

Roberta Jacoby Cureau

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA
DECORRENTE DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA
POTÁVEL EM JOINVILLE-SC**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil.
Orientador: Enedir Ghisi, PhD.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Cureau, Roberta Jacoby
Potencial de economia de energia elétrica decorrente da redução do consumo de água potável em Joinville-SC / Roberta Jacoby Cureau ; orientador, EneDir Ghisi, 2019.
176 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Redução do consumo de água potável. 3. Economia de energia elétrica. 4. Sistemas de abastecimento de água. 5. Sistemas de esgotamento sanitário. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Roberta Jacoby Cureau

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA
DECORRENTE DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA
POTÁVEL EM JOINVILLE-SC**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Civil” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 26 de fevereiro de 2019.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Eneir Ghisi, PhD.
Orientador – UFSC

Prof. Douglas Barreto, Dr.
UFSCar (Videoconferência)

Prof. Devis Luis Marinoski, Dr.
UFSC

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.
UFSC

AGRADECIMENTOS

Ao professor Enedir Ghisi, pela dedicação e eficiência com que conduz suas orientações e pelo exemplo de comprometimento e seriedade.

Aos professores Deivis Marinoski, Douglas Barreto e Pablo Sezerino, por aceitarem o convite para avaliar este trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

À Companhia Águas de Joinville, em especial ao Almir de Oliveira, pelo fornecimento de dados que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira, pela concessão dos dados de precipitação diária.

Ao Diego Custódio, por disponibilizar as informações referentes às áreas de cobertura utilizadas no seu trabalho.

À professora Andreza Kalbusch, por despertar em mim o interesse pela pesquisa científica e por ser um exemplo de amor e dedicação a sua profissão.

Às amigas Débora, Mirian, Nina e Scarllaty, por sempre estarem presentes apesar da distância física.

À Andréa, Bruna, Jéssica, Rafael, Ricardo e demais colegas do LabEEE, por todas as vezes que me ajudaram e contribuíram com a minha pesquisa e pelos diversos momentos de descontração.

À Larissa e à Maíra, pelo companheirismo dentro e fora da universidade.

Ao Mateus e ao Matheus, pelas risadas e conselhos e pela amizade construída ao longo deste ano.

À Julia e ao Pedro, pela acolhida em Florianópolis e por permitirem que nos tornássemos ainda mais unidos.

À Regina e ao Roberto, pelo amor incondicional, por serem meus maiores incentivadores e por não medirem esforços para que eu e meu irmão sejamos felizes.

RESUMO

O setor da água é um dos maiores consumidores de energia no mundo. A energia é necessária para a captação da água, seu tratamento e distribuição à população e, posteriormente, para o tratamento e disposição final dos efluentes gerados a partir do seu uso. Portanto, a conservação destes recursos está intimamente relacionada. O objetivo deste trabalho é estimar o potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, em escala municipal, resultante da redução do consumo de água potável nas edificações residenciais, públicas e comerciais da cidade de Joinville-SC. Foram consideradas quatro estratégias para promover a economia de água potável: substituição das válvulas de descarga convencionais por modelos de duplo acionamento, reúso de água cinza, aproveitamento de água pluvial e combinação destas três estratégias. Para cada um desses casos, foram determinadas as economias mínima e máxima de água em cada tipologia de edificação, definindo a respectiva redução da geração de esgoto. Estimaram-se os potenciais mínimo e máximo de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Foi verificado o impacto financeiro dessas ações para a concessionária responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário em Joinville, analisando se a empresa teria ou não prejuízo em cada caso avaliado. O potencial de redução do consumo de água potável variou de 1,7% a 50,5% dentre os casos analisados, e o potencial de diminuição da geração de esgoto variou de 2,1% a 52,1%. O setor residencial unifamiliar foi o mais representativo para a economia de água. A tipologia pública seria a que menos contribuiria para a redução do consumo de água. Foi constatado que para baixas demandas de água não potável, a estratégia mais viável para economizar água é o reúso de água cinza. Quando a demanda não potável for elevada e houver área de cobertura considerável para captação de água da chuva, recomenda-se a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial. A maior economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário seria proporcionada pela adoção simultânea das três estratégias, tanto no cenário de mínima quanto no de máxima economia de água. O setor mais representativo para a economia

de energia elétrica também seria o residencial unifamiliar, enquanto a menor contribuição seria do setor público. A concessionária local não seria prejudicada financeiramente em nenhum dos cenários analisados. Quanto menor a economia de energia elétrica, mais positivo o impacto financeiro. Isso se deve a arrecadação relacionada ao pagamento das tarifas mínimas de água e esgoto em Joinville, que contribuiu muito para o lucro obtido pela concessionária, principalmente nos cenários de mínima economia de água. Desta forma, concluiu-se que além dos benefícios ambientais positivos da economia de água, menor geração de esgoto e economia de energia elétrica, a concessionária local também seria beneficiada financeiramente com a adoção em escala municipal dessas estratégias.

Palavras-chave: Redução do consumo de água potável. Economia de energia elétrica. Sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

ABSTRACT

The water sector is a major consumer of energy in the world. Energy is required for water withdrawal, for its treatment and distribution to population and for wastewater treatment. Therefore, the conservation of these resources is closely related. The aim of this study is to estimate the potential for electricity savings in municipal water supply and sewage systems, resulting from the reduction of potable water consumption in residential, public and commercial buildings in Joinville-SC. Four strategies were considered to promote potable water savings: replacement of conventional toilets with dual-flush ones, greywater reuse, rainwater harvesting and the simultaneous adoption of these three strategies. For all these scenarios, minimum and maximum water savings were determined for each type of building; the corresponding reduction of sewage production was also estimated. Minimum and maximum potential for electricity savings in water supply and sewage systems were estimated. The financial impact of these actions for the water and sewage utility in Joinville was verified, analyzing whether the utility would have profit or loss in each case evaluated. Potential for potable water savings ranged from 1.7% to 50.5% among the cases, and potential for wastewater production decrease ranged from 2.1% to 52.1%. The single-family residential sector was the most representative for water savings. Public buildings would be the least contributors for water savings. For low demands of non-potable water, greywater reuse seems to be the most viable alternative to save water. When non-potable demand is high and catchment area is large, the best strategy for achieving water savings is rainwater harvesting. Simultaneous adoption of the three strategies would provide the greatest energy savings in water supply and sewage systems in both minimum and maximum water saving scenarios. Single-family residential buildings would also be the most representative for electric energy savings, while the smallest contribution would come from the public sector. All scenarios analyzed would be profitable for the local utility. The lower the electricity savings, the higher the profit. This is due to the earnings related to payment of minimum water and sewage tariffs in Joinville, which has contributed to the profit obtained by the utility, mainly in minimum water saving scenarios. Thus, it was concluded that besides the positive environmental

benefits of potable water savings, lower wastewater production and energy savings, the local utility would also benefit financially by adopting these strategies on a municipal scale.

Keywords: Potable water savings. Electricity savings. Water supply and sewage systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Intensidade energética dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em Joinville.....	58
Figura 2 - Fluxograma do método proposto para estimar o potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Joinville.....	62
Figura 3 - Interface do SIMGeo.....	69
Figura 4 - Variação dos usos finais da água nos cenários de cada tipologia de edificação.....	83
Figura 5 - Porcentagem de consumo de água em cada setor na cidade de Joinville.....	85
Figura 6 - Porcentagem de geração de esgoto em cada setor na cidade de Joinville.....	85
Figura 7 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial unifamiliar.....	94
Figura 8 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial multifamiliar.....	95
Figura 9 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor público.....	96
Figura 10 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor comercial.....	97
Figura 11 - Precipitação diária em Joinville de 1996 a 2016....	101
Figura 12 - Precipitação mínima, máxima e média mensal em Joinville de 1996 a 2016.....	101
Figura 13 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial unifamiliar.....	104
Figura 14 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial multifamiliar.....	105
Figura 15 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor público.....	106
Figura 16 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor comercial.....	107
Figura 17 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável decorrentes de cada estratégia.....	118
Figura 18 - Reduções mínima e máxima da geração de esgoto decorrentes de cada estratégia.....	119

