartamento, fontes de águas cinzas utilizadas e não utilizadas

Fonte: Construtora (2017), adaptado pelo autor

Figura 4.3 – Detalhe do projeto hidráulico das suítes do apartamento

Fonte: Construtora (2017), adaptado pelo autor

Estudos realizados por Rodrigues (2006) e Sant'Ana (2013), demonstraram que o consumo doméstico nos chuveiros foi de 30% e 23%, enquanto que nos lavatórios foi de 9% e 9,1% respectivamente.

Fazendo a simulação de uma condição desfavorável para avaliar o potencial de captação de águas cinzas, com a coleta na fração de $\frac{3}{4}$ nos chuveiros e $\frac{3}{5}$ nos lavatórios, ou seja, atribuindo-se a mesma frequência de utilização no chuveiro e lavatório do banheiro de serviço, bem como do lavatório na área social do apartamento, com os aparelhos das suítes e do banheiro dos dois dormitórios, ocorreria à captação de águas cinzas na proporção de 28% e 23% respectivamente.

Nesses dois estudos o consumo de água para a bacia sanitária foi de 20% e 15,3% respectivamente. Ou seja, há sobra na captação nesse cenário conservador.

A opção pelo uso de apenas parte das fontes de águas cinzas demonstra que há sobreoferta da mesma, prescindindo da captação total disponível. Decidiu-se então pela captação das águas cinzas dos locais com probabilidade de maior vazão.

As duas suítes compartilham um mesmo *shaft* de tubulações, havendo então uma otimização nas tubulações de descida, ou seja, três banheiros com captação de águas cinzas nos lavatórios e chuveiros e dois tubos de queda.

Além do uso em bacias sanitárias, o edifício utiliza a água não potável na rega dos jardins e na lavagem de pisos do condomínio. Para efeitos dessa pesquisa e com base nas referências apresentadas nesse capítulo, considera-se que as parcelas de consumo de água potável e não potável dos apartamentos é de 80% e 20% respectivamente, uma vez que não há medição de consumo do sistema de água não potável.

A capacidade de armazenamento dos reservatórios superiores é de 50 m³ e 13,6 m³, com as proporções de 79% e 21%, respectivamente indicando aproximadamente as parcelas esperadas de consumo, como mencionam Rodrigues (2006) e Sant'Ana (2013). A planta do sistema de tratamento do edifício é ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Planta do sistema de tratamento de águas cinzas do edifício

Fonte: Construtora (2017), adaptado pelo autor

Considerando o consumo *per capita* de 200 L/pessoa/dia em edifícios e a ocupação média de 4 pessoas por apartamento, obtêm-se uma população estimada de 224 pessoas no edifício e consequente demanda média de 8,96 m³/dia de água não potável. O sistema foi projetado para o tratamento da vazão de 15 m³/dia, essa informação pode ser consultada na proposta técnico-comercial do fornecedor do sistema para a construtora do edifício no ANEXO A.

Devido o reservatório superior de água não potável de 13,6 m³ e capacidade de tratamento do SPANP-R 67% superior à média, em termos de dimensionamento e, em condições normais de operação, esse sistema é capaz de atender a demanda de água não potável de pico, continuamente, sem necessitar da complementação de água potável.

Embora na visita ao condomínio, ter havido a confirmação de que a água não potável nas bacias sanitárias mantém sempre a cor azul, indicando funcionamento normal do sistema, em caso de falha, o reservatório superior seria abastecido com água potável da rede pública.

Os custos de implantação do sistema de tratamento de águas cinzas foram obtidos através da proposta de fornecimento e montagem dos equipamentos, cedida pela construtora do edifício para a pesquisa e apresentada no ANEXO A. Verifica-se que tal proposta contempla a instalação de equipamentos para o tratamento de água pluvial e de águas cinzas sem apresentar valores em separado.

Conforme a proposta técnico-comercial os equipamentos de desinfecção por ultravioleta (UV) são do sistema de tratamento de águas cinzas e, por essa razão, o valor relativo ao equipamento que realiza esse processo foi alocado integralmente nele. Para os tanques de material polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), calculou-se a área dos reservatórios dos dois sistemas em separado, que representa a quantidade de material empregado apenas em tanques, chegando-se na proporção de 72% para as águas cinzas e de 28% para as águas pluviais. Quanto os demais equipamentos e instalação, adotou-se a proporção 85% para as águas cinzas e de 15% para as águas pluviais devido a maior quantidade e complexidade de aparelhos e serviços do primeiro sistema representado nos projetos.

Desse modo, consideraram-se as seguintes divisões apresentadas na Tabela 4.1 e detalhadas em seguida.

Tabela 4.1 – Custos de instalação do SPANP do edifício residencial

Sistema	Custo total (R\$)	Água cinza (R\$)	Água pluvial (R\$)
Equipamentos águas cinzas e pluvial	48.500	41.225	7.275
Desinfecção por UV	6.500	6.500	---
Tanques – PRFV	25.000	18.049	6.951
Instalação	5.000	4.250	750

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Considerando-se que a empresa que importou e instalou os equipamentos utiliza tecnologia alemã, país cuja moeda corrente é o euro, foram necessárias operações para transformar os custos da proposta comercial. Essa tem a data de dezembro de

2010, contempla equipamentos importados, nacionais e serviços. Desse modo, os valores foram convertidos para a moeda dólar americano na data de maio de 2018.

Para os equipamentos e serviços nacionais, tais como tanques em PRFV e instalação, realizou-se a atualização dos valores segundo o indexador Índice Nacional de Custos da Construção Civil INCC calculado pela FGV, tendo ocorrido entre dezembro de 2010 e maio de 2018 o índice acumulado de 59,83% (PORTAL BRASIL, 2018).

Para a conversão para dólar americano na data de maio de 2018, utilizou-se a cotação real x dólar americano, que foi de R\$ 3,51 para US\$ 1 nessa data (INVESTING, 2018).

Para os equipamentos importados, primeiro realizou-se conversão dos valores da proposta comercial para euro utilizando-se a cotação real x euro de dezembro de 2010, que foi de R\$ 2,24 para € 1 (INVESTING b, 2017).

Em seguida, com o valor em euros, calculou-se a conversão dos valores para dólares americanos na data de maio de 2018 utilizando-se a cotação euro x dólar americano de maio de 2018, que foi de € 1 para US\$ 0,834 (INVESTING c, 2018), com as conversões, chegou-se nos valores em dólares americanos na data de maio de 2018, apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Custos de instalação do sistema de tratamento de águas cinzas - maio de 2018

Sistema	Água Cinza (US\$)
Equipamentos águas cinzas	22.061
Desinfecção	3.478
Tanques – PRFV	8.224
Instalação	1.937
Total	35.700

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

O sistema de tratamento das águas cinzas compõe-se de parte relevante dos custos de implantação de todo o conjunto do SPANP. No entanto, outra parcela significativa corresponde à infraestrutura necessária para separar, coletar e direcionar as águas cinzas ao sistema de tratamento e, em seguida, recalcar, armazenar e distribuir a água não potável aos apartamentos. Foram disponibilizados os projetos hidráulicos do edifício e, por meio desses, realizou-se o levantamento de quantidades da infraestrutura adicional de tubulações e de insumos necessários para a instalação do SPANP, conforme apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Levantamento de quantidades da infraestrutura adicional para a instalação do SPANP no edifício residencial

Obras civis	un	Quant.
<i>Base de apoio (0,75 mx3,15 mx1,8 m)</i>		
Concreto	m ³	4,25
Aço	Kg	425,25
Forma	m ²	7,43
<i>Reservatório superior</i>		
Concreto	m ³	15,00
Aço	Kg	1.500,00
Forma	m ²	7,43
<i>Tubulações - captação de águas cinzas - 2 suítes e quarto</i>		
Tubulação de diâmetro 100 mm	m	715
<i>Tubulações - recalque e distribuição de água não potável</i>		
Tubulação de diâmetro 32 mm	m	222
Tubulação de diâmetro 25 mm	m	142
Tubulação de diâmetro 19 mm	m	300
Tubulação de diâmetro 13 mm	m	12
Válvula redutora de pressão - 373 p/ 206 kPa - 1,85 L/s	un	2
Bomba de recalque - 1 L/s 696 kPa	un	1

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Com esses quantitativos, utilizou-se a referência do banco de dados do Sistema Nacional de Preços e Índices para Construção – SINAPI de maio de 2018 (SINAPI, 2018), divulgado pela Caixa Econômica Federal, para orçar a estrutura adicional que compõe o SPANP do edifício. Nessa data, a cotação real x dólar americano de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018) foi utilizada para a conversão. Os valores em dólares americanos na data de maio de 2018 estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Custos de instalação do sistema predial de coleta de águas cinzas, recalque e distribuição de água não potável - maio de 2018

(continua)

Obras civis	Cód. SINAPI	R\$/un	R\$ Total	US\$ Total
<i>Base de apoio (0,75 mx3,15 mx1,8 m)</i>				
Concreto	92.722	301,4	1.281	365
Aço	92.762	6,42	2.730	778
Forma	92.265	69,44	516	147
<i>Reservatório superior</i>				
Concreto	92.722	301,4	4.521	1.289
Aço	92.762	6,42	9.630	2.745
Forma	92.265	69,44	516	147
<i>Tubulações - 2 suítes e quarto</i>				
Tubulação de diâmetro 100 mm	89.714	46,86	33.504	9.552
<i>Tubulações - água não potável</i>				
Tubulação de diâmetro 32 mm	91.786	22,31	4.953	1.412
Tubulação de diâmetro 25 mm	91.785	37,71	5.355	1.527

Tabela 4.4 – Custos de instalação do sistema predial de coleta de águas cinzas, recalque e distribuição de água não potável - maio de 2018

(conclusão)

Obras civis	Cód. SINAPI	R\$/un	R\$ Total	US\$ Total
Tubulação de diâmetro 19 mm	91.784	38,21	11.463	3.268
Tubulação de diâmetro 13 mm	regressão linear	38,71	465	132
Válv. red. de press. - 373 p/ 206 kPa	50% 83.644	2.328	4.656	1.328
Bomba de recalque - 1 L/s 696 kPa	83.644	4.656	4.656	1.328
Total (US\$)			84.246	24.018

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Os custos operacionais podem ser divididos entre a visita semanal de monitoramento do sistema, realizada pela empresa detentora da tecnologia que a instalou, cujo contrato encontra-se no ANEXO B, o trabalho do zelador estimado pela mesma empresa em 10 horas por mês e o consumo de energia elétrica para o funcionamento do sistema, além da manutenção corretiva.

O contrato de visita semanal para monitoramento do sistema, assinado em dezembro de 2013, prevê o valor mensal de R\$ 1.400,00. Para trazer esse valor para a data base de maio de 2018, conforme o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), indicador do contrato de manutenção, aplicou-se a correção de 26,42% (PORTAL BRASIL, 2018b), chegando-se no total mensal de R\$ 1.770,00. Para a conversão para dólar americano na data de maio de 2018, utilizou-se a cotação real x dólar americano, que foi de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018), chegando-se no custo mensal de US\$ 505.

Quanto aos custos de zeladoria do condomínio, utilizou-se como referência o salário base da categoria, conforme a Convenção Coletiva de Trabalho do Sindicato dos Trabalhadores em Edifícios e Condomínios de São Paulo Sindifícios-SP (2018). Considerando as 10 h previstas, chegou-se no custo mensal de R\$ 145, e aplicando o mesmo câmbio, obtém-se o custo mensal de US\$ 41.

O consumo de energia para operação do sistema é relativamente baixo, e foi estimado em até 600kWh/mês, conforme a proposta técnico-comercial do fornecedor do sistema apresentado no ANEXO A. A tarifa residencial, classificada como grupo B1, modalidade convencional, em maio de 2018 era de R\$ 0,41961/kWh (ANEEL, 2017) em São Paulo.

A ANEEL, a partir do ano de 2015, passou a utilizar o sistema de bandeiras tarifárias para equilibrar, de forma mais eficiente, a oferta e demanda de energia elétrica. Os custos de produção variam, principalmente, em função da situação dos reservatórios das hidroelétricas e consequentemente a necessidade de despacho das termoeletricas, que são a fonte de energia mais cara da matriz elétrica nacional. A intenção deste modelo de tarifa é desincentivar a ampliação do consumo, através de maiores tarifas, quando a situação hidrológica é adversa.

Atualmente este sistema trabalha com quatro faixas:

- a primeira faixa é chamada de bandeira verde, que ocorre quando o sistema elétrico trabalha em condições favoráveis de oferta e, portanto, não há acréscimo na tarifa;
- a faixa seguinte é a bandeira amarela, que sinaliza aos consumidores condições menos favoráveis de oferta e a TE sofre acréscimo de R\$ 10/MWh;
- o próximo estágio corresponde à bandeira vermelha patamar 1, que significa condições mais adversas e custosas na oferta, e a TE é aumentada em R\$ 30/MWh;
- a última faixa é a bandeira vermelha patamar 2, que representa a condição mais desfavorável para o consumo, nessa condição a TE é acrescida em R\$ 50/MWh (ANEEL, 2018).

O efeito nos custos advindos dessa nova modalidade de tarifação foi simulado. O histórico do adicional na tarifa advindo das bandeiras tarifárias está disponível desde a data de janeiro de 2015, quando o sistema teve início, e foi levantado até a data de maio de 2018. Neste período houve um acréscimo médio na TE de R\$ 0,02537/kWh (ANEEL, 2018b, 2018c e 2018d). Dessa forma o valor da tarifa considerando esse efeito, é de R\$ 0,44498/kWh, e o custo da energia elétrica é de R\$ 266,99/mês.

Apesar do contrato de operação ter iniciado em dezembro de 2013, o sistema opera desde julho de 2012. São previstas manutenções relativas ao desgaste natural do equipamento a cada 4 anos e, de acordo com o síndico do edifício, esse evento totalizou US\$ 3.322. Os valores de operação e manutenção encontram-se resumidos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Custos de operação e manutenção do SPANP de águas cinzas do edifício residencial

Operação	Periodicidade	US\$
Operação e monitoramento	Mensal	505
Zeladoria	Mensal	41
Energia elétrica	Mensal	76
Manutenções programadas		
Colmeias e revisão	4 anos	3.322

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Na Tabela 4.6 estão apresentados, de forma resumida, os custos de implantação, operação e manutenção. Os valores que ocorrerem em diferentes periodicidades foram transformados para a base anual.

Tabela 4.6 – Resumo dos custos de implantação, operação e manutenção do SPANP

Custos de implantação	US\$
Custo do sistema de tratamento	35.700
Custo das tubulações no edifício	24.018
Total implantação	59.718
Custos de operação - anual	US\$
Contrato de operação e inspeções	6.055
Zelador	495
Energia elétrica	913
Total operação - anual	7.463
Custos de manutenção - anual	US\$
Manutenção das colmeias e revisões	831
Total manutenção - anual	831

Fonte: elaborado pelo autor

4.2.2 Coleta de dados do SPSL

No período de 2014 a 2018 foi programada a construção do SPSL, cujo marco de início da contabilização do prazo contratual da concessão foi a data de 18/04/2014. As informações quanto à implantação do novo sistema foram obtidas desse contrato público, que corresponde a uma concessão administrativa via Parceria Público-Privada.

O contrato disciplina os trabalhos de execução de projetos básicos e executivos, obtenção de licenças e autorizações nos âmbitos municipal, estadual e federal, a construção e, após o início da operação, a prestação dos serviços de manutenção

eletromecânica e civil, vigilância e segurança patrimonial das estruturas do empreendimento.

O prazo do contrato é de 25 anos, o mesmo estabelece que a construção ocorra em um período de 4 anos e 8 meses, e a manutenção do sistema nos 20 anos e 4 meses seguintes. O custeio do escopo do contrato ocorre por meio do pagamento de contraprestação mensal no valor de R\$ 24.378.101,49, com a primeira parcela iniciando-se com a operação do sistema. Nas 248 parcelas de contraprestação, o contrato soma R\$ 6.045.769.169,52 (LEIFERT, 2016). As parcelas serão corrigidas de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor - IPC divulgado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FIPE (EDITAL DE CONCORRÊNCIA INTERNACIONAL SABESP CSS Nº 16.402/2012).

Para a conversão de real para dólar americano na data de maio de 2018, utilizou-se a cotação real x dólar americano, que foi de R\$ 3,51 para US\$ 1 nessa data (INVESTING, 2018). Encontrou-se o valor da contraprestação mensal de US\$ 6.950.080, e no período total do contrato somando US\$ 1.723.619.902.

Como o valor total do contrato foi previsto ocorrer por 20 anos e 4 meses, há uma grande diferença no perfil de desembolso desse investimento em relação à implantação do SPANP do edifício residencial avaliado nessa pesquisa, em que o desembolso ocorre em curto prazo de tempo. Dessa forma, para que os fluxos financeiros sejam equivalentes, realizou-se o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) do contrato de construção do SPSL.

Primeiramente verificou-se que o investimento de menor risco indexado à inflação na economia brasileira para uma aplicação de 20 anos na data de fechamento do contrato em abril de 2014, era o título público NTN-2035, que estava cotado à IPCA+6,81% ao ano (TDCHART, 2017). Trazendo todas as 248 parcelas do contrato ao valor presente, descontadas a taxa de 6,81% ao ano ou de 0,55% ao mês, o contrato tem um VPL de US\$ 944.102.281 na data de abril de 2014, e trazendo o valor para maio de 2018 através da aplicação do índice de inflação IGP-M de 22,33% no período (PORTAL BRASIL, 2018b), o contrato tem um VPL de US\$ 1.154.931.783 em maio de 2018.