Figura 19 - Porcentagem de economia de energia elétrica correspondente a cada tipologia de edificação decorrente da redução do consumo de água potável.....	123
Figura 20 - Porcentagem de economia de energia elétrica correspondente a cada tipologia de edificação decorrente da redução da geração de esgoto	124
Figura 21 - Economia de energia elétrica e impacto financeiro para os cenários de mínima e máxima redução do consumo de água de cada estratégia.....	127
Figura B.1 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial unifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	159
Figura B.2 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial multifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias	161
Figura B.3 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor público para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	163
Figura B.4 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor comercial para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	165
Figura B.5 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial unifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	167
Figura B.6 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial multifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias	170
Figura B.7 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor público para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	171
Figura B.8 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor comercial para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias.....	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perfil de consumo de água em diferentes tipologias de edificação	29
Tabela 2 – Usos finais da água em edificações residenciais unifamiliares	34
Tabela 3 - Usos finais da água em edificações residenciais multifamiliares.....	35
Tabela 4 - Usos finais da água em edificações públicas.....	36
Tabela 5 - Usos finais da água em edificações comerciais.....	36
Tabela 6 - Potencial de economia de água potável em duas escolas considerando diferentes estratégias.....	45
Tabela 7 - Potencial de economia de água potável em duas residências considerando diferentes estratégias.....	46
Tabela 8 - Potencial de economia de água potável em três edifícios residenciais multifamiliares considerando diferentes estratégias	47
Tabela 9 - Intervalos de potencial de economia de água potável em dez edifícios comerciais considerando diferentes estratégias	49
Tabela 10 - Potencial de economia de água potável e de redução da geração de esgoto em residências de famílias de baixa renda considerando diferentes estratégias	50
Tabela 11 - Intensidade energética nas etapas do ciclo urbano da água.....	52
Tabela 12 - Intensidade energética para tratamento convencional de água.....	55
Tabela 13 - Intensidade energética do tratamento de esgoto	57
Tabela 14 – Usos finais considerados como fonte de água cinza e como demanda de água não potável em cada setor.....	63
Tabela 15 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor residencial unifamiliar	86
Tabela 16 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor residencial multifamiliar	87
Tabela 17 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor público	87

Tabela 18 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor comercial	88
Tabela 19 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga.....	89
Tabela 20 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE _a) e de esgotamento sanitário (EE _e) decorrentes da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga	90
Tabela 21 - Dados usados na análise financeira	91
Tabela 22 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga.....	92
Tabela 23 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes do reúso de água cinza	98
Tabela 24 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE _a) e de esgotamento sanitário (EE _e) decorrentes do reúso de água cinza	99
Tabela 25 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente do reúso de água cinza	100
Tabela 26 - Demandas totais de água potável para cada setor	102
Tabela 27 - Áreas de cobertura para cada setor	103
Tabela 28 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) decorrentes do aproveitamento de água pluvial	110
Tabela 29 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE _a) decorrentes do aproveitamento de água pluvial	111
Tabela 30 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente do aproveitamento de água pluvial	112
Tabela 31 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes da adoção simultânea das três estratégias	115
Tabela 32 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE _a) e de esgotamento sanitário (EE _e) decorrentes da adoção simultânea das três estratégias	116

Tabela 33 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente da adoção simultânea das três estratégias	117
Tabela 34 - Potenciais totais de economia de água potável (PE_{total}) e de redução da geração de esgoto (PE'_{total}).....	119
Tabela A.1 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial unifamiliar	149
Tabela A.2 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial multifamiliar	152
Tabela A.3 - Cenários de usos finais da água para o setor público	153
Tabela A.4 - Cenários de usos finais da água para o setor comercial	157

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	JUSTIFICATIVA	22
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1	Objetivo geral	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	CONSUMO DE ÁGUA	27
2.1.1	Perfil de consumo	28
2.1.2	Usos finais da água em edificações	31
2.2	ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES	37
2.2.1	Equipamentos economizadores de água	38
2.2.2	Reúso de água cinza	39
2.2.3	Aproveitamento de água pluvial	41
2.2.4	Combinação de estratégias para reduzir o consumo de água potável em edificações	45
2.3	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ASSOCIADO AO CONSUMO DE ÁGUA	51
2.3.1	Energia elétrica associada aos sistemas de abastecimento de água	53
2.3.2	Energia elétrica associada aos sistemas de esgotamento sanitário	56
2.3.3	Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Joinville	58
2.4	SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA	59
3	MÉTODO	61
3.1	USOS FINAIS DA ÁGUA	62
3.2	REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL.....	63

3.2.1	Substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento .	64
3.2.2	Reúso de água cinza	64
3.2.3	Aproveitamento de água pluvial	65
3.2.3.1	Demanda total de água potável.....	66
3.2.3.2	Áreas de captação	68
3.2.3.3	Volume dos reservatórios superior e inferior.....	69
3.2.4	Combinação das estratégias para redução do consumo de água potável.....	70
3.2.5	Redução do volume de água potável consumido e de esgoto gerado.....	72
3.3	POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA ..	75
3.4	ANÁLISE FINANCEIRA.....	77
3.4.1	Benefício financeiro.....	77
3.4.2	Prejuízo financeiro.....	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1	USOS FINAIS DA ÁGUA	83
4.2	CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL E GERAÇÃO DE ESGOTO POR SETOR EM JOINVILLE	84
4.3	SUBSTITUIÇÃO DOS ACABAMENTOS CONVENCIONAIS DAS VÁLVULAS DE DESCARGA POR MODELOS DE DUPLO ACIONAMENTO.....	86
4.3.1	Potencial de economia de água potável	86
4.3.2	Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto.....	88
4.3.3	Economia de energia elétrica	89
4.3.4	Análise financeira	90
4.4	REÚSO DE ÁGUA CINZA	93
4.4.1	Potencial de economia de água potável	93
4.4.2	Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto.....	98

4.4.3	Economia de energia elétrica	99
4.4.4	Análise financeira	100
4.5	APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	100
4.5.1	Dados de precipitação diária	100
4.5.2	Demanda total de água potável	102
4.5.3	Área de captação	102
4.5.4	Potencial de economia de água potável	103
4.5.5	Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto	110
4.5.6	Economia de energia elétrica	111
4.5.7	Análise financeira	112
4.6	COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS	112
4.6.1	Potencial de economia de água potável	112
4.6.2	Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto	114
4.6.3	Economia de energia elétrica	116
4.6.4	Análise financeira	116
4.7	COMPARAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS	117
4.7.1	Redução do consumo de água potável e geração de esgoto	117
4.7.2	Economia de energia elétrica	122
4.7.3	Impacto financeiro	126
5	CONCLUSÕES	129
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	131
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	133
	REFERÊNCIAS	135
	APÊNDICE A – CENÁRIOS DE USOS FINAIS DA ÁGUA	149
	APÊNDICE B - POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL DECORRENTE DO REÚSO DE ÁGUA CINZA E DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA O CASO DE ADOÇÃO SIMULTÂNEA DAS TRÊS ESTRATÉGIAS	159

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água é essencial para o desenvolvimento da vida humana. Além da água consumida diretamente, esse recurso também é necessário para o preparo de alimentos, saneamento e várias outras atividades domésticas e industriais (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012).

Contudo, há grande disparidade entre a disponibilidade e a demanda de água, principalmente devido ao aumento da população e da urbanização. No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), 45% da população urbana encontra-se nas regiões litorâneas, mas as Regiões Hidrográficas do Atlântico são responsáveis por apenas 3% da disponibilidade hídrica do país. Na Região Hidrográfica do Paraná, que conta com apenas 6% dos recursos hídricos superficiais brasileiros, reside 36% da população urbana. Desta forma, o desafio para o abastecimento de água aumenta nos lugares onde a demanda por esse recurso é elevada e sua disponibilidade é menor. Frente a esse cenário, o uso racional da água é condição necessária para assegurar a qualidade de vida da população e o crescimento das atividades econômicas, pois essas garantias dependem desse recurso (SAUTCHUK et al., 2005).