Para o gerenciamento e acompanhamento do desempenho das obras do SPSL, de acordo com os procedimentos da SABESP, foi realizada uma licitação e contratação de empresa pelo valor de R\$ 80.233.534,77. Esse valor é distribuído no período de construção do empreendimento, conforme o Diário Oficial do Estado de São Paulo (DOSP) de 1º de abril de 2014. Utilizando-se a mesma cotação real x dólar americano na data de maio de 2018, de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018) e o índice de inflação de 22,33%, chegou-se no valor de US\$ 27.982.283 desse contrato.

Um fator que não pode ser desprezado nas redes de distribuição de água potável são as perdas do sistema. O Índice de Perdas na Distribuição (IDP) considera todas as perdas desde a saída da Estação de Tratamento de Água (ETA) até o ponto de entrega ao consumidor final, e é calculado conforme a Equação (4.1):

$$IDP = \frac{\text{Vol. de água (Produzido + Tratada importada - Limpeza)} - \text{Consumido}}{\text{Vol. de água (Produzido + Tratada importada - Limpeza)}} \quad (4.1)$$

De acordo com os dados do SNIS (2015) o IDP dos municípios do SIM, que são operados pela SABESP e demais empresas municipais de saneamento foi de 33,0%, conforme apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – IDP no sistema interligado metropolitano

(continua)

Municípios do SIM	Informações operacionais - volumes de água			
	Produzida	Limpeza	Tratada importada	Consumida
	Unidade - 1.000 m³/ano			
Operados pela SABESP				
Arujá	0	7	5.104	4.029
Barueri	605	192	25.523	15.770
Caieiras	0	279	5.441	3.731
Carapicuíba	0	5.094	24.860	15.821
Cotia	455	231	18.514	11.435
Diadema	0	254	32.294	18.213
Embú das Artes	0	1.157	17.404	9.679
Embu-Guaçu	1.267	189	4.080	2.037
Ferraz de Vasconcelos	0	816	8.795	6.834
Francisco Morato	0	1.974	10.527	5.524
Franco da Rocha	937	584	7.060	5.931
Itapecerica da Serra	76	1.034	11.026	5.630
Itapevi	617	344	16.138	7.783
Itaquaquecetuba	0	1.113	23.259	12.538

Tabela 4.7 – IDP no sistema interligado metropolitano

(conclusão)

Municípios do SIM	Informações operacionais - volumes de água			
	Produzida	Limpeza	Tratada importada	Consumida
	Unidade - 1.000 m³/ano			
Jandira	0	324	9.272	4.440
Osasco	0	6.551	58.365	33.310
Poá	0	241	5.119	4.640
Ribeirão Pires	0	54	6.851	4.523
Rio Grande da Serra	0	84	2.166	1.541
São Bernardo do Campo	1.038	9.433	76.495	42.193
São Paulo	933	99.823	996.333	622.562
Suzano	0	779	17.028	11.455
Taboão da Serra	0	3.520	20.946	11.958
Vargem Grande Paulista	0	0	2.740	1.746
Não operados pela SABESP				
Guarulhos	10.947	120	82.212	65.663
Mauá	0	0	30.290	15.591
Mogi das Cruzes	22.742	516	16.295	19.712
Santo André	3.382	13	57.543	38.726
São Caetano do Sul	32	606	13.943	11.236
Total	43.033	135.330	1.605.622	1.014.251
Índice de perdas na distribuição	33,0%			

Fonte: SNIS (2015), adaptado pelo autor

Dessa forma, da captação média anual de 4,7 m³/s previstas para o SPSL, estarão disponíveis à população 3,1 m³/s, considerando-se as perdas na distribuição, uma vez que esse sistema será conectado ao SIM. Esse fator deve ser considerado na comparação entre os sistemas, pois contrariamente as perdas do SPANP-R são insignificantes.

Ainda conforme o SNIS (2015), o consumo médio diário de água por habitante da população no SIM no ano de 2015 foi de 138,4 L, conforme apresentado na Tabela 4.8.

Com os valores do consumo *per capita* e o IDP no SIM, pode-se concluir que nessa região foram produzidos 206,5 L/hab.dia para o consumo efetivo de 138,4 L/hab.dia.

Tabela 4.8 – Consumo *per capita* de água no sistema interligado metropolitano

Municípios do SIM	Volume total consumido	População atendida com abastecimento de água	Consumo <i>per capita</i>
	1.000 m³/ano	Habitantes	L/hab.dia
Operados pela SABESP			
Arujá	4.029	83.939	133,3
Barueri	15.770	262.275	167,0
Caieiras	3.731	92.943	111,5
Carapicuíba	15.821	392.294	112,0
Cotia	11.435	227.972	139,3
Diadema	18.213	412.428	122,7
Embú das Artes	9.679	259.845	103,5
Embu-Guaçu	2.037	52.929	106,9
Ferraz de Vasconcelos	6.834	178.203	106,5
Francisco Morato	5.524	154.105	99,6
Franco da Rocha	5.931	139.028	118,5
Itapecerica da Serra	5.630	151.003	103,6
Itapevi	7.783	209.883	103,0
Itaquaquecetuba	12.538	344.337	101,1
Jandira	4.440	118.832	103,8
Osasco	33.310	694.844	133,2
Poá	4.640	113.793	113,3
Ribeirão Pires	4.523	107.577	116,8
Rio Grande da Serra	1.541	41.206	103,9
São Bernardo do Campo	42.193	816.925	143,5
São Paulo	622.562	11.872.082	145,7
Suzano	11.455	285.280	111,5
Taboão da Serra	11.958	272.177	122,0
Vargem Grande Paulista	1.746	45.049	107,7
Não operados pela SABESP			
Guarulhos	65.663	1.322.637	137,9
Mauá	15.591	444.220	97,5
Mogi das Cruzes	19.712	391.272	139,9
Santo André	38.726	708.000	151,9
São Caetano do Sul	11.236	158.024	197,5
Total	1.014.251	20.353.102	138,4

Fonte: SNIS (2015), adaptado pelo autor

Quanto os custos de operação do SPSL, uma das parcelas mais significativas corresponde às despesas com energia elétrica. A regulação do setor elétrico determina variados tipos de tarifas para as diferentes classes de consumidores. No

caso do SPSL pode-se optar pelas tarifas azul ou verde do subgrupo A3a, sendo a primeira a preferencial para o saneamento, por implicar em menores custos.

O SPSL foi projetado com três reservatórios de acumulação de água bruta (RCABs), somando uma capacidade de armazenamento de 75.000 m³. Reservação essa para permitir a interrupção do bombeamento nas três horas de pico de consumo de energia, e de forma a obter o benefício de redução da tarifa horo-sazonal.

A vazão do sistema de bombeamento para o funcionamento nas vinte e uma horas fora de ponta é de 6 m³/s.

A tarifa de energia, nessa modalidade, é composta por seis parcelas:

- Demanda de ponta (R\$/kVA);
- Demanda fora de ponta (R\$/kVA);
- Tarifa do uso do sistema de distribuição (TUST) de ponta (R\$/MWh);
- TUST fora de ponta (R\$/MWh);
- Tarifa de Energia (TE) de ponta (R\$/MWh);
- TE fora de ponta (R\$/MWh).

O cálculo da potência para a determinação da parcela da demanda (kW) do sistema de bombeamento apresenta-se na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Cálculo da potência do sistema de bombeamento

Parâmetro	Unidade	Quantidade
Cota da sucção	m	635
Cota da elevação	m	965
Altura manométrica planialtimétrica	m	330
Perda de carga	m	60
Altura manométrica Total (H)	m	390
Vazão sistema de bombeamento (Q)	L/s	6.000
Rendimento da bomba η_{bomba}		0,75
Potência da bomba	cv	$\frac{H \times Q}{75 \times \eta}$
Potência da bomba	cv	41.600
Rendimento do motor η_{motor}		0,9
Potência real do motor	cv	46.222
Potência real do motor	kW	34.020
Fator de potência		0,86
Potência aparente do motor	kVA	39.558

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Em seguida, é necessário calcular as horas no mês em que o sistema opera no horário de pico, ou na ponta, e fora do horário de pico. Na Tabela 4.10 encontram-se apresentados os cálculos.

Tabela 4.10 – Cálculo de horas na ponta e fora da ponta

Código	Parâmetro	Unidade	Fórmula	Valor
(a)	Quantidade de dias médios em um ano	dia	-	365,25
(b)	Quantidade de dias médios em um mês	dia	(a)/12	30,44
(c)	Número de domingos médios em um mês	un.	(b)/7	4,35
(d)	Dias úteis no mês - inclui sábados	dia	(b) – (c)	26,09
(e)	Horas na ponta (3 horas nos dias úteis)	hora	(d)x3	78,27
(f)	Horas fora da ponta	hora	(b)x24 – (e)	652,23

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

O custo da conta de energia elétrica do SLSP foi calculado e encontra-se apresentado na Tabela 4.11 de acordo com as tarifas da ELETROPAULO (2018). O efeito nos custos advindos da nova modalidade de tarifação pelas bandeiras tarifárias também foi considerado.

Tabela 4.11 – Custo mensal do SPSL com energia elétrica

Tarifa Azul Vigência até 3/7/2018	Sub- grupo A4	Custo histórico bandeira	Potência (kW)	Horas	MWh/ mês	Custo (R\$)
Demanda			39.558			
Ponta (R\$/KW)	16,64			-		658.239
Fora de Ponta (R\$/KW)	10,77			-		426.036
Consumo na ponta						
TUSD (R\$/MWh)	36,77			78,3	3.096	113.843 01
TE (R\$/MWh)	348,99	25,37				
Consumo fora da ponta						
TUSD (R\$/MWh)	36,77			652,2	25.801	948.694 6.558.960
TE (R\$/MWh)	228,85	25,37				
Custo mensal total (R\$)						8.705.772

¹Sem consumo no horário de ponta

Fonte: elaborado pelo autor com dados da ELETROPAULO e ANEEL (2018)

O valor mensal de R\$ 8.705.772 equivale à US\$ 2.481.974, e em um ano soma US\$ 29.783.687, considerando a cotação real x dólar americano na data de maio de 2018, de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018).

De acordo com Haguiuda *et al.* (1996), os sistemas operados pela SABESP na RMSP, consomem aproximadamente 90% da energia com motores, e 10% com serviços auxiliares e iluminação. Dessa forma, é possível estimar um custo anual de US\$ 3.309.299 das demais despesas com eletricidade na produção de água pelo SPSL.

Os demais custos de operação e manutenção do SPSL foram obtidos através da agência reguladora de saneamento e energia do estado de São Paulo (ARSESP).

A ARSESP calcula anualmente os reajustes a serem aplicados nas tarifas de água e esgoto, através da avaliação da evolução de cada parcela de receitas e despesas da SABESP, de forma a encontrar as tarifas que remuneram adequadamente a prestação do serviço de acordo com a regulação vigente.

Os custos operacionais de todas as atividades da SABESP, calculados para o ano de 2018 (ARSESP, 2018), encontram-se apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Custos operacionais da SABESP para o ano de 2018

Descrição	Custos (R\$)
Pessoal	2.164.934.688
Materiais gerais	239.523.435
Materiais de tratamento	296.756.131
Serviços de terceiros	1.461.859.882
Energia	992.027.571
Despesas gerais	486.029.698
Total	5.641.131.405

Fonte: ARSESP (2018), adaptado pelo autor

Os custos operacionais advêm de seis grupos, quais sejam: produção de água, distribuição de água, coleta de esgoto, tratamento de esgoto, administração central e comercial. Avaliando-se apenas o grupo de produção de água da regional metropolitana que atende a RMSP e corresponde a 68,7% do volume de água total produzido pela SABESP, as despesas operacionais encontram-se apresentados na Tabela 4.13.

De acordo com a ARSESP (2018), esses custos operacionais decorrem da projeção de produção anual na regional metropolitana do volume bruto de água 1.905.300.859

m³. Logo, os custos operacionais anuais da produção de água e excluindo-se os custos com energia elétrica, são de R\$ 0,24/m³.

Tabela 4.13 – Custos operacionais de produção de água pela SABESP na região metropolitana, para o ano de 2018

Descrição	Custos (R\$)
Pessoal	195.965.470
Materiais gerais	21.362.318
Materiais de tratamento	130.611.205
Serviços de terceiros	66.632.445
Energia	368.420.620
Despesas gerais	35.906.908
Total	818.898.966
Total sem despesa de energia	450.478.346

Fonte: ARSESP (2018), adaptado pelo autor

Assumindo que o novo SPSL apresentará custos operacionais semelhantes de pessoal, materiais gerais e de tratamento, serviços de terceiros e despesas gerais, em relação os sistemas da regional metropolitana da SABESP, com uma produção média de 4,7 m³/s, ou 148.219.200 m³/ano, o custo operacional anual do SPSL, excluindo a conta de energia, é estimado em R\$ 35.044.092, ou US\$ 9.990.903 considerando a cotação real x dólar americano na data de maio de 2018, de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018).

Existem outros custos envolvidos na concepção e construção do SPSL cujos valores não se encontram plenamente quantificados, tais como os trabalhos para a emissão da licença prévia, a elaboração do projeto referencial de alternativas do edital, as desapropriações e a disponibilização de mão de obra do corpo técnico da SABESP dedicados ao empreendimento.

Outra questão importante quanto à adoção de SPANP é que, além da redução do consumo de água potável, essa alternativa reduz a produção de esgoto e, conseqüentemente, a sua demanda de tratamento. A RMSP não conta com coleta e tratamento de esgoto universalizado. Na cidade de São Paulo são tratados 55,5% do esgoto produzido (SNIS, 2015) e a nova adução adicionará aproximadamente 3,8 m³/s, ou 324.864 m³/dia, de esgoto assumindo um coeficiente de retorno de 80% (HESPANHOL, 2015).

Além da questão quantitativa do adicional de tratamento de esgotos, Matos *et al.* (2014) avaliaram que o tratamento de águas cinzas de forma descentralizada para a utilização em fins não potáveis é significativamente mais eficiente em termos de emissão de CO₂ e consumo de energia do que o tratamento centralizado de esgotos.

Na RMSP o modelo utilizado nas grandes Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) é por lodos ativados (SABESP, 2018e). Reami (2011) avaliou que o custo unitário de implantação desse tipo de ETE é aproximadamente R\$ 625/m³.dia, atualizado para a data base de maio de 2018 pelo INCC (PORTAL BRASIL, 2018), isto resulta na necessidade de investimentos em uma ETE da ordem de R\$203.000.000.

Nunes (2005) apresentou estimativa de custo de implantação de ETE de lodo ativado de R\$132/hab. atualizado para a data base de maio de 2018 pelo INCC (PORTAL BRASIL, 2018), essa estimativa resulta em investimentos da ordem de R\$ 260.000.000.

Considerando-se o valor médio das duas referências, estima-se um custo de R\$ 231.500.000, equivalente a US\$ 65.999.543 pela cotação real x dólar americano na data de maio de 2018, de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018), para a implantação ou ampliação da estrutura para o tratamento de esgotos advindos do fluxo adicional do efluente.

Os custos operacionais do tratamento de esgoto calculados pela ARSESP (2018) na regional metropolitana, que correspondem a 59,9% do volume total de esgoto tratado pela SABESP, encontram-se apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Custos operacionais de tratamento de esgoto pela SABESP na região metropolitana, para o ano de 2018

Descrição	Custos (R\$)
Pessoal	94.500.417
Materiais gerais	15.388.100
Materiais de tratamento	26.805.634
Serviços de terceiros	75.540.700
Energia	72.100.584
Despesas gerais	11.461.020
Total	295.796.456

Fonte: ARSESP (2018), adaptado pelo autor

De acordo com a ARSESP (2018), esses custos operacionais decorrem da projeção de tratamento na regional metropolitana do volume anual de 700.639.831 m³ de esgoto. Logo, os custos operacionais do tratamento de esgoto, são de R\$ 0,42/m³.

Assumiu-se que as novas estruturas para o tratamento do esgoto advindos do afluxo adicional do SPSL apresentará custos operacionais semelhantes de pessoal, materiais gerais e de tratamento, serviços de terceiros, energia e despesas gerais, em relação às ETEs em operação da regional metropolitana da SABESP.

Dessa forma, com uma média de tratamento de 3,8 m³/s, ou 118.575.360 m³/ano, o custo operacional anual advindo do aumento da necessidade de tratamento de esgoto pelo SPSL, é estimado em R\$ 50.060.201, ou US\$ 14.271.941 considerando a cotação real x dólar americano na data de maio de 2018, de R\$ 3,51 para US\$ 1 (INVESTING, 2018). Desse valor total, US\$ 3.478.795 são relativos a despesas com energia elétrica, e US\$ 10.793.146 os demais custos.

Na Tabela 4.15 estão apresentados, de forma resumida, os custos de implantação, operação e manutenção.