Atualmente, a energia também é considerada fundamental para o desenvolvimento econômico e social, e sabe-se que o seu uso está diretamente relacionado ao consumo de água (GU; TENG; LV, 2016). Um grande volume de água é demandado para a geração de energia (TAN; ZHI, 2016), e necessita-se de energia em todos os processos dos sistemas de abastecimento de água, desde sua captação até sua distribuição às edificações (LAM; KENWAY; LANT, 2017)

O setor da água é um dos maiores consumidores de energia no mundo (MOSTAFAVI et al., 2018). A infraestrutura para o abastecimento de água no ambiente urbano necessita de energia para sua operação, especialmente nas etapas de bombeamento e tratamento. Vários equipamentos hidrossanitários, como lavadora de roupas e louças, consomem energia durante seu funcionamento (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). Há ainda o consumo de energia relacionado ao aquecimento de água, que varia conforme a demanda de água quente e a tecnologia utilizada para o aquecimento (WAKEEL et al., 2016), mas representa

parcela significativa da energia elétrica consumida nas edificações, principalmente no setor residencial (IBRAHIM et al., 2014). Os processos de tratamento de esgoto também demandam quantias significativas de energia (PANEPINTO et al., 2016). Portanto, da mesma forma como o consumo de água afeta o de energia, a conservação desses recursos também está intimamente relacionada.

Com o aumento da população mundial, também cresce a demanda por água potável. Isso provoca ampliação dos volumes extraídos, transportados, tratados e contaminados após sua utilização e, conseqüentemente, aumenta o uso de energia nesses processos (WAKEEL et al., 2016). O consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água é muito variável de uma região para outra porque depende de fatores como clima e topografia local, eficiência dos processos e características da população atendida (LAM; KENWAY; LANT, 2017). Assim, além de manutenção do fornecimento de água potável à população, a garantia desse serviço com qualidade e com menor consumo de energia também se torna um desafio.

Wakeel et al. (2016) afirmam que o elevado consumo de energia no ciclo da água se deve à lacuna existente entre a gestão desses recursos, que por muitos anos tiveram suas políticas de gerenciamento elaboradas separadamente. As estratégias de abastecimento de água geralmente não envolvem os objetivos de conservação de energia. Portanto, é necessário ampliar as análises da relação existente entre o consumo de água e de energia de forma a melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos e energéticos e favorecer a sua preservação.

1.1 JUSTIFICATIVA

O acesso à água e à energia é indispensável ao desenvolvimento social e econômico. Contudo, mais de um bilhão de pessoas no mundo sofrem com a falta desses recursos. Aliado a isso, estima-se que até 2040 as demandas de água e energia aumentem em 30% e 40% respectivamente, o que torna a situação ainda mais desfavorável (KHAN; LINARES; GONZÁLEZ, 2017). Esse aumento decorre do crescimento populacional e da melhoria no padrão de vida das pessoas, que eleva o consumo per capita desses recursos. Além disso, a demanda e a disponibilidade de água e energia podem sofrer negativamente com os impactos do

atual cenário de mudanças climáticas (HOWELLS; ROGNER, 2014).

A preocupação com a disponibilidade desses recursos e com a sua interdependência fez com que vários autores investigassem a relação existente entre o consumo de água e de energia (CHENG, 2002; HARDY; GARRIDO; JUANA, 2012; LAM; KENWAY; LANT, 2017; LEE et al., 2017; MOLINOS-SENANTE; GUZMÁN, 2018; MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2018; PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012; STANG et al., 2018; TAN; ZHI, 2016; VAKILIFARD et al., 2018; VENKATESH; BRATTEBØ, 2011; VILANOVA; BALESTIERI, 2015; WAKEEL et al., 2016). Contudo, poucos estudos quantificaram a economia de energia elétrica obtida a partir da redução do consumo de água potável nas edificações. Proença et al. (2011) estimaram o potencial de economia de energia nos processos de abastecimento de água e esgotamento sanitário decorrente da adoção de medidas para reduzir a demanda de água em edificações da cidade de Florianópolis-SC. Os autores, no entanto, avaliaram apenas um perfil de consumo de água para cada tipologia de edificação e fizeram uma análise financeira simplificada, considerando apenas os gastos com energia elétrica e as receitas relacionadas aos volumes de água e esgoto faturados pela concessionária. Malinowski et al. (2015) investigaram o potencial de economia de energia elétrica anual nos sistemas de abastecimento de água obtido com o aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza nos setores residencial, comercial, industrial e público dos Estados Unidos. A análise foi feita para a escala nacional e para uma cidade, mas os autores consideraram a utilização das fontes alternativas apenas para suprir a demanda de irrigação e dos usos de água externos à edificação. Além disso, para todos os setores foram avaliados apenas dois cenários de substituição de água potável por fontes alternativas, e a análise financeira considerou apenas a redução dos gastos relacionados ao consumo de energia elétrica.

Em Joinville, foram consumidos mais de 32 GWh nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no ano de 2016. Isso representa 12,47% das despesas totais da concessionária de água e esgoto da cidade (SNIS, 2018a). Portanto, é evidente que a redução do consumo de água potável

nas edificações deste município proporcionará economia de energia elétrica e diminuição dos gastos à concessionária local.

Neste contexto, pretende-se com essa pesquisa determinar o potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, em escala municipal, decorrente da redução da demanda de água potável nas edificações da cidade de Joinville. Serão avaliados os setores residencial, público e comercial, considerando diferentes perfis de usos finais e a adoção de três estratégias que favoreçam a economia de água (substituição dos acabamentos das válvulas de descarga convencionais por modelos de duplo acionamento, reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial). Será analisado o impacto financeiro para a concessionária local da redução do consumo de água, verificando se a adoção em grande escala de medidas que promovam o uso racional da água nas edificações da cidade seria viável financeiramente ou não para a companhia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é estimar o potencial de economia de energia elétrica, em escala municipal, resultante da redução do consumo de água potável nas edificações residenciais, públicas e comerciais da cidade de Joinville, em Santa Catarina.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos a serem atingidos com a realização deste trabalho são:

- Estimar o potencial de redução do consumo de água potável considerando a substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial;
- Estimar a diminuição da geração de esgoto proporcionada por essas estratégias;

- Determinar os potenciais mínimo e máximo de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário decorrentes da redução do volume de água potável consumido e de esgoto gerado;
- Verificar os benefícios e prejuízos financeiros causados pela economia de energia elétrica e redução do consumo de água e da geração de esgoto para a concessionária local.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo contém a introdução ao tema da pesquisa, contextualizando os objetos de estudo e mencionando a importância do trabalho. São apresentados também a justificativa e os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica referente ao tema, iniciando com a descrição da situação atual de consumo de água potável no Brasil. É esclarecida a relevância dos estudos de perfis de consumo e usos finais da água e são apresentados alguns trabalhos sobre a eficiência das estratégias para promover economia de água potável em edificações. São apontados pontos importantes referentes à relação entre o consumo de água e de energia elétrica, com destaque para o gasto de energia associado aos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

No terceiro capítulo é descrito o método utilizado para atingir os objetivos da pesquisa, que consiste na determinação de cenários de usos finais da água para cada tipologia de edificação; definição das estratégias adotadas para reduzir o consumo de água potável; estimativa da economia de água e redução da geração de esgoto para cada medida; cálculo do potencial de economia de energia elétrica decorrente da diminuição do consumo de água e geração de esgoto para cada estratégia; e análise financeira para avaliar o impacto para a concessionária da adoção de medidas de uso racional da água em grande escala.

No quarto capítulo são apresentados os resultados deste trabalho. Para cada estratégia de redução do consumo de água potável são apresentados o potencial de economia de água e de redução da geração de esgoto, as reduções dos volumes de água consumido e de esgoto gerado em cada tipologia de edificação, o

potencial de economia de energia elétrica e a análise financeira. Ao final do capítulo, as estratégias são comparadas em relação a cada aspecto.

O último capítulo traz as conclusões do método proposto e dos resultados obtidos neste estudo, apresentando também as limitações do trabalho e sugestões para futuras pesquisas relacionadas ao tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSUMO DE ÁGUA

O volume total de água na Terra é de aproximadamente 1.400 milhões de km³, mas a água doce, presente nos aquíferos subterrâneos, lagos, rios e geleiras, corresponde a apenas 2,5% deste. As principais fontes de água para uso humano são os lagos e rios, que representam menos de 1% do volume de água doce e apenas 0,01% de todo o volume disponível no planeta (UNEP, 2002).

O Brasil é um país com grande riqueza em recursos hídricos, possuindo 12% da disponibilidade mundial (ANA, 2018). Contudo, a variabilidade climática característica do Brasil faz com que esses recursos sejam distribuídos desigualmente no país. A Região Hidrográfica da Amazônia, que corresponde a 45% da área do território brasileiro, concentra 81% da disponibilidade hídrica superficial do país. As demais regiões, que ocupam a outra metade do território, respondem por menos de 20% dos recursos hídricos superficiais disponíveis (ANA, 2015).