Tabela 4.15 – Resumo dos custos de implantação, operação e manutenção do SPSL

Custos de implantação	US\$
Contrato principal de construção do SPSL	1.154.931.783
Contrato de gerenciamento das obras	27.982.283
Ampliação da capacidade de tratamento de esgotos	65.999.544
Total implantação	1.248.913.611
Custos de operação e manutenção - anual	US\$
Energia - recalque para produção	29.783.687
Produção de água	9.990.903
Energia - sistemas auxiliares na produção de água	3.309.299
Tratamento de esgoto adicional produzido	10.793.146
Energia - processos de tratamento de esgoto	3.478.795
Outorga do uso da água	1.282.928
Total operação e manutenção - anual	58.638.759
91,5% - Custos de operação	53.659.108
8,5% - Custos de manutenção	4.979.651

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

4.3.1 Variáveis do modelo

O modelo matemático, com objetivo de encontrar o menor custo total acumulado entre o SPSL e o SPANP de águas cinzas, foi formulado para a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema que deve ser priorizado.

Os custos do SPANP de águas cinzas a ser inserido no modelo são divididos em três variáveis que correspondem aos custos de implantação, operação e manutenção. No SPSL são as mesmas variáveis, sendo que o valor de implantação é composto pelas parcelas de contraprestação mensal, custos do trabalho de gerenciamento das obras e custos com as obras de ampliação da capacidade de tratamento de esgotos. Os valores de operação e de manutenção contemplam participações dos custos de energia elétrica, despesas com a produção de água, o tratamento de esgoto adicional produzido e a outorga do uso da água da bacia que cede os recursos hídricos.

4.3.2 Ajuste de parâmetros do modelo

O condomínio residencial avaliado na etapa de coleta de dados corresponde a um edifício único, representando, portanto, um SPANP descentralizado individual. De acordo com Dias (2017), os SPANP descentralizados em grupo e os centralizados apresentam maior viabilidade econômica em relação aos descentralizados individuais.

De forma a avaliar o ganho de eficiência decorrente do aumento de escala dessas configurações adicionais, foi realizada a simulação dos custos de implantação do SPANP para atender cento e doze apartamentos e quinhentos e sessenta apartamentos, ou seja, dois e dez edifícios iguais ao edifício da coleta de dados respectivamente.

Dois edifícios compartilhando o sistema de tratamento de águas cinzas correspondem ao sistema descentralizado em grupo e dez edifícios compartilhando as estruturas de tratamento de águas cinzas, correspondem ao sistema centralizado.

Para realizar essa simulação, considerou-se que o aumento de custos das estruturas necessárias ao maior volume de tratamento, é proporcional ao aumento de custo dos reservatórios que constituem o sistema e esses guardam relação direta com a área, composta pelo piso, lateral e teto. O sistema descentralizado em grupo precisa de

reservatórios com o dobro do volume do sistema descentralizado individual e o sistema centralizado necessita de tanques com capacidade dez vezes maiores.

As instalações prediais de tubulações dos edifícios para a captação de águas cinzas e para a distribuição de água não potável não apresentam ganhos em função da escala do sistema. Com essas premissas, estimaram-se os custos de implantação dos três sistemas que se encontram resumidos na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Custos de instalação de SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual

Número de Edifícios	1		2		10	
	(US\$)		(US\$)		(US\$)	
Custo do sistema de tratamento	35.700	(a)	60.979	(ax1,71)	235.371	(ax6,59)
Custo das tubulações no edifício	24.018	(b)	48.037	(bx2,00)	240.183	(bx10,0)
Custo total do SPANP	59.718	(c)	109.016	(cx1,83)	475.554	(cx7,99)

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

De acordo com Oliveira (2004), o custo unitário de implantação de sistemas de tratamento de efluentes decresce conforme se aumenta a escala. No estudo que avaliou oito diferentes sistemas de tratamento, todos apresentaram decréscimo com o aumento da população atendida. Os dados obtidos na pesquisa encontram-se resumidos na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Custo unitário de implantação de sistemas de tratamento em função da população atendida

		Sistema								Média
		A	B	C	D	E	F	G	H	
População	1x	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%
	2x	84%	92%	72%	94%	86%	95%	74%	91%	86,0%
	5x	75%	86%	57%	97%	75%	92%	59%	85%	78,2%
	6,7x	71%	84%	52%	97%	72%	90%	54%	82%	75,3%

Fonte: OLIVEIRA (2004), adaptado pelo autor

A média dos efeitos de ganho de escala pode ser aproximada através da função matemática $Y = 0,9805X^{-0,148}$, onde X representa a divisão entre a população em estudo e a população inicial, e Y representa a fração do custo unitário de implantação em relação ao sistema que atende a menor população. A correlação entre as variáveis encontra-se apresentada na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Custo unitário de implantação x População atendida

Fonte: OLIVEIRA (2004), adaptado pelo autor

Considerando a correlação verificada nesse estudo, o custo de implantação de um sistema de tratamento para dois edifícios, teria valor unitário de 88,5% em relação a um edifício e em dez edifícios o custo unitário seria 69,7%. Em termos absolutos, para dois e dez edifícios, o custo de implantação seria então de 1,77 e 6,97 vezes superior ao custo de implantação em um edifício, respectivamente. Valores esses próximos ao encontrados na simulação realizada, que resultou nos valores absolutos 1,71 e 6,59 superiores em relação ao custo de implantação em um edifício.

Em relação aos custos de operação e manutenção, também é esperado um ganho de eficiência em custo quando ocorre o compartilhamento do sistema. Hernandez *et al.* (2006), avaliaram custos de operação e manutenção em estações de tratamento de água para reúso e as mesmas apresentam redução nos valores unitários em função de ganhos de escala, conforme o porte do sistema aumenta. Os dados obtidos na pesquisa encontram-se resumidos na Tabela 4.18.

Os efeitos de ganho de escala quanto aos custos unitários de operação podem ser também representados através da função matemática $Y = 0,9718X^{-0,263}$, e quanto aos de manutenção pela função $Y = -0,154\ln(X) + 1,0247$ em que o eixo X representa a relação entre a população em estudo e a população inicial, e o eixo Y representa a fração do custo unitário de operação em relação ao sistema que atende a menor população. A correlação entre as variáveis encontra-se apresentada nas Figuras 4.6 e 4.7.

Tabela 4.18 – Custo unitário de operação e manutenção de estação de tratamento de efluente para reúso, em função da população atendida

		Custo unitário	
		Operação	Manutenção
População	1x	100%	100%
	5x	62%	82%
	10x	50%	68%

Fonte: HERNANDEZ (2006), adaptado pelo autor

Figura 4.6 – Custo unitário de operação x População atendida

Fonte: elaborado pelo autor (2018) a partir de Hernandez *et al.* (2006)

Figura 4.7 – Custo unitário de manutenção x População atendida

Fonte: elaborado pelo autor (2018) a partir de Hernandez *et al.* (2006)

De acordo com essas correlações e de modo a simular os ganhos de escala nos custos de operação e manutenção, relativos ao sistema descentralizado em grupo e centralizado, realizaram-se estimativas de valores.

Nos custos de operação, indicados pelas letras (a), (b) e (c) na Tabela 4.19, o aumento da escala promove redução de valores atingindo 81% e 53% do custo unitário para dois e dez edifícios, respectivamente, em relação ao edifício de torre única. Quanto às despesas de manutenção, indicada pela letra (d) na Tabela 4.19, a maior escala resulta em redução de valores atingindo as proporções de 92% e 67% do custo unitário para dois e dez edifícios, respectivamente, em relação ao edifício de torre única.

Tabela 4.19 – Custos de operação e manutenção em base anual de SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual

Quantidade de edifícios	1		2		10	
Operação	US\$		US\$		US\$	
Operação e monitoramento	6.055	(a)	9.808	(ax1,62)	32.115	(ax5,3)
Zelador	495	(b)	802	(bx1,62)	2.627	(bx5,3)
Energia elétrica	913	(c)	1.479	(bx1,62)	4.842	(bx5,3)
Manutenções programadas						
Colmeias e revisão	831	(c)	1.525	(cx1,84)	5.566	(cx6,7)

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Em relação ao consumo de energia necessário para o recalque da água não potável ao reservatório superior do edifício, o recalque de 100% de água potável nos edifícios que não possuem SPANP, ou 80% de água potável e 20% de água não potável para um reservatório separado, nos edifícios que possuem SPANP, o volume total bombeado é o mesmo. No entanto, duas bombas para 80% e 20% da vazão total, têm comportamento e consumos diferentes da bomba para recalque de 100%, sobretudo no acionamento.

As bombas para recalque de água em sistemas prediais, não são projetadas para cada edifício. Contrariamente, o projetista hidráulico seleciona o modelo de bomba que melhor se adequa à altura manométrica e a vazão de trabalho requerida, dado as opções disponibilizadas pelos fabricantes. Dessa forma, por simplificação, considera-se que a divisão de vazões a serem recalçadas para os reservatórios superiores tem efeito neutro quanto o rendimento das bombas e no consumo de energia.

4.3.3 População atendida em cada sistema

Avaliando-se primeiramente a população atendida em cada sistema, considerou-se que o apartamento do edifício da coleta de dados abriga, em média, uma família de 4 pessoas. Dessa forma, com cada edifício contendo 56 apartamentos, a população do condomínio é de 224 pessoas para o sistema descentralizado individual, 448 pessoas no sistema descentralizado em grupo com dois edifícios e 2.240 pessoas no sistema centralizado de dez edifícios.

Conforme discutido no capítulo 2, como a parcela de água que pode ser substituída por fonte não potável nas residências representa cerca de 20% do total de água consumida, pode-se calcular a população equivalente atendida exclusivamente pelo SPANP-R como sendo 45 pessoas, 90 pessoas e 448 pessoas respectivamente.

O SPSL tem uma produção média de 4.700 L/s, descontando-se o IDP do SIM de 33%, e considerando-se o consumo médio diário da população do SIM de 138,4 L/hab.dia, a ampliação do sistema de produção de água potável atenderá uma população de 1.966.131 habitantes. Essas informações encontram-se resumidas na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 – População equivalente atendida pelos sistemas

	P_i	Tipo de sistema	População equivalente atendida (pes)
SPANP	P_1	Descentralizado individual	45
	P_2	Descentralizado em grupo	90
	P_3	Centralizado	448
	P_4	SPSL	1.966.131

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

4.3.4 Formulação do modelo

O modelo foi formulado para a realização de simulações em diferentes cenários. Estabeleceu-se que as variáveis de decisão X_{ij} refletem a quantidade de sistemas a serem instalados para atender uma determinada população. Sendo i o tipo de tratamento ($i = 1, 2, \dots, n$) e j representa o tipo de custo de um determinado sistema ($j = 1, 2, \dots, k$). Os valores de i e j variam de acordo com o tipo de tratamento e o tipo de custo relacionado ao sistema. Dessa forma, as variáveis de decisão do modelo são:

- X_{11} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 1, relacionada ao custo de implantação.
- X_{12} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 1, relacionada ao custo de manutenção.
- X_{13} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 1, relacionada ao custo de operação.
- X_{21} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 2, relacionada ao custo de implantação.
- X_{22} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 2, relacionada ao custo de manutenção.
- X_{23} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 2, relacionada ao custo de operação.
- X_{31} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 3, relacionada ao custo de implantação.
- X_{32} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 3, relacionada ao custo de manutenção.
- X_{33} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 3, relacionada ao custo de operação.
- X_{41} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 4, relacionada ao custo de implantação.
- X_{42} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 4, relacionada ao custo de manutenção.
- X_{43} : Quantidade de sistemas de tratamento tipo 4, relacionada ao custo de operação.

A formulação do modelo para a tomada de decisão entre as quatro diferentes opções de tratamento e três tipos de custos, quais sejam: implantação, operação e manutenção, está descrita na Equação (4.1):

$$(MIN) Z = A_{11}X_{11} + A_{12}X_{12} + A_{13}X_{13} + A_{21}X_{21} + A_{22}X_{22} + A_{23}X_{23} + A_{31}X_{31} + A_{32}X_{32} \\ + A_{33}X_{33} + A_{41}X_{41} + A_{42}X_{42} + A_{43}X_{43}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ P_1 X_{11} + P_2 X_{21} + P_3 X_{31} + P_4 X_{41} \geq \text{População}_{\min} \\ P_1 X_{12} + P_2 X_{22} + P_3 X_{32} + P_4 X_{42} \geq \text{População}_{\min} \\ P_1 X_{13} + P_2 X_{23} + P_3 X_{33} + P_4 X_{43} \geq \text{População}_{\min} \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (4.1)$$

Em que os coeficientes A_{i1} , A_{i2} e A_{i3} correspondem aos custos de implantação, manutenção e operação, respectivamente, de um determinado tipo de tratamento do sistema. Os custos acumulados de manutenção e operação durante a vida útil dos sistemas são calculados de acordo com as Equações (4.2) e (4.3) respectivamente.

$$A_{i2} = \sum_{i=1}^n M_i \times EE_i \times (1 + t)^n \quad (4.2)$$

$$A_{i3} = \sum_{i=1}^n O_i \times EE_i \times (1 + s)^n \quad (4.3)$$

Em que:

- M_i é o custo de manutenção do sistema tipo i no primeiro ano de operação;
- O_i é o custo de operação do sistema tipo i no primeiro ano de operação;
- EE_i corresponde ao efeito escala no sistema tipo i ;
- t equivale à taxa de aumento anual do custo de manutenção para cada sistema;
- s representa à taxa de aumento anual do custo de operação para cada sistema;
- n caracteriza o ano de funcionamento do sistema escolhido para a análise.

Enquanto que os coeficientes P_i correspondem à população equivalente atendida pelo tipo de sistema i .

4.3.5 Escolha de *software* para processamento matemático

Devido à grande quantidade de processamentos matemáticos para a resolução das equações em busca de soluções otimizadas, faz-se apropriado o uso de um *software*

de cálculo que opere problemas de PI. Essa aplicação garante também a precisão dos resultados.

Nesse sentido, decidiu-se pelo uso do *software* Linear Interactive and Discrete Optimizer (LINDO™) da LINDO SYSTEMS Inc. Além de ser um software livre, ele apresenta interface de fácil interação com o usuário e demanda baixa capacidade computacional.

Com o programa selecionado e o equacionamento matemático definido, as simulações foram executadas. Os resultados da pesquisa foram obtidos através desse *software*, e a interface com os dados de entrada e a resoluções das simulações são apresentadas no capítulo 6.

4.3.6 Possibilidades de implantação de SPANP com população equivalente ao SPSL

Com a formulação matemática definida, verificou-se que existem múltiplas combinações entre os três tipos de SPANP, que poderiam atender uma população equivalente ao do SPSL.

Conforme apresentado na Tabela 4.20, cada sistema atende um diferente número de pessoas, sendo que, para haver a produção equivalente da demanda de 1.966.131 pessoas, seriam necessários 43.887 edifícios com SPANP descentralizados individuais, 21.944 SPANP descentralizados em grupo, ou 4.389 SPANP centralizados.

Na Tabela 4.21 são apresentadas possibilidades de combinações de SPANP que atendem uma população equivalente ao do SPSL.

O número de combinações, C , pode então ser obtido através da Equação (4.4)

$$C = 1 + \left(\sum_{i=2}^{i=4.389} i \right) \times 10 + 7 \times 4.390 \quad (4.4)$$

Tabela 4.21 – Combinações de opções de SPANP para obter população equivalente ao do SPSL

		1 opção			10 opções			10 opções			10 x 4.389 opções			7 x 4.390 opções		
Sistema																
3 opções	2 opções	Descentralizado individual	43.887	43.886 ... 43.877	43.876 ... 43.867	...	16	...	7	6	...	0				
		Descentralizado em grupo	1	...	5	6	...	10								
		Centralizado	0	...	0	0	...	0								
		Descentralizado em grupo	0		0	1		5								
		Centralizado	1		1	1		1			...					
		Descentralizado em grupo				0		0								
		Centralizado				2		2								
		...														

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Existem no total 96.369.271 combinações possíveis dos três tipos de SPANP para atender uma população equivalente ao do SPSL, no entanto deseja-se obter apenas a opção de menor custo total.

4.3.7 Período de análise das simulações

É necessário estabelecer o período de tempo para a realização das simulações, que seja adequado para os SPANP e para o SPSL.

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), a vida útil de projeto é o período de tempo estimado para o qual um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes são projetados a fim de atender às atividades para as quais foram projetados e construídos. Deve ser considerada a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.

Pela norma, a vida útil de projeto mínima das instalações prediais hidrossanitárias é de 20 anos.

Quanto o SPSL, o mesmo foi implantado no modelo de concessão e conforme apresentado no item 4.2.2, após o período de construção o contrato terá prazo de 20 anos e 4 meses, correspondente à etapa em que o empreendimento será efetivamente amortizado.

O SPSL continuará operando após os 20 anos iniciais, no entanto, não é possível estabelecer hoje qual será o futuro modelo da concessão, bem como se a SABESP assumirá futuras obras de modernização do sistema. Quanto um edifício, a NBR

15.575 (ABNT, 2013) pondera que, ainda que esse seja concebido para uma determinada vida útil, provavelmente ele desempenhará sua função a contento por bem mais tempo. E sobre os SPANP, não é possível prever quais serão os requisitos para a água não potável, bem como quais tecnologias estarão disponíveis futuramente, para possíveis renovações no sistema.

Dessa forma, o período de 20 anos foi adotado para as simulações, o mesmo representa um marco coincidente dos SPANP e o SPSL, relativo ao primeiro ciclo de funcionamento dos sistemas. Para avaliar o comportamento dos resultados ao longo desse período, a aplicação do modelo foi feita em 4 etapas de 5 anos cada.

4.4 APLICAÇÃO DO MODELO

No capítulo 5 o modelo é aplicado tanto com os dados brutos coletados, ao qual foi nomeado de cenário base, bem como para demais cenários. Foram ponderados efeitos que podem ter influência nos custos de implantação, operação e manutenção dos SPANP e do SPSL, durante os 20 anos de análise.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, os resultados da aplicação do modelo nos diferentes cenários são avaliados e discutidos em detalhes para contribuir com as conclusões.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 7, são apresentadas as considerações finais sobre os resultados obtidos, e sobre a viabilidade de considerar os SPANP como fonte alternativa complementar para o atendimento da demanda crescente de água na RMSP.

5 APLICAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo o modelo matemático é aplicado para diferentes cenários, de forma a se obter resultados das simulações, em função da influência das principais variáveis identificadas.

5.1 CENÁRIO BASE

O cenário base corresponde aos dados de custos relativos à implantação, operação e manutenção coletados, sem a realização de nenhum tratamento. Na Tabela 5.1 encontram-se compiladas as variáveis necessárias à aplicação do modelo, dados obtidos das Tabelas 4.15, 4.16, 4.19 e 4.20.

Tabela 5.1 – Custos de implantação, operação, manutenção e população equivalente atendida dos sistemas - cenário base

Tipo de Sistema		População eq. atendida (pessoas)	Custos - US\$		
			Implantação	Operação (ao ano)	Manutenção (ao ano)
SPANP	Descentralizado individual	45	59.718	7.464	831
	Descentralizado em grupo	90	109.016	12.089	1.525
	Centralizado	448	475.554	39.584	5.566
	SPSL	1.966.131	1.248.913.611	53.659.108	4.979.651

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

No cenário base, os valores de operação e de manutenção durante a vida útil dos sistemas, resultam em custos acumulados a cada cinco anos, conforme apresentado nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2 – Custos de operação acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário base

Sistema	Custos de operação acumulados (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	37.318	74.635	111.953	149.270
Descentralizado em grupo	-	60.443	120.887	181.330	241.774
Centralizado	-	197.920	395.840	593.761	791.681
SPSL	-	268.295.540	536.591.079	804.886.619	1.073.182.158

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Tabela 5.3 – Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário base

Sistema	Custos de manutenção acumulados (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	4.153	8.306	12.459	16.612
Descentralizado em grupo	-	7.624	15.249	22.873	30.497
Centralizado	-	27.829	55.657	83.486	111.314
SPSL	-	24.898.257	49.796.514	74.694.771	99.593.029

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Com as informações da Tabela 5.1, 5.2 e 5.3, aplicou-se o modelo para o período de implantação, considerando todos os sistemas conforme a Equação (5.1):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 109.016X_{21} + 475.554X_{31} + 1.248.913.611X_{41} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

Em seguida, para o 5º ano, a aplicação é dada pela Equação (5.2):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 4.153X_{12} + 37.318X_{13} + 109.016X_{21} + 7.624X_{22} + 60.443X_{23} \\
 &+ 475.554X_{31} + 27.829X_{32} + 192.920X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &+ 24.898.257X_{42} + 268.295.540X_{43} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.2)
 \end{aligned}$$

As Equações (5.3) – (5.5) expressam, respectivamente, as aplicações para o 10º, 15º e 20º anos.

$$\begin{aligned}
(MIN) Z = & 59.718X_{11} + 8.306X_{12} + 74.635X_{13} + 109.016X_{21} + 15.249X_{22} \\
& + 120.887X_{23} + 475.554X_{31} + 55.657X_{32} + 395.840X_{33} \\
& + 1.248.913.611X_{41} + 49.796.514X_{42} + 536.591.079X_{43}
\end{aligned}$$

$$\text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l}
X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\
45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\
45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\
X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
\end{array} \right. \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned}
(MIN) Z = & 59.718X_{11} + 12.549X_{12} + 111.953X_{13} + 109.016X_{21} + 22.873X_{22} \\
& + 181.330X_{23} + 475.554X_{31} + 83.486X_{32} + 593.761X_{33} \\
& + 1.248.913.611X_{41} + 74.694.771X_{42} + 804.886.619X_{43}
\end{aligned}$$

$$\text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l}
X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\
45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\
45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\
X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
\end{array} \right. \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned}
(MIN) Z = & 59.718X_{11} + 16.612X_{12} + 149.270X_{13} + 109.016X_{21} + 30.497X_{22} \\
& + 241.774X_{23} + 475.554X_{31} + 111.314X_{32} + 791.681X_{33} \\
& + 1.248.913.611X_{41} + 99.593.029X_{42} + 1.073.182.158X_{43}
\end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.5)$$

5.2 CENÁRIO COM EFEITO ESCALA

Conforme apresentado no item 4.3.6, para haver a produção equivalente da demanda de 1.966.131 pessoas, seriam necessários 43.887 edifícios com SPANP descentralizado individual, 21.944 descentralizados em grupo, ou 4.389 centralizados.

Logo, para a simulação e comparação de custos entre as opções, faz-se necessário considerar a influência do efeito das economias de escala das alternativas com significativa quantidade de sistemas a serem utilizados.

Caliman (2010) apresentou que o efeito escala ocorre quando o tamanho relativo de uma variável tem grande influência nos resultados, estando ligado às dimensões físicas, a quantidade ou outra. Nesse caso, a variável em questão é a quantidade de sistemas a serem instalados, quanto maior esse for menor serão os custos unitários.

Em relação aos custos de implantação ressalta-se que na parcela de tubulações e obras civis do edifício não haveria ganho de escala significativo, pois os serviços e materiais complementares representam apenas uma pequena parte da obra de um edifício. As mesmas foram orçadas com o banco de preços do SINAPI, que já embutem os efeitos de escala do setor da construção civil dentro dos próprios valores. No sistema de tratamento em si, a maior parte corresponde a componentes importados da companhia que atende mercados de maior volume.

Quanto aos custos de operação e manutenção, a adoção de tecnologias de tratamento para fins não potáveis em milhares ou dezenas de milhares de unidades, capturaria expressivos ganhos do efeito escala considerando-se que há poucos sistemas semelhantes ao do estudo de caso operando na RMSP.

O fundamento para esse fator, é que com poucos empreendimentos espalhados em uma grande região os custos fixos para manter as operações são pouco diluídos podendo ser maiores até do que os custos variáveis. Quando a escala de atendimento é aumentada substancialmente, os custos fixos indiretos são diluídos de forma expressiva, e a parcela do custo variável direto da atividade de operação e manutenção torna-se predominante.

Como exemplo, um atendimento rotineiro de operação e manutenção de 30 minutos da equipe de empresa especializada, pode ser otimizado no caso de haver outros edifícios na mesma região.

Considerando uma média de deslocamento de 10 minutos entre condomínios, um atendimento seria realizado a cada 40 minutos, já em caso de pequena escala com empreendimentos espalhados pela RMSP, o deslocamento pode levar 90 minutos, permitindo um atendimento a cada 120 minutos e com custos muito superiores.

Nesse exemplo hipotético, a mesma equipe pode ter uma produtividade três vezes superior apenas levando em consideração a concentração de empreendimentos.

Guo *et al.* (2014) avaliaram o impacto de redução de custos devido ao efeito escala em sistemas reúso. Levando em consideração que na época do fechamento do contrato de operação e manutenção entre o condomínio e a empresa, havia 100 empreendimentos operando na RMSP pela mesma (ACQUABRASILIS, 2018) que refletiu no contrato de serviços estabelecido, a curva para projetar os custos com a influência da adição de demais sistemas de tratamento é apresentada na Figura 5.1.

De forma a avaliar o impacto do efeito escala nas três configurações de SPANP, verificou-se a redução nos custos de operação e manutenção em função do aumento no atendimento de maior população através da inserção de mais sistemas.

Utilizando os valores apresentados na Tabela 4.19, foi elaborada a Tabela 5.4, em que foi estabelecida a somatória dos custos de operação e de manutenção de um único edifício com SPANP descentralizado individual como base 100%. Para os SPANP descentralizado em grupo e centralizado, a somatória dos custos de operação foi dividida por 2 e 10 obtendo relação de 82% e 55%, respectivamente.

Figura 5.1 – Efeito escala nos custos de operação e manutenção com a adição de novos sistemas

Fonte: elaborado pelo autor (2018) a partir de Guo *et al.* (2014)

Tabela 5.4 – Custos de operação e de manutenção em base anual de SPANP centralizado, descentralizado em grupo e descentralizado individual

Número de edifícios	1	2	10
Operação	US\$	US\$	US\$
Operação e Manutenção Preventiva	6.055	9.808	32.115
Zelador	495	802	2.627
Manutenções programadas			
Colmeias e revisão	831	1.525	5.566
Custo total operação e manutenção	7.381	12.135	40.308
Custo de operação e manutenção/ número edifícios	7.381	6.068	4.031
Proporção	100%	82%	55%

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Em seguida, foi aplicada a função da Figura 5.1 sob o número de sistemas necessários para atender a população em questão. A análise encontra-se apresentada na Figura 5.2.

Nessa projeção, o efeito escala sobre os custos de operação e de manutenção do SPANP descentralizado individual, descentralizado em grupo e centralizado com a utilização de 43.887, 21.944 e 4.389 sistemas, que atendem uma população equivalente ao do SPSL, implicam na redução de 47%, 44% e 36%, respectivamente, dos valores dos sistemas considerados individualmente.

Figura 5.2 – Efeito escala nos custos de operação e manutenção do SPANP descentralizado individual, em grupo e centralizado

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Nesse cenário, considerando o efeito escala, os valores de operação e de manutenção durante a vida útil dos sistemas, resultam em custos acumulados a cada cinco anos, conforme apresentado nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 – Custos de operação acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário considerando o efeito escala

Sistema	Custos de operação acumulados (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	19.766	39.532	59.298	79.064
Descentralizado em grupo	-	33.986	67.973	101.959	135.945
Centralizado	-	127.849	255.697	383.546	511.395
SPSL	-	268.295.540	536.591.079	804.886.619	1.073.182.158

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Tabela 5.6 – Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário considerando o efeito escala

(continua)

Sistema	Custos de manutenção acumulados (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	2.200	4.399	6.599	8.799
Descentralizado em grupo	-	4.287	8.574	12.861	(conclusão)
Centralizado	-	17.976	35.952	53.928	71.905
SPSL	-	24.898.257	49.796.514	74.694.771	99.593.029

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Com as informações da Tabela 5.1, 5.5 e 5.6, aplicou-se o modelo para o momento logo após a implantação, considerando todos os sistemas conforme a Equação (5.6):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 109.016X_{21} + 475.554X_{31} + 1.248.913.611X_{41} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.6)
 \end{aligned}$$

Em seguida, para o 5º ano, a aplicação é dada pela Equação (5.7):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 2.200X_{12} + 19.766X_{13} + 109.016X_{21} + 4.287X_{22} + 33.986X_{23} \\
 &\quad + 475.554X_{31} + 17.976X_{32} + 127.849X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &\quad + 24.898.257X_{42} + 268.295.540X_{43} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.7)
 \end{aligned}$$

As Equações (5.8) – (5.10) expressam, respectivamente, as aplicações para o 10º, 15º e 20º anos.

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 4.399X_{12} + 39.532X_{13} + 109.016X_{21} + 8.574X_{22} + 67.973X_{23} \\
 &\quad + 475.554X_{31} + 35.952X_{32} + 255.697X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &\quad + 49.796.514X_{42} + 536.591.079X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 6.599X_{12} + 59.298X_{13} + 109.016X_{21} + 12.861X_{22} \\ & + 101.959X_{23} + 475.554X_{31} + 53.928X_{32} + 383.546X_{33} \\ & + 1.248.913.611X_{41} + 74.694.771X_{42} + 804.886.619X_{43} \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 8.799X_{12} + 79.064X_{13} + 109.016X_{21} + 17.148X_{22} \\ & + 135.945X_{23} + 475.554X_{31} + 71.905X_{32} + 511.395X_{33} \\ & + 1.248.913.611X_{41} + 99.593.029X_{42} + 1.073.182.158X_{43} \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.10)$$

5.3 CENÁRIO COM AUMENTO DE CUSTOS OPERACIONAIS

Durante vida útil dos sistemas é esperado que os custos relacionados à operação e manutenção tenham evoluções diferentes entre si e em relação ao índice médio de inflação da economia. Ressalta-se que todos os valores de custos da pesquisa, por terem diferentes datas de referência, foram trazidos para a data maio de 2018, bem como a conversão para a moeda dólar americano foi realizada com o câmbio desse período.

Quanto à projeção de valores futuros relativos aos custos de operação e de manutenção, são avaliados em base real e não nominal, ou seja, descontando-se efeitos da inflação, apresentando-os, portanto sempre na moeda base de maio de 2018.

Quanto à operação do SPSL, conforme apresentado na Tabela 4.15, a energia elétrica representa a parcela predominante dos custos operacionais, de forma que é oportuno avaliar o histórico dos valores da energia para realizar uma projeção de como deve se comportar a evolução desses custos.

Na Tabela 5.7 é apresentada avaliação do custo da tarifa elétrica através da parcela de consumo fora de ponta da tarifa horo-sazonal azul subgrupo A4, do qual o SPSL está enquadrado, bem como a evolução do IGP-M, ambos nos últimos 15 anos. Ressalta-se que no ano de 2003 eram aplicados dois valores diferentes de tarifa no decorrer do ano, o chamado período seco, correspondendo aos 7 meses de maio a novembro, e o período úmido com 5 meses de dezembro a abril. A partir de 2012 a tarifa passou a ser única, vigendo esse modelo até o presente momento.

Tabela 5.7 – Inflação dos custos de energia e do IGP-M

	Tarifa de energia (R\$/MWh) Azul A4 - Fora de ponta			IGP-M número índice
	Seca	Úmida	Média	
2003	73,85	65,27	70,28	690,28
2018	-	-	258,08	1.668,68
Taxa de crescimento total	-	-	267%	142%
Taxa de crescimento médio anual	-	-	9,06%	6,06%
Crescimento médio anual da tarifa de energia elétrica – real				3,00%

Fonte: elaborado pelo autor (2018), a partir de ANEEL (2018e), ANEEL (2003) e Portal Brasil (2018)

Dessa forma, de acordo com o histórico de 15 anos, é possível considerar que os reajustes da tarifa de energia, representando os reajustes dos custos de operação do SPSL, terão um crescimento médio anual da ordem de 3% acima do IGP-M.

Quanto os SPANP, a maior parcela dos custos de operação é relacionada à prestação de serviços através da celebração de contrato entre o condomínio e a empresa especializada, conforme apresentado na Tabela 4.6. No contrato firmado para a operação do sistema no condomínio onde ocorreu a coleta de dados, os reajustes anuais se dão pela indexação ao IGP-M conforme pode ser verificado no ANEXO B. Dessa forma no principal componente dos custos de operação, não são previstos aumentos em termos reais, tendo como base o indexador IGP-M.

Ainda de acordo com a Tabela 4.6, o consumo de energia elétrica representa aproximadamente 12% dos custos operacionais, de forma que o crescimento acima da inflação dos custos com energia elétrica foi aplicado nessa parcela.

Sobre as atividades de manutenção prevista para o SPSL e os SPANP, foram levantados os custos relativos ao primeiro ano de operação. No entanto, esses valores não consideram o esperado desgaste de peças e equipamentos, bem como o envelhecimento dos sistemas, de forma que os custos devem observar aumento relativo gradativo ao longo dos anos de funcionamento. Dias (2017) considerou uma taxa média de elevação dos custos de manutenção de diferentes sistemas de 1% a.a., taxa essa aplicada nessa simulação de aumento de custos operacionais.

Os valores de manutenção levando-se em consideração a elevação de custos durante a vida útil dos sistemas a uma taxa de 1% a.a. e o efeito escala em cada sistema,

resultam em custos de manutenção acumulados a cada cinco anos, conforme apresentado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Custos de manutenção acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento de custos operacionais

Sistema	Custo de manutenção acumulado (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	2.267	4.649	7.152	9.784
Descentralizado em grupo	-	4.417	9.060	13.940	19.068
Centralizado	-	18.523	37.990	58.451	79.955
SPSL	-	25.655.239	52.619.153	80.958.498	110.743.434

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Os valores de operação levando-se em consideração a elevação de custos da tarifa de energia a uma taxa de 3% a.a., combinados com o efeito escala em cada sistema, resultam em custos de operação acumulados a cada cinco anos, conforme apresentado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Custos de operação acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento de custos operacionais

Sistema	Custo de operação acumulado (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	19.993	40.406	61.308	82.777
Descentralizado em grupo	-	34.376	69.476	105.416	142.329
Centralizado	-	129.314	261.352	396.549	535.408
SPSL	-	293.429.996	633.595.783	1.027.941.161	1.485.095.534

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Com as informações da Tabela 5.1, 5.8 e 5.9, aplicou-se o modelo para o momento logo após a implantação, considerando todos os sistemas conforme a Equação (5.11):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 109.016X_{21} + 475.554X_{31} + 1.248.913.611X_{41} \\
 \text{s.a. } \begin{cases} 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{cases} & \quad (5.11)
 \end{aligned}$$

Em seguida, para o 5º ano, a aplicação é dada pela Equação (5.12):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 2.267X_{12} + 19.993X_{13} + 109.016X_{21} + 4.417X_{22} + 34.376X_{23} \\
 & + 475.554X_{31} + 18.523X_{32} + 129.314X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 & + 25.655.239X_{42} + 293.429.996X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
 X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\
 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\
 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\
 X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
 \end{array} \right. \quad (5.12)$$

As Equações (5.13) – (5.15) expressam, respectivamente, as aplicações para o 10º, 15º e 20º anos.