Quando se trata da demanda de água, a disparidade no território brasileiro não é diferente. Estima-se que a demanda total (vazão de retirada) na Região Hidrográfica do Paraguai é de 30 m³/s (1% da demanda nacional), enquanto na Região Hidrográfica do Paraná é de 736 m³/s (31% da nacional) (ANA, 2015). Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), o abastecimento urbano corresponde a 23,3% da retirada total de água e a 8,8% do consumo total de água no Brasil.

O setor residencial geralmente é o responsável pela maior parcela do consumo de água urbano (FRIEDLER; HADARI, 2006). Em São Paulo, as tipologias residencial, pública e comercial correspondem a, respectivamente, 87%, 2% e 9% do consumo total de água no estado (SABESP, 2018). No Paraná, esses setores representam 85%, 4% e 8% do consumo de água estadual (SANEPAR, 2018), e em Santa Catarina, 76%, 14% e 9% (CASAN, 2018).

Vários estudos sobre a redução do consumo de água nas edificações foram desenvolvidos a fim de promover a conservação desse recurso (BARBERÁN et al., 2013; FASOLA et al., 2011; GHISI; SCHONDERMARK, 2013; GHISI; THIVES; PAES, 2017;

KISAKYE; VAN DER BRUGGEN, 2018; LIU et al., 2010; LOPES; RUPP; GHISI, 2016; MARCH; GUAL; OROZCO, 2004; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018; MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011; PROENÇA; GHISI, 2013; SOUZA; GHISI, 2012; YANG; CHOW; BURNETT, 2002). Nesse tipo de pesquisa é fundamental conhecer o perfil de consumo e os usos finais da água no edifício avaliado (BARRETO, 2008).

2.1.1 Perfil de consumo

O perfil de consumo de água (consumo per capita) pode variar de acordo com as características dos usuários, o clima, a estação do ano, a tipologia da edificação, o dia da semana, o custo do fornecimento da água, dentre outros fatores (ZHOU et al., 2002). A Tabela 1 apresenta os resultados de algumas pesquisas que mediram o perfil de consumo em várias tipologias de edificação.

Dias, Kalbusch e Henning (2018) investigaram o consumo de água em 89 edifícios residenciais multifamiliares em Joinville com o objetivo de determinar os fatores que influenciam o consumo de água no setor residencial da cidade. Por meio de regressão linear múltipla, as autoras desenvolveram dois modelos para descrever o consumo de água, um para determinar o consumo total mensal no edifício e outro para estimar o consumo per capita de água. Os resultados do estudo indicaram que o consumo por usuário cresce com o aumento da distância do edifício até o centro da cidade, com a presença de coleta de esgoto no local da moradia, com o aumento da idade da edificação, com a existência de piscina e com o crescimento do valor de avaliação do imóvel. No entanto, há considerável diminuição no consumo per capita conforme cresce o número de moradores por unidade e a porcentagem de locatários no prédio em relação ao número de proprietários que moram nos apartamentos. A presença de medição individualizada nas unidades e o uso de fontes alternativas de água também contribuem para reduzir o consumo per capita de água potável.

Tabela 1 - Perfil de consumo de água em diferentes tipologias de edificação

Referência	Tipologia de edificação	Cidade	Consumo de água (l/usuário/dia)
Dias, Kalbusch e Henning (2018)	Residencial multifamiliar	Joinville	114,62
Fasola et al. (2011)	Público	Florianópolis	25,30 – 28,80
Gois, Rios e Costanzi (2015)	Comercial	Londrina	14,87
Kalbusch et al. (2018)	Público	Joinville	39,60
Kammers e Ghisi (2006)	Público	Florianópolis	36,70
Marinoski, Rupp e Ghisi (2018)	Residencial unifamiliar	Palhoça	123,10
Matos et al. (2013)	Residencial unifamiliar	Vila Real, Valpaços e Porto	146,14
Proença e Ghisi (2010)	Comercial	Florianópolis	34,90 – 101,60
Sant'ana (2012)	Residencial multifamiliar	Brasília	221,00
Vieira e Ghisi (2016)	Residencial unifamiliar	Florianópolis	123,00
Willis et al. (2011)	Residencial unifamiliar	Gold Coast	152,30

Rathnayaka et al. (2014) avaliaram a influência de vários fatores no consumo de água no setor residencial de Melbourne, na Austrália. Dentre as variáveis analisadas, as estatisticamente significantes para o consumo residencial de água foram tamanho da moradia, tipo da moradia (residência unifamiliar ou apartamento), eficiência dos equipamentos hidrossanitários, presença de crianças com menos de 12 anos, presença de piscina

e presença de máquina de lavar louças. Os autores também verificaram que o impacto dessas variáveis aumenta conforme diminui o consumo de água na residência, ou seja, quanto menor o consumo, maior a influência dos fatores. O tamanho da moradia foi a variável com maior influência. A presença de piscina e de máquina de lavar louça provocou aumento no consumo, enquanto a eficiência dos equipamentos e a presença de crianças com menos de 12 anos reduziram. O tipo da moradia também teve influência no consumo, especialmente no verão. Isso pode ser explicado pelo fato dessa variável estar fortemente correlacionada à presença de piscina e ao tamanho do jardim, fatores que se mostraram significativos para o aumento do consumo residencial de água no verão.

Willis et al. (2013) determinaram o consumo de água em 108 residências na Austrália, classificando-as em três grupos conforme a renda per capita. Foi identificado que quanto maior a renda familiar, maior o consumo per capita de água. Os autores também concluíram, assim como Dias, Kalbusch e Henning (2018), que quanto maior o número de moradores na residência, menor o consumo per capita de cada um.

Hussien, Memon e Savic (2016) avaliaram o perfil de consumo em residências do Iraque e, da mesma forma que Willis et al. (2013), constataram que o consumo per capita é maior conforme aumenta a renda familiar, e diminui com o aumento do número de usuários na edificação.

Mostafavi et al. (2018) avaliaram o consumo de água em residências unifamiliares da América do Norte. O consumo de água foi dividido em interno, que incluía os usos das bacias sanitárias, torneiras, chuveiros, banheiras, máquina de lavar louça e máquina de lavar roupa; e externo (irrigação e piscina). Os autores concluíram que as características físicas da edificação, como o tamanho da residência e a eficiência dos equipamentos hidrossanitários nela instalados, têm mais influência no consumo interno de água, sendo o número de usuários a variável mais influente para o consumo de água nessas atividades. Em contrapartida, o consumo de água nas atividades externas é mais influenciado pela temperatura do ar e área de irrigação, sendo pouco afetado pelo número de usuários na edificação.

Willis et al. (2011) investigaram 132 residências na Austrália para verificar se as ações e o comportamento dos usuários relacionados à preservação do ambiente e da água influenciavam

o seu consumo. Constatou-se que nas casas em que os moradores tinham maior nível de consciência ambiental e tinham atitudes relacionadas à conservação da água, o consumo por habitante era 24,1% menor.

2.1.2 Usos finais da água em edificações

A investigação dos usos finais da água permite identificar os equipamentos hidrossanitários responsáveis pelo maior consumo. Essas informações facilitam a avaliação das diferentes estratégias existentes para promover a economia de água potável em edificações, tornando essas ações mais eficientes (PROENÇA; GHISI, 2010).

Na década de 70, Thackray et al. (1978 apud PROENÇA; GHISI, 2010) fizeram uma avaliação detalhada dos usos finais da água em residências no Reino Unido. Desde então, foram desenvolvidos outros estudos semelhantes. Deoreo, Heaney e Mayer (1996) analisaram o perfil do consumo de água em dezesseis residências do estado do Colorado, nos Estados Unidos, utilizando data-loggers para armazenar informações referentes à utilização de água nos locais estudados. Mourad, Berndtsson e Berndtsson (2011) estimaram os usos finais da água no setor residencial unifamiliar e multifamiliar da cidade de Al-Suwayda, na Síria. Matos et al. (2013) também fizeram essa análise em residências da região norte de Portugal.

No Brasil, Fasola et al. (2011), Ghisi e Ferreira (2007), Ghisi e Oliveira (2007), Kammers e Ghisi (2006), Marinowski et al. (2014), Proença e Ghisi (2010) e Sant'ana (2012) determinaram os usos finais da água em várias tipologias de edificações. O método usado nesses estudos foi semelhante, baseado na aplicação de questionários aos usuários, medição da vazão em equipamentos hidrossanitários e obtenção do consumo de água nos edifícios junto à concessionária. Em alguns trabalhos ainda foi feita uma análise de sensibilidade para corrigir a diferença existente entre o consumo de água estimado a partir dos questionários e levantamento de vazões e o consumo medido pela concessionária. Moreira Neto et al. (2012), utilizando método similar ao das pesquisas anteriores, estimaram a demanda de água potável e não-potável no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Minas Gerais.

Barreto (2008) determinou os usos finais da água em sete residências da zona oeste da cidade de São Paulo. O método usado pelo autor consistiu na instalação de hidrômetros e data-loggers no cavalete de entrada e em todos os pontos de utilização das casas monitoradas. A utilização desses equipamentos substituiu a aplicação de questionários e a medição de vazões nos equipamentos hidrossanitários. Desta forma, houve maior precisão na estimativa dos usos finais da água.

Vieira e Ghisi (2016) também utilizaram data-loggers para estimar os usos finais da água em dez casas de famílias de baixa renda na cidade de Florianópolis. Os autores identificaram que o consumo per capita de água não dependia da renda familiar ou do número de moradores, mas estava diretamente relacionado ao tempo de permanência dos usuários na residência. Verificou-se também que os usos finais em que mais se consumia água eram as descargas das bacias sanitárias, o banho e a lavagem de roupas, os quais correspondiam a, em média, 77% do consumo total de água. Portanto, essas atividades deveriam ser o alvo principal das ações para promoção de economia de água nas residências estudadas.

Willis et al. (2013) usaram medidores associados a data-loggers para registrar informações sobre o consumo de água em residências de Gold Coast, na Austrália. Foram feitas auditorias nas edificações para identificar os equipamentos hidrossanitários presentes em cada uma. Além disso, os autores recebiam informações diárias dos moradores a respeito do uso da água em cada edificação. Os dados obtidos eram processados em um programa computacional específico, que estimava os usos finais da água de cada habitação. A automatização desse método permitiu que fossem analisadas 151 residências, número de edificações muito maior do que foi avaliado nos outros estudos citados.

Hussien, Memon e Savic (2016) estimaram os usos finais da água para o setor residencial no Iraque. Os autores avaliaram 407 residências (92% eram casas e 8% apartamentos) e realizaram este levantamento por meio de questionários que incluíam questões relacionadas aos usos finais da água (frequência, duração de uso e vazão de cada equipamento) e perguntas sobre as características da residência e de seus usuários (número de crianças, adultos e idosos, área construída, área de jardim, renda mensal, entre outras). Os autores classificaram as residências em

três grupos conforme sua renda familiar (baixa, média ou alta). Concluiu-se que a frequência de utilização dos equipamentos hidrossanitários aumenta conforme cresce a renda familiar, exceto o uso das descargas das bacias sanitárias. Contudo, a vazão de vários equipamentos (chuveiros, lavatórios, torneiras de cozinha e torneiras externas usadas para irrigação) diminui com o aumento da renda, o que pode ser explicado pelo fato de residências com renda maior geralmente terem equipamentos mais novos e eficientes.

As Tabelas 2 a 5 apresentam o resumo dos resultados obtidos por alguns autores em estudos sobre usos finais da água em edificações residenciais unifamiliares, residenciais multifamiliares, públicas e comerciais.

Há grande variação dos usos finais entre diferentes tipologias de edificação, mas essa característica também é presente em estudos feitos para o mesmo setor. Isso evidencia o fato de que os perfis de consumo de água podem variar conforme a cultura, clima, eficiência dos equipamentos hidrossanitários, número de ocupantes da edificação, padrão de vida dos usuários, dentre outros fatores (PROENÇA; GHISI, 2010; WILLIS et al., 2013).

Tabela 2 – Usos finais da água em edificações residenciais unifamiliares

Referência	Usos finais (%)								
	Bacia sanitária	Lavatório	Chuveiro	Banheira	Pia da cozinha	Lavagem de louça	Lavagem de roupa	Limpeza ⁽¹⁾	Outros
Barreto (2008)	5,5	4,2	13,9	-	12,0	-	28,4	5,4	30,6
Deoreo, Heaney e Mayer (1996)	26,32	-	17,38	2,31	-	2,99	24,83	-	26,17 ⁽²⁾
Ghisi e Oliveira (2007)	25,6 - 30,4	2,7 - 7,0	32,8 - 45,6	-	13,5 - 28,0	-	6,2 - 8,2	-	-
Hussien, Memon e Savic (2016)	8,0 - 14,0	32,0 - 33,0	12,0 - 15,0	0,0 - 0,5	5,0 - 6,0 ⁽³⁾	13,0 - 14,0 ⁽⁴⁾	13,0	5,0	4,2 - 8,3 ⁽⁵⁾
Marinoski et al. (2014)	8,0 - 31,0	1,0 - 10,0	20,0 - 52,0	-	9,0 - 26,0	-	2,0 - 30,0	1,0 - 8,0	3,0 - 23,0 ⁽⁶⁾
Matos et al. (2013)	14,0	12,0	-	26,0	38,0	2,0	8,0	-	-
Mourad, Berndtsson e Berndtsson (2011)	36,0	-	14,0	-	12,0	-	12,0	16,0	10,0

Tabela 2 – Usos finais da água em edificações residenciais unifamiliares (continuação)

Referência	Usos finais (%)								
	Bacia sanitária	Lavatório	Chuveiro	Banheira	Pia da cozinha	Lavagem de louça	Lavagem de roupa	Limpeza ⁽¹⁾	Outros
Vieira e Ghisi (2016)	10,0 - 44,0	1,0 - 9,0	10,0 - 63,0	-	10,0 - 25,0	-	13,0 - 49,0	1,0 - 4,0	-
Willis et al. (2013)	13,0	17,0	33,0	4,0	-	1,0	19,0	-	13,0 ⁽⁷⁾

Notas: ⁽¹⁾ Abrange o uso de torneiras de tanque; ⁽²⁾ Refere-se aos usos finais de torneiras em geral e às perdas; ⁽³⁾ Refere-se ao uso de água para preparação de alimentos e bebidas; ⁽⁴⁾ Lavagem de louça também é feita na torneira da cozinha, mas o uso final desta atividade foi medido separadamente dos demais neste estudo; ⁽⁵⁾ Refere-se à irrigação, lavagem de carros e piscina; ⁽⁶⁾ Inclui as torneiras externas; ⁽⁷⁾ Refere-se à irrigação e às perdas.

Tabela 3 - Usos finais da água em edificações residenciais multifamiliares

Referência	Usos finais (%)							
	Bacia sanitária	Lavatório	Chuveiro	Pia da cozinha	Lavagem de louça	Lavagem de roupa	Limpeza ⁽¹⁾	Outros
Ghisi e Ferreira (2007)	29,7 - 35,1	10,5 - 23,4	16,2 - 28,6	0,4 - 1,2	12,1 - 33,6	2,0 - 6,0	2,1 - 4,5	-
Sant'ana (2012)	15,8	9,5	23,9 ¹	15,4	0,7	22,1	9,9	2,7 ⁽²⁾

Notas: ⁽¹⁾ Abrange o uso de torneiras de tanque; ⁽²⁾ Refere-se aos usos finais do bidê e do filtro de água.

Tabela 4 - Usos finais da água em edificações públicas

Referência	Usos finais (%)					
	Bacia sanitária	Mictório	Lavatório	Cozinha/ Restaurante	Limpeza	Outros
Fasola et al. (2011)	19,6 – 29,8	14,1 – 37,7	3,1 – 3,9	24,2 – 68,8	4,5 – 6,2	0,7 – 1,2 ⁽¹⁾
Kammers e Ghisi (2006)	23,0 - 78,8	14,3 – 47,0	6,6 – 31,2	8,8 – 27,9	-	2,2 – 21,2 ⁽²⁾

Notas: ⁽¹⁾ Refere-se aos usos finais dos bebedouros; ⁽²⁾ Refere-se à lavagem de carros e à torre de resfriamento.