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 4.649X_{12} + 40.406X_{13} + 109.016X_{21} + 9.060X_{22} + 69.476X_{23} \\
 & + 475.554X_{31} + 37.990X_{32} + 261.352X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 & + 52.619.153X_{42} + 633.595.783X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
 X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\
 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\
 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\
 X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
 \end{array} \right. \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 7.152X_{12} + 61.308X_{13} + 109.016X_{21} + 13.940X_{22} \\
 & + 105.416X_{23} + 475.554X_{31} + 58.451X_{32} + 396.549X_{33} \\
 & + 1.248.913.611X_{41} + 80.958.498X_{42} + 1.027.941.161X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.14)$$

$$\begin{aligned} (\text{MIN}) Z = & 59.718X_{11} + 9.784X_{12} + 82.777X_{13} + 109.016X_{21} + 19.068X_{22} \\ & + 142.329X_{23} + 475.554X_{31} + 79.955X_{32} + 535.408X_{33} \\ & + 1.248.913.611X_{41} + 110.743.434X_{42} + 1.485.095.534X_{43} \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.15)$$

5.4 CENÁRIO COM AUMENTO DE CUSTOS OPERACIONAIS CRESCENTES

As taxas de reajuste de tarifas no setor elétrico não têm comportamento estável, da mesma forma que o comportamento do índice de inflação da economia apresenta. Essa variação pode ser verificada na Figura 5.3.

Analisando a Figura 5.3, observa-se a estabilidade do IGP-M em diferentes períodos de análise na faixa de 6% a.a.. Por outro lado, a tarifa de energia apresentou maiores oscilações, a depender do período de análise. Verifica-se um padrão nos períodos de eleições federais, 2005/2006, 2009/2010 e 2013/2014, que decorreram do represamento da tarifa no ano eleitoral, com o consequente reajuste no ano seguinte pós-eleição.

Figura 5.3 – Comparação do histórico acumulado de inflação da tarifa de energia e do IGPM

Fonte: elaborado pelo autor (2018), a partir de ANEEL (2018f), e Portal Brasil (2018)

Dessa forma, é necessário verificar se o período considerado na análise representa um valor médio sem distorção. A depender do período de análise desejado, seria mais preciso considerar o valor sugerido da regressão linear, para a obtenção do diferencial da taxa de reajuste médio anual da tarifa de energia e o IGP-M.

Outro efeito observado é o descolamento crescente do índice de inflação de energia elétrica com a inflação média da economia. Utilizando a regressão linear do histórico do reajuste médio anual acima da inflação no período dos últimos 15 anos, o descolamento entre os índices seria próximo de 3% a.a., nos últimos 10 anos aproximadamente 4,5% a.a., e nos últimos 5 anos aproximadamente 6% a.a. Ou seja, o custo da energia tem acelerado consistentemente nessa série de longo prazo.

Um fator para o crescente encarecimento relativo do custo da energia são as maiores restrições ambientais adotadas nas últimas décadas quanto à construção de novas hidroelétricas. Anteriormente, as mesmas continham vastos reservatórios, que

armazenavam as águas nos períodos de chuvas, enquanto que a legislação ambiental atual não permite mais esse conceito. As novas hidroelétricas são construídas no conceito *fio d'água*, em que o reservatório é reduzido ao mínimo operacional, e a usina produz apenas com a água disponível naquele momento no rio. Outras fontes renováveis que foram adicionadas na matriz energética, destacadamente a fonte eólica, também não tem capacidade de armazenamento.

Dessa forma, a matriz energética brasileira tem sofrido alterações, onde a função de reserva/bateria do sistema, dos grandes reservatórios construídos no passado, está tendo sua participação reduzida frente o aumento da participação de termoeletricas movidas a combustíveis fósseis, que são a alternativa tradicional para complementar as fontes renováveis de produção cíclica.

As termoeletricas são a fonte mais cara de produção de energia por isso ficam desligadas o tanto quanto possível. No entanto, com o crescimento da matriz energética, há relativamente cada vez menos energia acumulada nos grandes reservatórios, que foram construídos no passado. Logo, as termoeletricas, têm sido acionadas cada vez mais para suprir os períodos de produção insuficiente das fontes renováveis, fazendo com que os custos crescentes da tarifa de energia tenham tendência de aceleração.

Não há perspectiva de reversão da tendência do aumento da participação relativa das termoeletricas na matriz elétrica nacional, de forma que a valorização das tarifas de energia em razão crescente, acima da inflação, é um cenário possível, e deve ser considerado.

No cenário onde os reajustes da tarifa de energia, representando os reajustes dos custos de operação do SPSL, continuam apresentando aceleração de forma semelhante ao ocorrido nos últimos 15 anos, os custos crescerão acima da inflação acelerando aproximadamente 1,5% a.a. a cada 5 anos.

Durante os primeiros 20 anos de operação do SPSL, o crescimento médio anual dos custos de operação ocorreria em 4 patamares de 5 anos, começando em 7,5% a.a., passando para 9% a.a., 10,5% a.a. e 12% a.a. conforme apresentado na Figura 5.4.

O aumento crescente da tarifa de energia elétrica nos SPANP tem menor impacto, devido a maior parcela dos custos de operação seguirem a inflação, sem aumento real.

Figura 5.4 – Projeção de inflação da tarifa de energia

Fonte: elaborado pelo autor (2018), a partir de ANEEL (2018f), e Portal Brasil (2018)

Combinando o efeito escala nos SPANP e o acréscimo nos custos de operação do SPSL, conforme apresentado na Figura 5.4, apresenta-se na Tabela 5.10, os custos de operação acumulados a cada 5 anos.

Tabela 5.10 – Custos de operação acumulados dos sistemas para os respectivos anos de análise – cenário considerando o aumento crescentes de custos operacionais

Sistema	Custo de operação acumulado (US\$)				
	Ano 0	Ano 5	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Descentralizado individual	-	20.368	42.245	66.871	96.742
Descentralizado em grupo	-	35.021	72.637	114.981	166.340
Centralizado	-	131.740	273.243	432.531	625.734
SPSL	-	335.048.561	837.570.958	1.645.169.087	3.034.533.250

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Com as informações da Tabela 5.1, 5.8 e 5.10, aplicou-se o modelo para o momento logo após a implantação, considerando todos os sistemas conforme a Equação (5.16):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 109.016X_{21} + 475.554X_{31} + 1.248.913.611X_{41} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.16)
 \end{aligned}$$

Em seguida, para o 5º ano, a aplicação é dada pela Equação (5.17):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 2.267X_{12} + 20.368X_{13} + 109.016X_{21} + 4.417X_{22} + 35.021X_{23} \\
 &\quad + 475.554X_{31} + 18.523X_{32} + 131.740X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &\quad + 25.655.239X_{42} + 335.048.561X_{43} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.17)
 \end{aligned}$$

As Equações (5.18) – (5.20) expressam, respectivamente, as aplicações para o 10º, 15º e 20º anos.

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 4.649X_{12} + 42.245X_{13} + 109.016X_{21} + 9.060X_{22} + 72.637X_{23} \\
 &\quad + 475.554X_{31} + 37.990X_{32} + 273.243X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &\quad + 52.619.153X_{42} + 837.570.958X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 7.152X_{12} + 66.871X_{13} + 109.016X_{21} + 13.940X_{22} \\ & + 114.981X_{23} + 475.554X_{31} + 58.451X_{32} + 432.531X_{33} \\ & + 1.248.913.611X_{41} + 80.958.498X_{42} + 1.645.169.087X_{43} \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned} (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 9.784X_{12} + 96.742X_{13} + 109.016X_{21} + 19.068X_{22} \\ & + 166.340X_{23} + 475.554X_{31} + 79.955X_{32} + 625.734X_{33} \\ & + 1.248.913.611X_{41} + 110.743.434X_{42} + 3.034.533.250X_{43} \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
 X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.966.131X_{41} \geq 1.966.131 \\
 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.966.131X_{42} \geq 1.966.131 \\
 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.966.131X_{43} \geq 1.966.131 \\
 X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
 \end{array} \right. \quad (5.20)$$

5.5 CENÁRIO COM AUMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL *PER CAPITA*

Em todos os cenários, o modelo foi aplicado com os dados mais recentes disponíveis de consumo de água potável *per capita*, relativo ao ano de 2015, e apresentado na Tabela 4.8. No entanto, é sabido que no período mais crítico da crise hídrica, nos anos de 2014 e 2015, houve forte campanha para redução do consumo de água e que encontrou ampla mobilização da sociedade, conforme discutido no Capítulo 1.

Na Tabela 5.11 é apresentado o histórico do consumo de água *per capita* incluindo os 10 anos que antecederam a crise hídrica, nos municípios conectados ao SIM.

Tabela 5.11 – Histórico do consumo de água *per capita* nos municípios conectados ao SIM (continua)

Municípios do SIM	Consumo <i>per capita</i>											
	L/hab.dia											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Operados pela SABESP												
Arujá	127	144	149	151	152	151	157	161	166	165	156	133
Barueri	131	165	175	175	176	176	188	195	205	203	219	167
Caieiras	101	113	127	129	132	136	134	140	143	141	130	112
Carapicuíba	114	125	132	134	137	138	136	139	147	144	133	112
Cotia	127	148	159	161	161	162	161	167	173	170	162	139
Diadema	122	139	134	141	137	140	ND	ND	ND	ND	ND	123
Embu das Artes	110	117	124	127	128	128	121	122	127	125	118	103
Embu-Guaçu	119	127	134	134	133	135	129	127	129	124	122	107
Ferraz de Vasconcelos	95	107	112	114	117	119	123	124	127	127	123	107
Francisco Morato	98	102	108	107	113	126	122	121	127	127	109	100
Franco da Rocha	113	120	118	129	132	137	146	147	153	153	134	119
Itapecerica da Serra	114	121	129	132	129	129	127	126	130	128	121	104
Itapevi	94	106	116	121	124	121	117	117	123	122	116	103

Tabela 5.11 – Histórico do consumo de água *per capita* nos municípios conectados ao SIM (conclusão)

Municípios do SIM	Consumo <i>per capita</i> L/hab.dia											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Itaquaquecetuba	90	105	109	113	116	120	116	121	123	116	112	101
Jandira	91	108	115	116	118	120	128	129	132	131	121	104
Osasco	142	169	169	141	145	154	168	169	175	172	158	133
Poá	105	116	120	122	128	129	134	136	143	141	131	113
Ribeirão Pires	133	139	141	144	144	149	142	145	149	148	139	117
Rio Grande da Serra	119	124	126	128	128	133	129	129	135	133	126	104
São Bernardo do Campo	155	162	172	175	175	174	168	170	174	174	164	143
São Paulo	167	171	176	180	182	184	185	190	192	187	170	146
Suzano	101	116	120	123	124	127	125	127	135	135	129	112
Taboão da Serra	106	126	133	137	138	139	141	145	150	148	138	122
Vargem Grande Paulista	123	129	145	145	152	142	142	148	156	157	133	108
Não operados pela SABESP												
Guarulhos	125	125	124	124	121	123	161	162	181	179	172	138
Mauá	133	122	125	132	129	129	127	129	124	119	115	97
Mogi das Cruzes	117	119	114	ND	112	ND	ND	ND	ND	147	153	140
Santo André	167	167	171	174	181	171	178	178	181	177	165	152
São Caetano do Sul	245	259	252	257	237	234	247	258	263	254	228	198
Média ponderada pela pop.	152	158	163	165	165	168	172	176	180	175	161	138

Fonte: SNIS (2018), adaptado pelo autor

Analisando esse histórico de 12 anos, o consumo de água *per capita* no ano de 2015 foi o menor da série.

Nota-se que durante o período de 9 anos seguidos de 2004 a 2012, em que ocorreu crescimento econômico no país e não houveram maiores problemas com falta de chuvas na RMSP, observou-se significativo acréscimo do consumo de água *per capita* ano após ano. No ano de 2004 o consumo médio era de 152 L/hab.dia, e atingiu um pico de consumo 19% superior, em 180 L/hab.dia no ano de 2012. Essa mesma série de dados é apresentada na Figura 5.5.

Conforme discutido e apresentado na Figura 1.2, a SABESP não tem motivação econômica para manter campanhas e incentivos, como bonificações pela redução de consumo, caso haja regularidade no abastecimento dos principais mananciais que atendem a RMSP.

Logo, em um contexto de estabilidade econômica que favorece o aumento do consumo das pessoas, como ocorreu entre os anos de 2004 e 2013, e sem escassez

hídrica, há uma maior probabilidade de que o consumo de água *per capita* venha a ter elevação, do que se mantenha nos níveis de 2015 ou que apresente redução.

Dessa forma, o aumento do consumo de água *per capita* é um cenário possível, e deve ser considerado.

Figura 5.5 – Consumo de água *per capita* da população dos municípios conectados ao SIM

Fonte: SNIS (2018), adaptado pelo autor

De forma a simular o efeito dessa variável, foi calculada a média do consumo de água *per capita* nos 10 anos que antecederam a crise hídrica, dos anos de 2004 a 2013, chegando-se à média de 167,5 L/hab.dia. Esse consumo é 21% superior ao do ano de 2015, que foi utilizado na aplicação do modelo dos cenários anteriores.

Para o cálculo da nova população cujo SPSL pode atender, em caso de consumo superior da população, utilizou-se os mesmos parâmetros de cálculo da Tabela 4.20, variando-se apenas o consumo médio diário da população do SIM para 167,5 L/hab.dia. Considerando então a produção média de 4.700 L/s, descontando-se o IDP do SIM de 33%, o SPSL atende uma população de 1.624.320 habitantes.

Cabe destacar que o aumento ou diminuição do consumo de água potável *per capita* não influencia a população atendida dos SPANP, desde que seja mantida a proporção de consumo de 80% de água potável e de 20% de água não potável. Essas informações encontram-se resumidas na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – População equivalente atendida pelos sistemas, com o aumento do consumo de água *per capita*

	P_i	Tipo de sistema	População equivalente atendida (pes)
SPANP	P_1	Descentralizado individual	45
	P_2	Descentralizado em grupo	90
	P_3	Centralizado	448
	P_4	SPSL	1.624.320

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Combinando o efeito escala nos SPANP, o acréscimo nos custos de manutenção, conforme apresentado na Tabela 5.8, o acréscimo dos custos de operação crescentes apresentados na Tabela 5.10 e a população atendida nos sistemas de acordo com a Tabela 5.11, aplicou-se o modelo para o momento logo após a implantação, conforme a Equação (5.21):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 109.016X_{21} + 475.554X_{31} + 1.248.913.611X_{41} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.624.320X_{41} \geq 1.624.320 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.21)
 \end{aligned}$$

Em seguida, para o 5º ano, a aplicação é dada pela Equação (5.22):

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z &= 59.718X_{11} + 2.267X_{12} + 20.368X_{13} + 109.016X_{21} + 4.417X_{22} + 35.021X_{23} \\
 &\quad + 475.554X_{31} + 18.523X_{32} + 131.740X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 &\quad + 25.655.239X_{42} + 335.048.561X_{43} \\
 \text{s.a. } \left\{ \begin{array}{l} X_{12} - X_{11} \leq 0 \\ X_{13} - X_{12} \leq 0 \\ X_{22} - X_{21} \leq 0 \\ X_{23} - X_{22} \leq 0 \\ X_{32} - X_{31} \leq 0 \\ X_{33} - X_{32} \leq 0 \\ X_{42} - X_{41} \leq 0 \\ X_{43} - X_{42} \leq 0 \\ 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.624.320X_{41} \geq 1.624.320 \\ 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.624.320X_{42} \geq 1.624.320 \\ 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.624.320X_{43} \geq 1.624.320 \\ X_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \end{array} \right. & \quad (5.22)
 \end{aligned}$$

As Equações (5.23) – (5.25) expressam, respectivamente, as aplicações para o 10º, 15º e 20º anos.

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 4.649X_{12} + 42.245X_{13} + 109.016X_{21} + 9.060X_{22} + 72.637X_{23} \\
 & + 475.554X_{31} + 37.990X_{32} + 273.243X_{33} + 1.248.913.611X_{41} \\
 & + 52.619.153X_{42} + 837.570.958X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
 X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.624.320X_{41} \geq 1.624.320 \\
 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.624.320X_{42} \geq 1.624.320 \\
 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.624.320X_{43} \geq 1.624.320 \\
 X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
 \end{array} \right. \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 7.152X_{12} + 66.871X_{13} + 109.016X_{21} + 13.940X_{22} \\
 & + 114.981X_{23} + 475.554X_{31} + 58.451X_{32} + 432.531X_{33} \\
 & + 1.248.913.611X_{41} + 80.958.498X_{42} + 1.645.169.087X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
 X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.624.320X_{41} \geq 1.624.320 \\
 45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.624.320X_{42} \geq 1.624.320 \\
 45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.624.320X_{43} \geq 1.624.320 \\
 X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
 \end{array} \right. \quad (5.24)$$

$$\begin{aligned}
 (MIN) Z = & 59.718X_{11} + 9.784X_{12} + 96.742X_{13} + 109.016X_{21} + 19.068X_{22} \\
 & + 166.340X_{23} + 475.554X_{31} + 79.955X_{32} + 625.734X_{33} \\
 & + 1.248.913.611X_{41} + 110.743.434X_{42} + 3.034.533.250X_{43}
 \end{aligned}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l}
X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
45X_{11} + 90X_{21} + 448X_{31} + 1.624.320X_{41} \geq 1.624.320 \\
45X_{12} + 90X_{22} + 448X_{32} + 1.624.320X_{42} \geq 1.624.320 \\
45X_{13} + 90X_{23} + 448X_{33} + 1.624.320X_{43} \geq 1.624.320 \\
X_{ij} \in \mathbb{Z}_+
\end{array} \right. \quad (5.25)$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, os resultados obtidos por meio da aplicação do modelo nos diversos cenários das simulações são apresentados. Também é realizada a discussão sobre a tomada de decisão do sistema que apresenta o menor custo total acumulado ao longo da sua vida útil, bem como a avaliação dos diferentes cenários que influenciaram os resultados.