Tabela 5 - Usos finais da água em edificações comerciais

Referência	Usos finais (%)			
	Bacia sanitária	Lavatório	Limpeza	Outros
Proença e Ghisi (2010)	52,0 - 84,6	6,8 - 38,4	1,2 - 4,3	2,6 - 35,0

2.2 ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES

A adoção de estratégias para conservação da água nas edificações tem aumentado nos últimos anos (YURDUSEV; KUMANLIOUGLU, 2008). Essas estratégias podem ser classificadas em dois grupos: mudanças de comportamento e mudanças nos sistemas hidrossanitários. O primeiro grupo inclui campanhas educativas e alteração das políticas tarifárias, enquanto as mudanças no sistema abrangem o uso de fontes alternativas de água e a melhoria da eficiência dos equipamentos hidrossanitários (MEIRELES et al., 2017).

Antes de adotar alguma estratégia para diminuir o consumo de água, é importante conhecer seus condicionantes, benefícios e limitações, pois o impacto da ação na economia de água depende das características da edificação e dos usos finais da água no local (SAUTCHUK et al., 2005). O conhecimento do perfil de consumo e dos usos finais da água na edificação é fundamental, pois permite que seja avaliado onde, com que frequência e quanta água está sendo usada e/ou desperdiçada (MEIRELES et al., 2017).

Nem todas as estratégias são adequadas a todas as situações, pois o comportamento das pessoas em relação à economia de água é diferente. Portanto, é importante que os estudos nessa área incluam várias ações para redução do consumo de água, que possam ser adotadas em diferentes edificações com perfis de usuários variados (YURDUSEV; KUMANLIOUGLU, 2008).

Ghisi, Rupp e Triska (2014) sugerem que as estratégias para reduzir o consumo de água nas edificações sejam escolhidas não só a partir do potencial de economia de água, mas também com base em outros parâmetros, como indicadores de viabilidade financeira, consumo de energia ou energia embutida, por exemplo. Algumas medidas não são viáveis economicamente para serem instaladas em todas as edificações, e outras apresentam consumo de energia e energia embutida elevados, o que contribui negativamente para o impacto ambiental da sua adoção.

2.2.1 Equipamentos economizadores de água

A instalação de equipamentos economizadores é uma estratégia que proporciona redução do consumo de água independente da mudança de comportamento dos usuários (FIDAR; MEMON; BUTLER, 2010). Contudo, o consumo de água em um equipamento hidrossanitário também depende de fatores relacionados ao meio e aos usuários, e a substituição de equipamentos convencionais por modelos economizadores de água pode alterar o comportamento dos usuários. Essa mudança pode interferir no potencial de economia de água previsto durante o planejamento da estratégia (MEIRELES et al., 2017).

A economia de água decorrente da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por modelos economizadores está diretamente relacionada ao equipamento em que esses aparelhos serão instalados e aos usos finais da água na edificação. Isso justifica porque pesquisas realizadas em diferentes edificações apresentam resultados variados.

Proença e Ghisi (2013) avaliaram dez edifícios comerciais e constataram que a instalação de acabamentos para válvulas de descarga de duplo acionamento e de bacias sanitárias com volume de seis litros resultaria em economia de água potável de 21,6% a 57,4%, e a utilização de torneiras economizadoras nesses mesmos edifícios proporcionaria redução de 2,7% a 15,4% no consumo total de água. Em todos os edifícios analisados pelos autores, o uso final nas bacias sanitárias era, no mínimo, 45% maior do que nas torneiras. Por isso a utilização de dispositivos economizadores nesses aparelhos resultou em economia de água maior.

Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) fizeram um estudo em residências de famílias de baixa renda e verificaram que substituindo todas as torneiras das edificações (lavatório, cozinha, lavanderia e torneiras externas) por modelos com arejador, a economia mensal de água seria, em média, de 15,4%. Nessas mesmas edificações, trocando os acabamentos convencionais das válvulas de descarga por acabamentos de duplo acionamento em bacias sanitárias com volume de seis litros, o consumo de água poderia reduzir de 11,4% a 15,6%, dependendo da quantidade de vezes que era utilizado o fluxo de três ou de seis litros. Nesse estudo, os usos finais das torneiras representavam

porcentagem maior do consumo total de água nas residências do que as bacias sanitárias, por isso a instalação de aparelhos economizadores nas torneiras proporcionaria economia média de água maior.

Ilha et al. (2010) avaliaram um conjunto de banheiros do Aeroporto Internacional de São Paulo. A coleta de dados foi feita em diferentes etapas: na situação original em que os banheiros se encontravam (com alguns equipamentos economizadores já instalados), após a realização de ajustes nas vazões e na duração dos acionamentos dos aparelhos e após a substituição dos equipamentos instalados por novos aparelhos economizadores de água. O indicador de consumo médio antes das intervenções era de 11,9 l/passageiro/dia. Depois dos ajustes, esse valor diminuiu para 7,7 l/passageiro/dia, e com a substituição dos equipamentos reduziu para 7,0 l/passageiro/dia. A partir desses resultados os autores constataram a importância da correta instalação dos equipamentos hidrossanitários em geral. No caso dos modelos economizadores, quando estes estão funcionando de maneira adequada, a economia de água proporcionada com a sua instalação é muito mais significativa.

Barberán et al. (2013) fizeram medições em um hotel para determinar o impacto da instalação de equipamentos economizadores na redução do consumo médio de água nessa edificação. Substituíram-se as torneiras dos quartos e das áreas comuns por modelos economizadores e foram instalados reguladores de vazão nos chuveiros e em algumas lavadoras de louça. Os autores verificaram que a substituição desses equipamentos proporcionou redução de 21,5% no consumo médio anual de água do hotel, o que representa quase 3.000 m³ de água por ano.

2.2.2 Reúso de água cinza

A água cinza pode ser definida como o efluente com pouca contaminação, proveniente de máquinas de lavar roupa, chuveiros e lavatórios, por exemplo, e que pode ser reutilizado após tratamento adequado. O objetivo do reúso da água cinza é atender, total ou parcialmente, os usos não potáveis de água nas edificações. Geralmente utiliza-se a água cinza nas descargas das bacias sanitárias e para a irrigação de jardins (LIU et al., 2010).

O reúso de água cinza traz benefícios tanto aos próprios usuários das edificações quanto às empresas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Para os usuários, a economia de água potável proporcionará redução das tarifas de água e esgoto. Para as empresas, a redução do consumo de água potável reduz a necessidade de procurar novas fontes de água e de expandir os seus sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário, além de diminuir os gastos associados a esses processos, como o gasto com energia elétrica, por exemplo (DOMÍNGUEZ et al., 2017; FRIEDLER; HADARI, 2006).

A água cinza destinada ao reúso deve atender quatro critérios: segurança sanitária, estética, tolerância ambiental e viabilidade econômica (NOLDE, 2000). O atendimento desses requisitos está diretamente relacionado ao nível de tratamento, que depende da atividade na qual a água cinza será reutilizada (GISI et al., 2016). O tratamento escolhido deve reduzir a quantidade de sólidos suspensos, matéria orgânica e microrganismos presentes na água cinza a fim de atender os padrões requeridos para a reutilização dos efluentes (LI; WICHMANN; OTTERPOHL, 2009).

O potencial de aproveitamento de água cinza depende diretamente da sua oferta (volume de efluentes disponível para reutilização) e demanda (usos não potáveis que se pretende atender com essa fonte alternativa) (HOCAOGLU, 2017). Portanto, a economia de água obtida com essa estratégia pode ser muito variável de uma edificação para outra.

March, Gual e Orozco (2004) verificaram o potencial de economia de água potável obtido com o reúso de água cinza em um hotel na Espanha. A água cinza era coletada das banheiras e lavatórios, era tratada por meio de filtração, sedimentação e desinfecção e então era reutilizada nas descargas das bacias sanitárias. Esse sistema de reúso proporcionou economia de 23% no consumo total de água potável do hotel.

Mourad, Berndtsson e Berndtsson (2011) estimaram o potencial de economia de água potável obtido com o reúso de água cinza em residências na Síria. Os autores concluíram que usando essa estratégia para suprir o consumo de água nas bacias sanitárias, a oferta de água cinza seria maior que a demanda, ou seja, não seria mais utilizada água potável nas bacias, o que proporcionaria economia de 35% no consumo de água potável das

edificações. Os autores também fizeram entrevistas com uma amostra da população do local em estudo e verificaram que 83% dos entrevistados eram favoráveis em relação ao reúso de água cinza tratada em sua edificação para fins não potáveis.

Proença e Ghisi (2013) investigaram o potencial de economia de água decorrente do reúso de água cinza em dez edifícios comerciais de Florianópolis. Os autores consideraram que os efluentes gerados nas torneiras de lavatório poderiam atender o consumo das bacias sanitárias. Em todas as edificações analisadas, a oferta de água cinza era menor do que a demanda. O potencial de economia de água potável variou de 6,8% a 38,4% dentre os edifícios. A grande variação entre os potenciais encontrados deve-se principalmente à diferença entre os usos finais da água (lavatórios e bacias sanitárias) nas edificações estudadas.

Liu et al. (2010) investigaram o desempenho de um sistema de reúso de água cinza para abastecimento das bacias sanitárias de uma residência com base em dois indicadores: economia de água e tempo de armazenamento da água nos reservatórios. Segundo os autores, tempos de armazenamento superiores a 48 horas podem comprometer a qualidade da água cinza (antes e após o seu tratamento), e isso exigiria a utilização de outros tratamentos adicionais. Concluiu-se que os dois indicadores variam de forma oposta conforme aumenta o volume dos tanques de armazenamento. Para volumes maiores, a economia de água é maior, mas o tempo de armazenamento pode ultrapassar as 48 horas recomendadas. A fim de garantir a segurança sanitária dos usuários, os autores recomendam que não sejam usados reservatórios com volume superior a 200 litros. A utilização de tanques de armazenamento de 200 litros, para o sistema avaliado, proporcionaria redução de 60% do consumo de água potável nas bacias sanitárias, o que representa economia de 17% no consumo total de água na edificação.

2.2.3 Aproveitamento de água pluvial

A água pluvial, assim como a água cinza, também pode ser usada como fonte alternativa complementar ao abastecimento de água para fins não potáveis (NOLDE, 2000). Além de proporcionar redução do consumo de água potável nas edificações, o

aproveitamento da água pluvial, quando adotado em escala municipal, também contribui para diminuir o escoamento superficial nos ambientes urbanos (TESTON et al., 2018b; CUSTÓDIO, 2017; CUSTÓDIO; GHISI, 2017) e reduzir a necessidade de ampliar os sistemas de abastecimento de água (SILVA; GHISI, 2016)

O potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial depende de vários fatores, como regime pluviométrico local, usos finais da água, demanda de água potável, porcentagem da demanda a ser substituída por água pluvial e área e características da superfície de captação da água da chuva (TESTON et al., 2018a). Segundo Ghisi e Schondermark (2013), o número de usuários, o consumo per capita e a porcentagem a ser substituída por água pluvial influenciam diretamente a demanda total de água pluvial na edificação, enquanto a área de cobertura e o regime local de precipitação afetam o volume de água pluvial disponível para aproveitamento. O potencial de economia de água potável depende do balanço entre a demanda pluvial e o volume disponível para aproveitamento.

O regime pluviométrico é muito variável de um local para outro. Em um estudo feito por Ghisi (2006) para o setor residencial brasileiro, considerando que a água pluvial poderia ser utilizada também para fins potáveis após tratamento adequado, verificou-se que a economia poderia ser de 100% na região norte, na qual o volume de chuvas é elevado, mas de apenas 48% na região sudeste, onde a precipitação é menor. Souza e Ghisi (2012), ao comparar o potencial de aproveitamento de água pluvial no setor residencial de treze cidades ao redor do mundo, afirmam que quanto maior e mais constante for o regime pluviométrico, maior será o potencial de economia de água pluvial. Os autores ainda mencionam que em locais com períodos de seca bem definidos, mesmo que a precipitação total anual seja elevada, a economia de água potável é menos significativa, pois nesses casos são necessários volumes de reservatório muito elevados para suprir a demanda nos períodos de seca. Lopes, Rupp e Ghisi (2016) também afirmam que em locais onde há grande variação na precipitação ao longo do ano, geralmente o volume ideal do reservatório inferior é grande, enquanto em cidades com regime pluviométrico uniforme esse volume é menor.

Em relação à demanda total de água potável, em geral quanto maior ela for, menor será o potencial de economia de água (SOUZA; GHISI, 2012). Ghisi, Montibeller e Schmidt (2006) analisaram 62 cidades no estado de Santa Catarina e concluíram que a redução do consumo de água potável no setor residencial poderia variar de 34% a 92%, dependendo da demanda de água potável considerada para as edificações. Ghisi e Schondermark (2013) avaliaram o potencial de aproveitamento de água pluvial em residências de cinco cidades do estado de Santa Catarina e verificaram que nos casos em que a demanda de água potável é elevada, a economia é diretamente influenciada pela área de cobertura. Quando o consumo é muito alto, muitas vezes não há área suficiente para coletar o volume de chuva necessário para atender a edificação e, desta forma, o potencial de economia de água potável é baixo.

Além disso, Kisakye e Van der Bruggen (2018) constataram que quanto maior a demanda total de água potável, menor é a segurança hídrica do sistema de aproveitamento de água pluvial. Os autores definiram o termo segurança hídrica como a relação entre o número de dias de um determinado período em que o reservatório de água pluvial está vazio e o número total de dias deste mesmo período. Os autores também verificaram que o impacto do aumento da demanda total de água potável é maior em sistemas de aproveitamento de água pluvial menores. Em sistemas maiores, o aumento da demanda tem menos influência na economia diária de água potável e na segurança hídrica.

Em relação à área de captação, Lopes, Rupp e Ghisi (2016) e Souza e Ghisi (2012) constataram que quanto maior for a área, maior será a economia de água potável. Para áreas de cobertura pequenas (menores que 100 m²), a economia será elevada apenas nos casos em que a demanda de água potável for baixa. Em edifícios muito altos, por exemplo, o aproveitamento de água pluvial geralmente não garante grandes reduções do consumo de água potável porque a área de cobertura pode ser insuficiente para coletar o volume de chuva necessário para atender a demanda pluvial requerida. Yang, Chow e Burnett (2002) fizeram um estudo em Hong Kong e concluíram que o aproveitamento de água pluvial supriria 10,8% do consumo de água potável das bacias sanitárias em um edifício residencial de 27 andares, e apenas 4,9% em outro de 40 andares. Kisakye e Van der Bruggen

(2018) também verificaram que há aumento considerável da segurança hídrica conforme aumenta a área de cobertura da edificação.

Silva e Ghisi (2016) fizeram uma análise de sensibilidade para verificar a influência de alguns fatores no potencial de economia de água decorrente do aproveitamento de água pluvial e no volume ideal do reservatório inferior. O estudo foi feito para o setor residencial de oito cidades brasileiras a partir de simulações feitas no programa computacional Netuno. As variáveis independentes consideradas na análise de sensibilidade foram área de cobertura, demanda de água potável, número de ocupantes e demanda pluvial (porcentagem do consumo total de água potável a ser substituído por água pluvial). No caso do potencial de economia de água, os autores concluíram que a demanda de água pluvial é a variável mais influente em sete das oito cidades avaliadas. Para o volume do reservatório inferior, cada cidade apresentou diferentes variáveis com maior influência. Considerando o potencial de economia e o volume ideal do reservatório inferior simultaneamente, as quatro variáveis mencionadas influenciaram os resultados das simulações. Portanto, elas devem ser definidas com a maior precisão possível para garantir que o resultado da simulação represente a realidade.

Ghisi, Thives e Paes (2017) investigaram a viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água da chuva e verificaram que quanto maior for a demanda de água pluvial, mais viável é a sua instalação. Os autores analisaram vários cenários de consumo de água para uma edificação pública de Florianópolis e verificaram que conforme aumentava a demanda de água pluvial, maior seria a taxa interna de retorno e menor o payback do investimento, tornando-o mais viável economicamente. Gómez e Teixeira (2017) concluíram que a demanda total de água também influencia na viabilidade econômica dos sistemas de abastecimento de água. Os autores analisaram residências unifamiliares e verificaram que conforme aumenta a demanda, aumenta também o valor presente líquido do investimento para instalação do sistema, tornando a instalação do sistema mais viável financeiramente.