A aplicação das equações no *software* LINDO™, a resolução obtida, bem como a interface com o programa para o 20º ano são apresentadas nesse capítulo. Os anos 0, 5, 10 e 15, encontram-se no Apêndice B.

Primeiramente, é apropriado analisar o cenário base e a influência que o efeito escala promove na viabilidade dos SPANP. A aplicação do modelo e os resultados obtidos com emprego do *software* LINDO™, são apresentados nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4.

Figura 6.1 – Aplicação do modelo no cenário base para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.2 – Resolução do cenário base para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.3 – Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.4 – Resolução do cenário com efeito escala para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Nesses dois cenários, a opção mais econômica desde a implantação até os 20 primeiros anos de operação é o SPSL e o efeito escala não influencia o SPSL. O resultado pode ser observado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Síntese dos resultados obtidos por meio do software LINDO™, para o cenário com efeito escala (US\$)

Anos de operação	SPSL	SPANP centr.	SPANP descentr. grupo	SPANP descentr. ind.
0	1.248.913.611	2.087.206.506	2.381.563.536	2.609.198.856
5	1.542.107.408	2.727.232.431	3.217.675.494	3.568.937.328
10	1.835.281.204	3.367.253.967	4.053.809.298	4.528.632.108
15	2.128.495.001	4.007.279.892	4.889.921.256	5.488.370.580
20	2.421.638.798	4.647.310.206	5.726.033.214	6.448.109.052

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Apesar da solução mais eficiente em custo ter sido o SPSL nesses dois cenários, é importante avaliar a influência do efeito escala no aumento da viabilidade dos SPANP. Na Figura 6.5 são apresentados os custos acumulados dos três tipos de SPANP, no cenário base e com o efeito escala, bem como do SPSL, que se mantêm o mesmo.

A redução significativa dos custos acumulados ao longo de 20 anos, no cenário com efeito escala, demonstra que a ampliação do número de projetos instalados é um fator fundamental. Sendo, portanto, determinante para a tecnologia se consolidar como uma alternativa economicamente viável e para adoção em larga escala.

Outro aspecto importante é que quanto maior a concentração de edifícios compartilhando a mesma estrutura de tratamento, maior é a viabilidade da alternativa para atender uma determinada população. Esse aspecto foi verificado devido os SPANP centralizados terem maior viabilidade sobre os SPANP descentralizados em grupo, e esses, sobre os SPANP descentralizados individuais.

Figura 6.5 – Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenário base e cenário com efeito escala

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

A próxima análise corresponde aos cenários em que são avaliados os aumentos de custos de operação e de manutenção. Foram simuladas duas situações de aumento de custos de operação, decorrentes de diferentes projeções do aumento da tarifa de energia elétrica. A aplicação do modelo e os resultados obtidos pelo *software* LINDO™ para o 20º ano, são apresentados nas Figuras 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9.

Figura 6.6 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.7 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.8 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.9 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Nos dois cenários o SPSL foi a opção mais econômica, conforme apresentado nas Tabelas 6.2 e 6.3.

Tabela 6.2 – Síntese dos resultados obtidos por meio do software LINDO™, para o cenário com aumento de custos operacionais (US\$)

Anos de operação	SPSL	SPANP centr.	SPANP descentr. grupo	SPANP descentr. ind.
0	1.248.913.611	2.087.206.506	2.381.563.536	2.609.198.856
5	1.567.998.846	2.736.063.099	3.229.035.414	3.581.782.776
10	1.935.128.557	3.405.407.544	4.097.260.992	4.577.741.916
15	2.357.813.270	4.084.201.506	4.989.014.712	5.600.353.176
20	2.844.752.579	4.788.034.713	5.907.442.398	6.653.374.068

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Tabela 6.3 – Síntese dos resultados obtidos por meio do software LINDO™, para o cenário com aumento crescente de custos operacionais (US\$)

Anos de operação	SPSL	SPANP centr.	SPANP descentr. grupo	SPANP descentr. ind.
0	1.248.913.611	2.087.206.506	2.381.563.536	2.609.198.856
5	1.609.617.411	2.746.710.813	3.243.126.084	3.598.167.276
10	2.139.103.722	3.453.208.143	4.166.316.198	4.658.091.504
15	2.975.041.196	4.242.126.504	5.197.971.702	5.843.411.772
20	4.394.190.295	5.184.475.527	6.431.986.704	7.263.532.848

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

No entanto, conforme apresentado na Figura 6.10, observa-se que o impacto do aumento dos custos da tarifa de energia elétrica é muito relevante, e mais significativo, no SPSL.

Os processos de produção de água e tratamento de esgotos apresentam consumo de energia relevante no SPSL, no entanto, a característica com maior influência nos custos de operação e manutenção, é o significativo desnível altimétrico que acarreta em elevado consumo de energia elétrica com os sistemas de bombeamento.

Sob esse aspecto, os SPANP apresentam custos operacionais mais previsíveis, uma vez que o principal custo é relacionado à terceirização do serviço de monitoramento do sistema, e esse é realizado por meio de um contrato que tem regras de reajustamento definidas.

Figura 6.10 – Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenários com efeito escala, aumento de custos operacionais e aumentos crescentes de custos operacionais

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

O último cenário simulado tem relação com uma expectativa de elevação do consumo de água *per capita* da população da RMSP. A aplicação do modelo e os resultados obtidos por meio do *software* LINDO™, para o 20º ano, são apresentados nas Figuras 6.11 e 6.12.

Nesse cenário o SPSL foi a opção mais econômica até o 15º ano, e no 20º ano, a opção de SPANP centralizado, com 3.625 unidades, acrescido de 4 unidades de SPANP descentralizado em grupo, foi a opção de menor custo acumulado.

Ou seja, o *software* LINDO™ encontrou a solução ótima alocando tantos SPANP centralizados quanto possíveis, e considerando apenas os SPANP descentralizados em grupo para complementar a população faltante para atingir o total do SPSL. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 6.4.

Figura 6.11 – Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água *per capita* para 167,5 L/hab.dia, para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 6.12 – Resolução do cenário com aumento do consumo de água *per capita* para 167,5 L/hab.dia, para o ano 20

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Tabela 6.4 – Síntese dos resultados obtidos por meio do software LINDO™, para o cenário com aumento crescente de custos operacionais (US\$)

Anos de operação	SPSL	SPANP centr.	SPANP descentr. grupo	SPANP descentr. ind.
0	1.248.913.611	1.724.358.804	1.967.520.768	2.155.580.928
5	1.609.617.411	2.269.212.442	2.679.297.792	2.972.613.888
10	2.139.103.722	2.852.889.662	3.441.988.224	3.848.266.752
15	2.975.041.196	3.504.659.536	4.294.286.976	4.827.515.136
20	4.394.190.295	4.283.187.118	5.313.764.352	6.000.743.424

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Na Figura 6.13, apresenta-se o impacto do aumento do consumo de água *per capita*.

Figura 6.13 – Custo total acumulado durante os 20 primeiros anos de operação – cenários de aumentos crescentes de custos operacionais e aumento do consumo de água *per capita*

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

O SPSL mantém os mesmos custos de implantação, operação e manutenção, mas a quantidade e, conseqüentemente, os custos de implantação, operação e manutenção dos SPANP são reduzidos. Quanto maior o consumo *per capita* de água potável, menos eficiente, e relativamente mais caro, será o investimento a ser realizado no sistema centralizado de água potável.

O comportamento da população quanto ao consumo de água nas próximas décadas, tem relevância central. A elevação do consumo de água *per capita* encarece relativamente os investimentos a serem feitos, pois atendem uma população menor, quanto antecipam a necessidade de novos investimentos para atender a maior demanda.

O histórico do consumo de água *per capita*, apresentado na Figura 5.5, apresenta uma tendência de elevação do padrão do consumo, coincidente com um momento de prosperidade econômica. Por outro lado, também foi verificada a eficácia das campanhas de conscientização, no período da crise hídrica, para estimular a mudança de comportamento dos usuários, sendo essa uma importante ferramenta testada.

Na Tabela 6.5 estão apresentados, de forma resumida, os resultados da função objetivo no 20º ano, bem como o sistema relacionado ao menor custo encontrado para os cinco cenários simulados.

Tabela 6.5 – Resumo dos resultados no 20º ano, em cinco cenários

Cenário		Resultado da função objetivo (US\$)	Sistema
1	Base	2.421.638.798	SPSL
2	Com efeito escala	2.421.638.798	SPSL
3	Aumento de custos operacionais	2.844.752.579	SPSL
4	Aumento crescente de custos operacionais	4.394.190.295	SPSL
5	Aumento de consumo de água potável <i>per capita</i>	4.283.183.571	SPANP centralizado

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Conforme as simulações mostram, existem muitas variáveis com grande influência na projeção de custos de cada tipo de sistema, de forma que não é possível prever com precisão, como se comportará exatamente cada uma delas. Assim sendo, é razoável avaliar os cenários mais favoráveis e adversos de cada tipo de sistema, e admitir que

o resultado tenha uma maior probabilidade de ocorrer dentro dessa faixa, do que ser precisamente um valor.

Os resultados apresentados mostram que o SPSL tem custo inferior em quatro dos cinco cenários, e naquele em que não é a opção de menor valor, ele encontra-se próximo da opção de menor custo que é o SPANP centralizado. Nesse sentido, do ponto de vista econômico, a probabilidade de o SPSL ser a opção de menor custo é muito superior que a dos SPANP.

Apesar de a situação presente indicar o SPSL como solução preferencial do ponto de vista econômico, é importante avaliar as alternativas de novos sistemas centralizados de produção de água potável, planejados para serem implantados no futuro, pois esses tendem a ter custos superiores, conforme apresentado na Figura 1.1.

Um aspecto relevante da RMSP é quanto a sua localização geográfica com cota altimétrica mais elevada em relação ao entorno, bem como a atual ocupação da mancha urbana.

Essas características resultam em opções de mananciais menos poluídos em regiões mais afastadas e com cota topográfica inferior, ou opções mais próximas do centro consumidor, porém poluídas e com necessidade de tratamento mais intenso e custoso. Isso é desfavorável para o aproveitamento de futuros mananciais sob o aspecto econômico, pois novos sistemas tendem a apresentar maiores custos de construção e de operação.

Outro fator relevante a ser considerado para futuras fontes alternativas de água é quanto à evolução de diferentes tecnologias de SPANP. Conforme verificado na Figura 6.1, o efeito escala é o principal fator capaz de alavancar uma nova tecnologia.

Atualmente, não há nenhuma alternativa implantada na RMSP que tenha o alcance avaliado nessa pesquisa, ou seja, o atendimento de uma população equivalente da ordem de 1.600.000 a 2.000.000 de habitantes.

Esta observação demonstra o estágio inicial de implantação de diferentes tecnologias para o aproveitamento de fontes alternativas na RMSP. Dessa forma, tendo em vista a escala em questão, é mais importante o potencial de evolução de uma nova tecnologia, do que seu atual estágio de amadurecimento.

Cabe destacar que a utilização em larga escala de SPANP traria diferentes desafios técnicos, não abordados nessa pesquisa. Um deles é quanto aos riscos relacionados à saúde, ao se expor uma grande população à utilização de água não potável.

Nesse aspecto, tecnologias mais avançadas como as que envolvem processos de microfiltração ou ultrafiltração por membranas, apresentam grande potencial, pois promovem uma desinfecção efetiva do efluente. Essa tecnologia apresenta menores restrições, produzindo efluente de elevada qualidade, praticamente independente da qualidade do afluente (SUBTIL, HESPANHOL e MIERZWA, 2013).

O sistema de tratamento avaliado nessa pesquisa utiliza as águas cinzas, que é uma fonte residuária separada das águas negras. A sua aplicação é viável, portanto, em novas edificações, em que essa separação seja prevista em projeto.

Considerando-se que a população na região metropolitana ainda cresce e que a demanda por água aumentará, além do contexto de custos crescentes dos sistemas de tratamento de produção de água potável tradicionais na RMSP, faz sentido fomentar a adoção de novas tecnologias para a exploração das fontes alternativas, para produção água não potável ou potável.

Outro fator relevante é quanto o potencial de desenvolvimento tecnológico dos SPANP, que tendem a ter seus custos reduzidos, frente à opção convencional que tende a ter o custo encarecido.

O efeito escala é um fator que impacta significativamente todas as tecnologias em estágio inicial de desenvolvimento. Assim, para haver tecnologias economicamente viáveis para a exploração de fontes alternativas, a sua utilização deve ser estimulada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos princípios da Programação Inteira, foi possível formular um modelo matemático para tomada de decisão. O modelo permite a avaliação de diferentes cenários, apresentando o menor custo total acumulado dentre as alternativas disponíveis e, também, a indicação de quantas unidades de cada sistema são necessárias na solução otimizada.

O *software* LINDO™ mostrou-se uma ferramenta importante e funcional para resolução matemática, provendo precisão e velocidade na obtenção dos resultados. A formulação do modelo desenvolvido pode ser utilizada para a avaliação de outras tecnologias de tratamento, bem como, novos cenários que se tornem relevantes.

Nos cenários 3, 4 e 5 apresentados, os custos de operação e de manutenção ao final de 20 anos, são superiores aos custos de implantação para os quatro sistemas. Isso mostra que, no longo prazo, tanto nos sistemas de tratamento que atendem pequenas populações, quanto no sistema centralizado de abastecimento de água potável, os custos de operação e de manutenção tendem a ser mais importantes do que os custos de implantação.

A verificação de uma tecnologia incipiente de tratamento de efluentes de pequena escala, que se encontra instalada em dezenas ou centenas de unidades em uma região, quando avaliada para a aplicação em larga escala, para milhares ou dezenas de milhares de unidades, necessita de extrapolação quanto aos valores de custos para capturar o benefício do efeito escala. Essa extrapolação deve ser realizada criteriosamente, tanto para não subdimensionar os ganhos possíveis, quanto para não ocorrer o superdimensionamento.

Os resultados obtidos na pesquisa indicam que a produção de água não potável em edifícios, por meio da tecnologia de disco biológico rotativo (DBR), não apresentam maior viabilidade econômica em relação ao SPSL em 4 dos 5 cenários avaliados. No cenário em que o SPSL não apresentou menor custo acumulado no 20º ano, o SPANP centralizado foi a melhor alternativa.

Apesar das conclusões obtidas privilegiarem a implantação do sistema centralizado de produção de água potável, elas são válidas somente para as condições presentes de implantação do SPSL.

Ressalta-se que essa conclusão não pode ser adotada automaticamente para o futuro, especificamente quanto o próximo sistema centralizado de água potável a ser implantado. Conforme verificado, o SPANP centralizado representou a solução de menor custo em um dos cenários da presente pesquisa.

Um fator não considerado nas análises realizadas foi a questão de sustentabilidade. Há ganhos ambientais em se adotar o reúso, e a utilização de critérios para quantificação desse benefício favoreceria a viabilidade dos SPANP.

Também existem outras tecnologias para tratamento de fontes alternativas não avaliadas. E há a tendência de aumento de custos, de um futuro sistema de produção de água potável de grande porte, em relação ao SPSL.

Dessa forma, torna-se mais importante verificar a tendência, quanto o aumento de custos para a implementação das soluções tradicionais, e a redução de custos das soluções alternativas, do que propriamente a situação presente.

Devido à grande quantidade de variáveis que podem influenciar os cenários futuros, é recomendado avaliar os resultados de diferentes cenários como uma faixa de valores possíveis do que os valores discretos.

De forma complementar as conclusões obtidas nessa pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros, que sejam avaliados tanto o próximo grande sistema planejado para ser implantado para o abastecimento da RMSP, quanto outras tecnologias que explorem fontes alternativas, destacadamente as que envolvem processos de microfiltração ou ultrafiltração por membranas.

REFERÊNCIAS

ACQUABRASILIS. **Quantidade de projetos implantados.** Disponível em: <<https://www.acquabrasilis.com.br/empresa>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil – Caderno de Recursos Hídricos 2. Brasília, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifa de energia ELETROPAULO - 2003.** Disponível em: <http://www.energetica.eng.br/wa_files/Tarifas_202003_20-_202005.pdf>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifa de energia ELETROPAULO – 2017.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20172263ti.pdf>>. Acesso em: 8 de dezembro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras tarifárias.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras tarifárias até março de 2015.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/654800/14867739/Relatorio_do_Acionamento_das_Bandeiras_Tarifarias_at%C3%A9_mar%C3%A7o2015.pdf/1ffa7c80-adf4-9073-2674-5de62341b551>. Acesso em: 19 de maio de 2018b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras tarifárias até outubro de 2017.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/654800/14867739/Relatorio_do_Acionamento_das_Bandeiras_Tarifarias_abril2015-outubro2017.pdf/b447a504-543d-b336-4bfc-b502fd718b0d>. Acesso em: 19 de maio de 2018c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras tarifárias até maio de 2018.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/0/Relat%C3%B3rio+do+Acionamento+das+Bandeiras+Tarif%C3%A1rias+-+maio/367ad479-3d78-7a17-c0f6-a371bcb2cfb1>>. Acesso em: 19 de maio de 2018d.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifa de energia ELETROPAULO - 2018.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20182412ti.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018e.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Histórico de tarifas de energia ELETROPAULO - 2018.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/resultados-processos-tarifarios-de-distribuicao>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018f.

AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ARSESP). **Modelo Econômico-Financeiro ARSESP. Cálculo de Tarifa**

Média de Equilíbrio (P0) da SABESP. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/regulamentacao/Consultas-Publicas.aspx>>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575:** edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **CB-02 1º Projeto:** Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro, 2018.

BANCO MUNDIAL. **World Bank Development Report, Development and the Environment - World Development Indicators.** Washington, DC: Oxford University Press, p. 308, 1992.

BARRETO, S. Os riscos de um novo desabastecimento hídrico. **O Estado de São Paulo**, Disponível em: <https://digital.estadao.com.br/@orestes/csb_3NeLqhcIP-M9oVrftmy_ThvZ6dW3Vixh4kSUSO7MtekbOvbxyLrpBT7tOYmAx6ipk>. Acesso em: 16 de agosto de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde. **Portaria nº 5**, de 28 de setembro de 2017.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L.P. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BERTONE, E.; STEWART, R. Framework for Enhancing the Supply-Demand Balance of a Tri-Supply Urban Water Scheme in Australia. **Water**. v. 3, p. 976-987, 2011.

BRUK, M.B; BLACKHURST M.; KIRISITS M.J.; JAMARILLO P.; CARLSONS D. Feasibility of water and reuse technologies as demand-side strategies for urban water management. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. 320-331, 2016.

CALIMAN, O. Efeito escala. **Gazeta Online**. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2010/12/728929-efeito+escala.html>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Licença ambiental prévia para interligação entre as represas Jaguari (Bacia do Paraíba do Sul) e Atibainha (Bacia do Piracicaba – Capivari – Jundiaí).** São Paulo, 2015

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Estudo de concepção e projeto básico do Sistema Produtor São Lourenço – Relatório de impacto ao meio ambiente/RIMA.** São Paulo, 2011.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Estudo de concepção e projeto básico do Sistema Produtor São Lourenço – Estudo de impacto ambiental/EIA.** São Paulo, 2011b.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Resultado Anual 2012**. São Paulo, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo, 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Resultados 2017**. São Paulo, 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Relatório de Sustentabilidade 2017**. São Paulo, 2018b.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Situação dos Mananciais**. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=49>>. Acesso em: 12 de agosto de 2018c.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Sabesp descarta retomar política de bônus para economia de água**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/empresas/5734729/sabesp-descarta-retomar-politica-de-bonus-para-economia-de-agua>>. Acesso em: 16 de agosto de 2018d.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Tratamento de esgotos**. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=49>>. Acesso em: 12 de agosto de 2018e.

COOK, S.; SHARMA, A.K.; GURUNG, T.R. Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 86-93, 2014.

DAIGER, G.T. Evolving Urban Water and Residuals Management Paradigms: Water Reclamation and Reuse, Decentralization and Resource Recovery. **Water Environment Research**, v. 81:8, p. 809-823, 2009.

DIAS C.M., **Modelos para a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema predial de água não potável**. 2017. 221 p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 28 de abril de 2017.

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (DOSP). **Extrato de contrato CSS 35.307/13**. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/68387759/dosp-empresarial-01-04-2014-pg-126>>. Acesso em: 5 de outubro de 2017.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 55, p. 53-62, 2010.

DOMÈNECH, L.; VALLÈS, M. Local regulations on alternative water sources: greywater and rainwater use in the metropolitan region of Barcelona. **Investigaciones Geográficas**. v. 61, p. 87-96, 2014.

EDITAL DE CONCORRÊNCIA INTERNACIONAL SABESP CSS Nº 16.402/2012. **Parceria Público-Privada, por meio de concessão administrativa, para a prestação de serviços de operação e manutenção do empreendimento sistema produtor São Lourenço.** São Paulo, 2012.

ELETROPAULO. **Tarifa de energia elétrica.** Disponível em: <<https://www.aeseletpaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/paginas/tarifa-de-energia-eletrica.aspx>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A (EMPLASA). **Macrometrópole Paulista.** Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/MMP>>. Acesso em: 9 de setembro de 2017.

FERREIRA, T. V.; OLIVEIRA, L. H. Sistema descentralizado individual de água não potável: a necessidade da gestão da qualidade e da quantidade. **Ambiente Construído.** v. 18, p. 379-392. 2018

FOGLIATTO, F. **Pesquisa Operacional.** s/d. 167p. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, s/d.

GUO, T; ENGLEHARDT, J.D. Principles for scaling of distributed direct potable water reuse systems: A modeling study. **Water Research.** v. 75, p. 146-163. 2015.

GUO, T; ENGLEHARDT, J.D.; WU, T. Review of cost versus scale: water and wastewater treatment and reuse processes. **Water Science & Technology.** v. 69, p. 223-234. 2014.

HAGUIUDA, C; SANTOS NETTO, L.F.; COURA, S.P. Gestão da energia elétrica da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo. VII Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da SABESP. **Revista Saneas.** v. 9, 1996

HERNÁNDEZ, F; URKIAGA, A; DE LAS FUENTES, L; BIS, B; CHIRU, E; BALAZS, B; WINTGENS, T. Feasibility studies for water reuse projects: an economical approach. **Desalination.** v. 187, p. 253-261. 2006.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados,** v. 22, p. 131-158, 2008.

HESPANHOL, I. A ineroxabilidade do reúso potável direto. **Revista DAE.** v.63, p 63-82, 2015.

HESPANHOL, I. Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. **Revista USP.** v.106, p. 79-94, 2015.

INVESTING. **Cotação histórica dólar americano x real.** Disponível em: <<https://br.investing.com/currencies/usd-brl-historical-data>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

INVESTING b. **Cotação histórica euro x real.** Disponível em: <<https://br.investing.com/currencies/eur-brl-historical-data>>. Acesso em: 30 de outubro de 2017.

INVESTING c. **Cotação histórica dólar x euro.** Disponível em: <<https://br.investing.com/currencies/usd-eur-historical-data>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

IEMOBADE A.A.; ADEWUMI, J.R.; ZYL, J.E. Framework for assessing the viability of implementing dual water reticulation systems in South Africa. **Water SA**. v. 35:2, p. 216-227, 2009.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Sabesp perde 36% da água e trata 52% do esgoto em SP, diz instituto.** Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/sabesp-perde-36-da-agua-e-trata-52-do-esgoto-em-sp-diz-instituto-8>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.

LEIFERT, S. **Segurança Hídrica, a interligação de bacias e sistemas.** São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot10311.pdf>>. Acesso em: 5 de outubro de 2017.

LOH, M.; COGHLAN, P. **Domestic water use study.** Water Corporation. Perth. 2003. 36 p.

MARINGÁ. Lei nº 6.345, de 15 de outubro de 2003. Institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Maringá, 2003.

MARINS, F.A.S. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 176p. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

MARQUES I.G.; OLIVEIRA L.H. **Padronização de terminologia e de conceitos de sistemas prediais de água não potável.** Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). São Paulo, 2014. 9 p.

MATOS, C; PEREIRA, S; AMORIM, E.V.; BENTES, I; BRIGA-SÁ, A. Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems – An integrated approach on water quality, energy consumption and CO₂ emissions. **Science of the Total Environment**. v. 493, p. 463-471. 2014.

NITERÓI. Lei nº 2.856, de 25 de julho de 2011. Estende as obrigações da Lei nº. 2630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Niterói, 2011.

NUNES C.M.; LIBÂNIO P.A.C.; SOARES S.R.A. Custos unitários de implantação de estações de tratamento de esgotos a partir da base de dados do programa despoluição de bacias hidrográficas – PRODES. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 1-6, 2005.

OLIVEIRA L.H.; GONÇALVES O.M. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. 1ª ed. São Paulo; EPUSP-PCC. 1999. 18 p.

OLIVEIRA L.H.; GONÇALVES O.M.; UCHIDA C. Performance evaluation of dual-flush WC cistern in a multifamily building in Brazil. **Building services engineering research and technology**, v. 30, p. 27-36, 2009.

OLIVEIRA L.H.; CORRÊA F.R.; SANTOS, M.O. Sistemas de água não potável: centralizados ou descentralizados? **Revista Hydro**, v. 88, p. 54-57, 2014.

OLIVEIRA S.V.W.B, **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 188 p. Tese – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 10 de novembro de 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Novo estudo da ONU indica que mundo terá 11 bilhões de habitantes em 2100**. Disponível em: <www.nacoesunidas.org/novo-estudo-da-onu-indica-que-mundo-tera-11-bilhoes-de-habitantes-em-2100/>. Acesso em: 05 de setembro de 2016.

PORTAL BRASIL. **Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado**. Disponível em: <<https://www.portalbrasil.net/incc.htm>>. Acesso em: 12 de agosto de 2018.

PORTAL BRASIL b. **Índice Geral de Preços do Mercado**. Disponível em: <<https://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

REAMI L. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso Restinga SP**. 2011. 207 p. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 25 de agosto de 2011.

RODRIGUES C.U. **Avaliação do consumo de água de bacias sanitárias com volume de descarga reduzido e sistema de descarga dual**. 2006. 198 p. Dissertação – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 4 de julho de 2006.

SANT'ANA, D.; BOERGER, L.; MONTEIRO, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais em Brasília – parte 1: reduções no consumo de água. **Paranoá**. v. 10, p. 77-84, 2013.

SANTOS, A. M. **Tratamento descentralizado de esgotos domésticos em sistemas anaeróbios com posterior disposição do efluente no solo**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

SANTOS, M.P. **Programação Linear**. 146p. Departamento de Matemática Aplicada Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SAUTCHÚK, C. A. *et al.* **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo, 2005, 152 p. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005>>. Acesso em 25 de agosto de 2017.

SILVA, S. *et al.* **Avaliação de políticas para preservação e recuperação de mananciais de abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SINAPI. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil não desonerado – abril de 2014**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

SINDICATO DOS TRABALHADORES EM EDIFÍCIOS E CONDOMÍNIOS DE SÃO PAULO (SINDIFÍCIOS-SP). **Convenção coletiva de trabalho 2017/2018**. São Paulo, 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em 2 de novembro de 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico anual de água e esgotos**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em 2 de dezembro de 2018.

SUBTIL, E.L.; HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C. Biorreatores com Membranas Submersas (BRMs): alternativa promissora para o tratamento de esgotos sanitários para reúso. **Ambiente&Água**. v.8, p. 129-142, 2013.

SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIM, V.; A.T.M.N. Potential of decentralized waste water management of urban development. Case of Bangkok. **Habitat International**. v.36, p. 85-92, 2012.

TDCHART. **NTN-B 150535 taxa compra**. Disponível em: <<http://tdcharts.info/titulos>>. Acesso em: 2 de novembro de 2017.

TSUTIYA M.T. **Abastecimento de água**. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Primer of Municipal Wastewater Treatment Systems**. Washington DC, 2004.

Von Sperling M., Van Haandel A.C., Jordão E.P., Campos J.R., Cybis L.F., Aisse M.M., Sobrinho P.A. **Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados**. Programa em Saneamento Básico (PROSAB), 2001.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Potable reuse: guidance for producing safe drinking water**. Geneva, Suíça, 2017.

**ANEXO A – PROPOSTA COMERCIAL DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE
ÁGUAS CINZAS**

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA [REDACTED]		
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

OBRA:		
[REDACTED]		
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA REUSO EM FINS NÃO-POTÁVEIS		
TECNOLOGIA [REDACTED]		
PROPOSTA TÉCNICO-COMERCIAL [REDACTED] nº G-871-01-10-F-Rev.03		
06 / dezembro / 2010		
[REDACTED]

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA [REDACTED] SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

PROPOSTA TÉCNICA

1. GENERALIDADES

1.1. Objeto

A presente proposta técnica refere-se a elaboração de projeto e fornecimento de **Sistema de Tratamento de Águas Cinzas** (*gray water*) com tecnologia [REDACTED] para reuso e **Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais**, para uso em fins não potáveis a ser instalado no condomínio residencial [REDACTED] localizado no bairro da Saúde, em São Paulo - SP.

1.2. Dados operacionais

Atendendo a sua solicitação, apresenta-se, a seguir, proposta para tratamento e reuso de água cinza, proveniente de **chuveiros e lavatórios** de parte da torre do empreendimento e conduzidos por rede independente de águas cinzas, com **vazão média de 15m³/dia**, para aproveitamento em **irrigação de áreas verdes, limpeza de áreas comuns e descarga em vasos sanitários**.

- usuários: **340 moradores (moradores e funcionários)**
- consumo de águas cinzas de projeto: **13,6 m³/d**
- vazão média diária: **15 m³/d**
- carga orgânica estimada na entrada da estação: **2,25 kg.DBO₅/dia**

2. SISTEMA PROPOSTO

2.1. Concepção

2.1.1. Estação de Tratamento de Águas Cinzas

O sistema de tratamento foi concebido de acordo com as normas alemãs referentes a corpos rotativos de imersão, com aplicação de tecnologia de biofilme e técnicas mais modernas, tendo sido, ainda, extensamente aproveitada a larga experiência da associada alemã, bem como, a experiência acumulada pela [REDACTED] nas estações implementadas no Brasil. Ressalta-se, aqui, a ETE construída para a Petrobrás, no CEPEMA, junto à Refinaria de Presidente Bernardes, em Cubatão, Estado de São Paulo, dimensionada para reuso, atualmente em operação.

Trata-se de um sistema de tratamento biológico, a ser inserido em um tanque de concreto ou alvenaria, com câmaras internas dimensionadas para as seguintes etapas:

- decantação primária;
- tratamento biológico por sistema de rotores [REDACTED];
- decantação secundária;
- câmara de sucção.

A partir da câmara de sucção, com contribuição de águas pluviais, água é encaminhada, sob pressão, a partir da câmara de sucção para um filtro e para uma unidade de desinfecção. Finalmente, está previsto um reservatório inferior de água de reuso tratada, a partir do qual é recalçada para um reservatório superior.

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL	
CONSTRUTORA SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03	

Todo o funcionamento do sistema é controlado a partir de um painel de controle, o qual permitirá programar o sistema de modo automático, sem que haja necessidade de operador contínuo.

A tecnologia de tratamento biológico com rotores para água cinza, por meio da tecnologia [REDACTED], foi trazida da Alemanha pela [REDACTED]. Trata-se de processo que se caracteriza por permitir a concepção de soluções extremamente compactas, silenciosas e eficientes. É processo essencialmente aeróbio, não produzindo cheiro que possa incomodar pessoas que residam ou trabalham nas suas proximidades. Diferencia-se de outros sistemas por consumir pouca energia elétrica e garantir rápida resposta em situações de variação de vazão e carga orgânica, mantendo sua eficiência para vazões mínimas e máximas.

Considerando-se que o volume de águas cinzas produzido no empreendimento pode ser maior do que o consumo, deve-se definir, em projeto, se haverá ou não descarte e/ou desvios de águas cinzas antes da entrada na central de tratamento.

2.1.2. Estação de Tratamento de Águas Pluviais

O sistema proposto irá utilizar a água coletada a partir do telhado e, antes de ser armazenada em reservatório inferior (cisterna), passará pelo sistema de filtragem [REDACTED] onde ocorrerá a separação de sólidos grosseiros como galhos e folhas, caso necessário.

Considerando a precipitação pluvial da cidade, área de telhado existente e o espaço disponível, pode-se definir, no projeto, o volume desejável de armazenamento de água pluvial, compatibilizando a melhor relação custo x benefício, levando em conta a autonomia do sistema e o investimento na sua implantação.

Geralmente, prevê-se a instalação de um reservatório superior, dotado de bóia de nível, a ser ligada a um painel de controle, que fará ligar e desligar uma bomba centrífuga de recalque, a qual succionará a água da cisterna (reservatório inferior) para o reservatório inferior secundário ou superior.

Alternativamente, o sistema pode ser acionado por pressostato instalado na tubulação. Quando as torneiras localizadas nos pontos de consumo forem abertas, o painel elétrico aciona a bomba centrífuga que recalca água do reservatório inferior a esses pontos.

A água recalçada a partir da cisterna passa por um filtro e um clorador em linha, chegando tratada ao reservatório de retrolavagem, ao reservatório inferior secundário (interligação com sistema de águas cinzas) e aos pontos de consumo.

O sistema de tratamento é dotado de unidade de filtragem, com camadas de areia de diferente granulometrias e ainda carvão ativado, e sistema de desinfecção com dosagem de cloro por contato na linha.

O filtro é ligado a uma bomba centrífuga para retrolavagem, que será realizada com água armazenada em reservatório menor com volume suficiente para esta finalidade (500 litros), controlada por acionamento direto no painel de comando, excluindo a necessidade de intervenção humana para tal.

A fim de que não falte água de chuva tratada para consumo não potável, prevê-se a inserção de uma válvula solenóide ligada ao reservatório superior, a qual, não havendo água de chuva, permitirá a entrada de água da concessionária no reservatório.

Outra válvula solenóide será instalada próxima ao reservatório de retrolavagem do filtro a fim de controlar a entrada de água tratada e evitar, em integração com bóias de nível, que a bomba de retrolavagem ligue com o reservatório vazio.

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA		
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

2.2. Fluxograma básico do efluente no sistema de tratamento

Obs: As dimensões e formatos das unidades acima são meramente ilustrativas.

2.3. Dimensões da estação

O sistema poderá ser totalmente ou parcialmente enterrada ou, até mesmo, apoiada sobre o terreno.

Estima-se, preliminarmente, as dimensões finais da estação, **em planta**, de **35m²** (7x5m), com uma altura média de 2,0 m. Essas medidas poderão ser alteradas para um pouco mais ou um pouco menos ao longo da elaboração e detalhamento do projeto.

2.4. Eficiência do sistema

O sistema proposto foi dimensionado para atendimento aos requisitos mínimos de qualidade de água para reúso, conforme item 1.2 estimando-se uma **eficiência mínima de remoção de DBO de 90%** para padrão de reúso de águas em fins não potáveis.

2.5. Obras civis

Prevê-se o fornecimento de tanques em fibra de vidro reforçada para recebimento de águas cinzas. Para locação dos tanques, será necessária construção de base para os tanques e apoios do sistema.

A Acquabrisilis fornecerá os desenhos necessários para cálculo estrutural com o peso e solicitações do sistema completo.

2.6. Manutenção e operação

Comprovadamente, os sistemas [REDACTED] garantem tranquilidade para o cliente, seja na operação ou na manutenção. Operam sem a necessidade de monitoramento constante de funcionários. Recomenda-se apenas vistoria diária na rotina da equipe de manutenção para verificação de funcionamento.

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL			
CONSTRUTORA			
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03			

Na questão de manutenção, deve-se incluir, a cada três meses, parada do sistema para aperto de parafusos e lubrificação geral do conjunto, além da verificação do nível de cloro (solução hipoclorito).

Tratando-se de água de reuso, será prevista e definida pela rotina de monitoramento da qualidade da água tratada por meio de análises periódicas.

Se for de interesse do cliente, e no sentido de garantir a qualidade da água de reuso, a poderá apresentar contrato de controle e manutenção do sistema de tratamento.

Obs:

1. O "lodo" gerado é aquoso e será disposto normalmente na rede pública de coleta de esgotos, não causando nenhum problema.
2. O único produto químico a ser usado é o cloro, seja em forma de tabletes ou em forma líquida. De todo modo a despesa mensal é irrisória. Estima-se que não passe de R\$ 80,00 por mês.
3. O sistema de rotores é acionado por motor de aprox. 0,75 KW. Estima-se, preliminarmente, um consumo de energia, com a utilizada pelas bombas de retrolavagem e do filtro, em torno de 1.000 KWh/mês.
4. O sistema garante a vazão necessária para o abastecimento normal de vasos sanitários do empreendimento. Somente em situação eventual de manutenção, quando o abastecimento de água de reuso poderá ser cortado, é que o abastecimento dos vasos sanitários poderá ser feito por água da concessionária Sabesp. Neste caso, o abastecimento de água potável poderá ser realizado diretamente no reservatório superior de água de reuso por meio da abertura de uma válvula, ligada ao painel de controle do sistema de reuso.
5. Exceto nas horas de manutenção, o sistema deverá funcionar de modo automático, de acordo com programação em painel elétrico.
6. A assistirá o cliente, promovendo uma operação assistida, nos primeiros 12 meses após a emissão do "habite-se", ficando incluídos na presente proposta até 08 visitas técnicas presenciais e assessoria e orientação técnica contínua à distância (por telefone ou e-mail) ao longo desse período.

2.7. Despesas operacionais

Basicamente, as despesas previstas são as seguintes

- 10 horas-homem/mês de funcionário de manutenção;
- graxa para os conjuntos rotativos;
- solução de hipoclorito;
- energia elétrica (consumo máx estimado para a parte dos rotores de 600 KWh por mês).

2.8. Documentos técnicos a serem fornecidos

Serão fornecidos ao longo da execução do projeto:

- implantação do sistema;
- lay out do sistema, perfil hidráulico;
- fluxograma de engenharia do processo;
- projeto elétrico;

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA [REDACTED] SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

- projeto hidro-mecânico da estação;
- memorial descritivo / cálculo dos sistemas de tratamento;
- ART – Anotação de Responsabilidade Técnica junto ao CREA.

Será fornecido no final, após os testes do sistema, DATA BOOK com todos os dados de dimensionamento e instruções de operação e manutenção do sistema, além de dados sobre cada elemento específico (bomba, motoredutor, por exemplo).

2.9. Montagem e instalação

Por equipe da [REDACTED], que fará toda a montagem, interligações hidráulicas e elétricas, supervisão instalação do sistema, além de testes de funcionamento e *start up*.

2.10. Garantia

A [REDACTED] assume garantia de 12 (doze) meses para o processo.

[REDACTED]

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

PROPOSTA COMERCIAL**3. Investimento:****3.1 Valores:**

EQUIPAMENTOS ACQUABRASILIS	DESINFECÇÃO Ultra-violeta	TANQUES EM FIBRA	INSTALAÇÃO	<u>TOTAL</u>
R\$ 48.500,00	R\$ 6.500,00	R\$ 25.000,00	R\$ 5.000,00	<u>R\$ 85.000,00</u>

Os valores acima já incluem:

Equipamentos Águas Cinzas:

- sistema com 1 eixo com 2 rotores com diâmetros de 1,50 m, fabricados com enchimento de PP com superfície específica de 150 a 240 m²/m³, estrutura metálica pintada contra corrosão;
- motoredutor para acionamento do sistema;
- quadro de automação, proteção e controle;
- sistema de desinfecção por UV;
- conjunto de tanques em fibra de vidro reforçada para recebimento do sistema.

Equipamentos Águas Pluviais:

- unidade de filtração com material filtrante ou cartucho;
- unidade de desinfecção (cloração);
- bombas de recalque e retrolavagem;
- painel elétrico de comando – integrado com o sistema.

Instalação

- montagem e instalação dos equipamentos na obra;
- instalação hidráulica conforme projeto;
- instalação elétrica com automação e painel de comando;
- partida do sistema e acompanhamento do funcionamento e eficiência;
- treinamento de operadores e entrega de Manual de Operação.

Elaboração e entrega de Manual de Operação e Manutenção:

- tipos e periodicidade de controles a serem realizados;
- manuais técnicos de equipamentos utilizados;
- descrição do quadro de automação e comando;
- plano de monitoramento da qualidade da água.

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA XXXXXXXXXX SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

Não incluem:

- Reservatórios inferior e superior de água de reúso;
- Obras civis (construção de bases para os tanques, escavação, tubulação de distribuição ou recalque de águas).

3.2. Condições de pagamento:

Equipamentos:

50% - sinal (ordem de fabricação)

50% - entrega dos equipamentos

Instalação:

75% - Montagem dos equipamentos

25% - Start-up da estação (início do funcionamento)

3.3. Impostos:

Os valores incluem as alíquotas dos impostos incidentes:

- a) ISS – 5 % sobre o valor faturado de prestação de serviços;
- b) Pis – 0,65 % sobre o valor faturado;
- c) Cofins – 3,00 % sobre o valor faturado;
- d) IRPJ – 4,8 % sobre o valor faturado;
- e) CSSL – 2,88 % sobre o valor faturado;
- f) ICMS – 18% no Estado de São Paulo.

4. Prazo de fornecimento:

Equipamentos:

À partir da autorização do cliente – 45 dias

Instalação:

Start-up – 05 dias

Condições a serem verificadas de acordo com cronograma a ser definido por cliente e XXXXXXXXXX.

5. Validade da proposta:

30 dias.

PROPOSTA TÉCNICO - COMERCIAL		
CONSTRUTORA
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS Proposta nº G-871-01-10-F-Rev.03		

DE ACORDOETAPA 2 – Fornecimento de Equipamentos

Nome:

RG:

CPF:

Função na empresa:

Assinatura:

**ANEXO B – MINUTA DE CONTRATO: MANUTENÇÃO DE SISTEMA DE
TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS**

CONTRATO DE MANUTENÇÃO		

CONTRATO DE MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS

IDENTIFICAÇÃO DAS PARTES CONTRATANTES

CONTRATANTE: [REDACTED], com endereço na Rua [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
diretore(s)/síndico [REDACTED].

CONTRATADA: [REDACTED], com sede em São Paulo, Capital, na [REDACTED], inscrita no C.N.P.J. sob o nº [REDACTED], e no Cadastro Estadual sob o nº [REDACTED], neste ato representada [REDACTED],
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

As partes acima identificadas têm, entre si, justo e acertado o presente Contrato de Manutenção de Sistemas de Tratamento [REDACTED], que se regerá pelas cláusulas seguintes e pelas condições descritas no presente.

DO OBJETO DO CONTRATO

Cláusula 1ª. O presente contrato tem como OBJETO, a manutenção a ser realizada pela **CONTRATADA**, nos Sistemas de tratamento de águas cinzas para reuso e de aproveitamento de águas pluviais, fornecidos e instalados [REDACTED], existentes no imóvel situado à Rua [REDACTED], [REDACTED].

DA MANUTENÇÃO

Cláusula 2ª. Para realizar a manutenção dos Sistemas de tratamento de água acima descritos, a CONTRATADA realizará semanalmente os seguintes serviços:

[REDACTED]

- revisão geral do sistema;
- ajustes dos conjuntos filtro + bombas, quando necessário;
- substituição de peças e suprimentos relativos ao sistema, quando necessário;
- orientação geral ao(s) técnico(s) da manutenção do cliente;
- emissão de relatório de visita sucinto;
- controle de qualidade da água, com medição de teores de cloro e pH.
- fornecimento e troca de elemento filtrante (cartucho);
- reposição de hipoclorito, pastilhas de cloro e colorífico, conforme demanda.
- emissão de relatório de análise da qualidade da água a cada 04 (quatro) meses.

Cláusula 3ª. A **CONTRATADA** se responsabilizará pelo fornecimento dos materiais necessários ao serviço e das peças de reposição e os custos correrão por conta da **CONTRATANTE (mediante aprovação previa)**, exceto fornecimento e troca de elemento filtrante (cartucho) e reposição de hipoclorito, pastilhas de cloro e colorífico, conforme demanda.

DAS OBRIGAÇÕES DA CONTRATANTE

Cláusula 4ª. A **CONTRATANTE** responsabiliza-se pelas condições necessárias para a perfeita realização dos serviços, permitindo o acesso dos funcionários da **CONTRATADA** aos equipamentos e locais necessários para a realização da manutenção.

Cláusula 5ª. A **CONTRATANTE** obriga-se a não permitir que pessoas não autorizadas pela **CONTRATADA** entrem em contato com os sistemas fornecidos pela [REDACTED].

Cláusula 6ª. A **CONTRATANTE** deverá comunicar imediatamente à **CONTRATADA** qualquer defeito ou problema detectado na estrutura ou no funcionamento dos equipamentos que compõem os sistemas de tratamento.

Cláusula 7ª. A **CONTRATANTE** compromete-se a cumprir todas as recomendações dadas pela **CONTRATADA**, a fim de manter por mais tempo os equipamentos em perfeito estado de uso.

DAS OBRIGAÇÕES DA CONTRATADA

[REDACTED]

Cláusula 9ª. A **CONTRATADA** responsabiliza-se por atender aos chamados da **CONTRATANTE** em virtude de problemas técnicos nos equipamentos, durante o expediente de serviço desta, que vai das 8h00 às 17h30 horas, em dias úteis.

Cláusula 10ª. Fora do expediente de serviço, a **CONTRATADA** compromete-se a somente atender chamados urgentes, que necessitem de rápido conserto.

Cláusula 11ª. É responsabilidade única e exclusiva da **CONTRATADA** todos os encargos trabalhistas e sociais dos seus funcionários, bem como o cumprimento de todas as normas de segurança do trabalho pelos seus funcionários quando estiverem atuando no endereço da **CONTRATANTE**.

Cláusula 12ª. A **CONTRATADA** compromete-se a enviar a nota fiscal mensal de seus serviços até o dia 5 do mês subsequente ao serviço realizado, observando todas as retenções tributárias previstas em Lei.

DO PREÇO

Cláusula 13ª. Pela prestação dos serviços contratados, a **CONTRATANTE** pagará à **CONTRATADA** a quantia mensal de R\$ 1.400,00 (hum mil e quatrocentos reais), até o dia 12 do mês seguinte ao do serviço realizado (este será contabilizado a partir do mês de assinatura deste documento).

Cláusula 13.1. O valor do contrato será reajustado pelo índice IGPM após o período de 01 (um) ano tomando-se como data base o de assinatura deste instrumento.

DA RESCISÃO

Cláusula 14ª. O presente instrumento, também, poderá ser rescindido por qualquer uma das partes, a qualquer momento, desde que a outra parte seja avisada com um mês de antecedência.

DO PRAZO

Cláusula 15ª. O presente contrato terá início na data de sua assinatura e vigorará por prazo indeterminado.

DO FORO

Cláusula 16ª. Para dirimir quaisquer controvérsias oriundas do presente CONTRATO, as partes elegem o foro Central da comarca de São Paulo SP.

Por estarem assim justos e contratados, firmam o presente instrumento, em duas vias de igual teor, juntamente com 2 (duas) testemunhas.

São Paulo, 01 de dezembro de 2013.

CONTRATANTE: CONDOMINIO EDIFICIO _____

CONTRATADA: _____.

1) Testemunha: _____
RG: _____

2) Testemunha: _____
RG: _____

**APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE VISITA NO EDIFÍCIO DO
ESTUDO DE CASO**

Figura A.1 – Tanque de equalização, decantador primário, rotores, decantador secundário e tanque de acúmulo

Fonte: o autor (2017)

Figura A.2 – Filtro, reservatório de corante, reservatório de hipoclorito de sódio, tanque de acúmulo

Fonte: o autor (2017)

Figura A.3 – Reservatório superior, água cinza recuperada para a distribuição aos apartamentos

Fonte: o autor (2017)

**APÊNDICE B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE
LINDO™**

Figura B.1 – Aplicação do modelo no cenário base para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.2 – Resolução do cenário base para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.3 – Aplicação do modelo no cenário base para o ano 5

```

LINDO - [untitled]
File Edit Solve Reports Window Help
MIN 59718X11+4153X12+37318X13+109016X21+7624X22+60443X23+475554X31+27829X32+192920X33+1248913611X41+24898257X42+268295540X43
ST
X12-X11<=0
X13-X12<=0
X22-X21<=0
X23-X22<=0
X32-X31<=0
X33-X32<=0
X42-X41<=0
X43-X42<=0
45X11+90X21+448X31+1966131X41>=1966131
45X12+90X22+448X32+1966131X42>=1966131
45X13+90X23+448X33+1966131X43>=1966131
END
GIN 12

```

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.4 – Resolução do cenário base para o ano 5

The screenshot displays the LINDO Solver interface. The main window shows the 'Reports Window' with the following text:

```

NEW INTEGER SOLUTION OF 0.154210739E+10 AT BRANCH 0 PIVOT 7
BOUND ON OPTIMUM: 0.1542107E+10
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 7

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 0.1542107E+10

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
X11           0.000000    59718.000000
X12           0.000000    4153.000000
X13           0.000000    37318.000000
X21           0.000000    109016.000000
X22           0.000000    7624.000000
X23           0.000000    60443.000000
X31           0.000000    475554.000000
X32           0.000000    27829.000000
X33           0.000000    192920.000000
X41           1.000000    *****
X42           1.000000    24898256.000000
X43           1.000000    268295536.000000

ROW  SLACK OR SURPLUS  DUAL PRICES
2)   0.000000         0.000000
3)   0.000000         0.000000
4)   0.000000         0.000000
5)   0.000000         0.000000
6)   0.000000         0.000000
7)   0.000000         0.000000
8)   0.000000         0.000000
9)   0.000000         0.000000
10)  0.000000         0.000000
11)  0.000000         0.000000
12)  0.000000         0.000000

NO. ITERATIONS= 7
BRANCHES= 0 DETERM.= 1.000E 0

```

Overlaid on the bottom right is the 'LINDO Solver Status' dialog box, which provides the following 'Optimizer Status':

- Status: Optimal
- Iterations: 7
- Infeasibility: 0
- Objective: 1.54211e+009
- Best IP: 1.54211e+009
- IP Bound: 1.54211e+009
- Branches: 0
- Elapsed Time: 00:00:00

The dialog box also includes an 'Update Interval' set to 1, and buttons for 'Interrupt Solver' and 'Close'.

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.5 – Aplicação do modelo no cenário base para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.6 – Resolução do cenário base para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.7 – Aplicação do modelo no cenário base para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.8 – Resolução do cenário base para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.9 – Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.10 – Resolução do cenário com efeito escala para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.11 – Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.12 – Resolução do cenário com efeito escala para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.13 – Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.14 – Resolução do cenário com efeito escala para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.15 – Aplicação do modelo no cenário com efeito escala para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.16 – Resolução do cenário com efeito escala para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.17 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.18 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.19 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.20 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.21 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.22 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.23 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.24 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.25 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.26 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.27 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.28 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.29 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.30 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.31 – Aplicação do modelo no cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.32 – Resolução do cenário com aumento de custos operacionais crescentes para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.33 – Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.34 – Resolução do cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 0

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.35 – Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.36 – Resolução do cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.37 – Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.38 – Resolução do cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 10

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.39 – Aplicação do modelo no cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura B.40 – Resolução do cenário com aumento do consumo de água *per capita* para o ano 15

Fonte: elaborado pelo autor (2018)