2.2.4 Combinação de estratégias para reduzir o consumo de água potável em edificações

Fasola et al. (2011) fizeram uma avaliação em duas escolas na cidade de Florianópolis para verificar o potencial de economia de água potável obtido com o aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e substituição de torneiras e acabamentos das válvulas de descarga de bacias sanitárias e mictórios por modelos economizadores. A utilização de água cinza e pluvial foi considerada apenas para fins não potáveis. Os autores analisaram a adoção das estratégias separadamente e em conjunto em cada edificação. A Tabela 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o resumo dos resultados obtidos nesse estudo.

Tabela 6 - Potencial de economia de água potável em duas escolas considerando diferentes estratégias

Estratégia	Potencial de economia de água (%)	
	Escola municipal	Escola estadual
Aproveitamento de água pluvial	22,9	42,5
Reúso de água cinza	5,1	4,2
Instalação de equipamentos economizadores	15,3	55,9
Reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	24,0	46,3
Instalação de equipamentos economizadores e aproveitamento de água pluvial	27,8	72,7

Fonte: Fasola et al. (2011).

Na hipótese de implementação de reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial, considerou-se que a água da chuva seria usada para abastecer a demanda não potável remanescente após o reúso dos efluentes. No caso em que foi considerada a instalação de equipamentos economizadores, também se considerou que o aproveitamento de água pluvial

atenderia os usos não potáveis restantes após a substituição dos aparelhos (FASOLA et al., 2011).

Combinando mais de uma estratégia para redução do consumo de água potável, a economia de água nas edificações foi mais satisfatória. A grande variação nos potenciais de economia das duas escolas evidencia a existência de fatores particulares a cada instituição, especialmente relacionados aos usos finais da água, que são bastante diferentes nos dois edifícios. Portanto, é fundamental que sejam feitas as estimativas dos usos finais da água em edificações antes de verificar qual medida para redução do consumo de água será mais eficiente.

Ghisi e Oliveira (2007) investigaram o potencial de economia de água potável em duas residências da cidade de Palhoça. Nesse estudo, as estratégias consideradas para reduzir o consumo foram aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Para o dimensionamento dos sistemas nos cenários em que eles eram considerados isoladamente, foi definido que a água cinza proveniente dos chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupa seria usada para atender as bacias sanitárias, e que a água pluvial abasteceria as bacias sanitárias e as máquinas de lavar roupa. Na combinação de estratégias, assumiu-se que a água cinza atenderia as bacias sanitárias e a água pluvial seria usada nas máquinas de lavar roupa. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para a economia de água em cada residência.

Tabela 7 - Potencial de economia de água potável em duas residências considerando diferentes estratégias

Estratégia	Potencial de economia de água (%)	
	Residência A	Residência B
Aproveitamento de água pluvial	35,5	33,6
Reúso de água cinza	30,4	25,6
Reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	36,4	33,8

Fonte: Ghisi e Oliveira (2007).

A combinação das estratégias resultou em economia de água maior para as duas residências avaliadas. Contudo, houve pouca diferença entre utilizar apenas o aproveitamento de água pluvial e combiná-lo com o reúso de água cinza. Os autores fizeram uma análise econômica de cada cenário e verificaram que o *payback* para os três sistemas seria elevado para as duas residências. O sistema mais viável seria o de reúso da água cinza, seguido do aproveitamento de água pluvial e, por fim, a combinação de ambos. Os autores atribuíram esse resultado às baixas tarifas de água praticadas no Brasil, o que faz com que o valor investido em estratégias para diminuir o consumo de água demore para ser recuperado.

Ghisi e Ferreira (2007) fizeram um estudo semelhante ao de Ghisi e Oliveira (2007) para verificar o potencial de economia de água potável em três edifícios residenciais multifamiliares de Florianópolis, considerando aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. A diferença para o estudo anterior é que, neste caso, a água pluvial também foi considerada para o abastecimento das torneiras da lavanderia. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a economia de água em cada edifício.

Tabela 8 - Potencial de economia de água potável em três edifícios residenciais multifamiliares considerando diferentes estratégias

Estratégia	Potencial de economia de água (%)		
	Edifício A	Edifício B	Edifício C
Aproveitamento de água pluvial	14,7	15,6	17,7
Reúso de água cinza	28,7	29,7	34,8
Reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	36,7	37,9	42,0

Fonte: Ghisi e Ferreira (2007).

Nesse estudo, a economia de água obtida com a combinação das duas estratégias foi mais expressiva do que nos casos em que elas foram consideradas isoladamente. Os autores

fizeram uma análise econômica dos três cenários e, da mesma forma que no estudo de Ghisi e Oliveira (2007), concluíram que o sistema em que há reúso de água cinza é o mais viável, e que a combinação dos dois é o menos viável economicamente. Contudo, diferente do estudo anterior, os *paybacks* obtidos foram menores, ou seja, a utilização dessas estratégias mostrou-se mais favorável para o caso desses três edifícios quando comparada às duas residências avaliadas por Ghisi e Oliveira (2007).

Proença e Ghisi (2013) verificaram o potencial de economia de água potável em dez edifícios comerciais de Florianópolis. As ações consideradas nesse estudo foram aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e instalação de equipamentos economizadores de água (substituição de acabamentos comuns das válvulas de descarga por modelos com duplo acionamento e substituição de torneiras convencionais por economizadoras de água). Na combinação das estratégias, priorizou-se a substituição dos aparelhos hidrossanitários por modelos economizadores de água, seguida do reúso de água cinza e, para atender uma possível demanda não potável remanescente, a utilização de água pluvial. A Tabela 9 apresenta alguns resultados dessa pesquisa.

O estudo mostrou que há grande potencial para reduzir o consumo de água em edificações comerciais, e que a combinação das três medidas proporciona maiores economias de água. Para classificar de forma mais precisa esses cenários, considerando outros fatores além do potencial de economia de água, os autores verificaram a energia embutida em cada um deles, analisando a economia de água potável por unidade de energia embutida ($\text{m}^3/\text{mês.GJ}$). Constatou-se que, nos edifícios analisados, a substituição dos acabamentos comuns das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento não só causa reduções consideráveis do consumo como também tem baixo impacto ambiental considerando a energia embutida. Esta foi considerada a melhor estratégia em nove dos dez edifícios analisados nesse estudo, resultando em economia média de água de $5,50 \text{ m}^3/\text{mês}$ por GJ de energia embutida. A substituição das torneiras convencionais por modelos economizadores de água foi a segunda melhor estratégia ($1,42 \text{ m}^3/\text{mês}$ por GJ de energia embutida), seguida do reúso de água cinza ($0,94 \text{ m}^3/\text{mês}$ por GJ de energia embutida) e do aproveitamento de água pluvial ($0,92 \text{ m}^3/\text{mês}$ por GJ de energia embutida). Desta forma, verifica-se que

o impacto ambiental causado pela adoção de alguma estratégia envolve outros fatores além da economia de água potável que ela proporciona.

Tabela 9 - Intervalos de potencial de economia de água potável em dez edifícios comerciais considerando diferentes estratégias

Estratégia	Potencial de economia de água (%)
Aproveitamento de água pluvial	6,1 – 21,2
Reúso de água cinza	6,8 – 38,4
Instalação de acabamentos para válvulas de descarga com duplo acionamento	9,2 – 57,4
Instalação de torneiras economizadoras de água	2,7 – 15,4
Instalação de equipamentos economizadores (acabamentos de válvulas de descarga e torneiras)	26,5 – 62,9
Reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	14,5 – 50,2
Instalação de equipamentos economizadores, reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	36,9 – 78,9

Fonte: Proença e Ghisi (2013).

Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) avaliaram o potencial de economia de água potável em residências de famílias de baixa renda na cidade de Palhoça. Consideraram-se as seguintes medidas para reduzir o consumo de água: instalação de equipamentos hidrossanitários economizadores (acabamentos para válvulas de descarga de duplo acionamento e torneiras economizadoras), reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial. As estratégias foram consideradas de forma isolada e simultânea. Quando combinadas, deu-se preferência aos equipamentos economizadores, seguido pelo reúso de água cinza e, por fim, o aproveitamento de água pluvial. Além de verificar o potencial de economia de água potável, os autores também

analisaram a redução da geração de esgoto provocada em cada cenário. A Tabela 10 apresenta alguns resultados desse trabalho.

Tabela 10 - Potencial de economia de água potável e de redução da geração de esgoto em residências de famílias de baixa renda considerando diferentes estratégias

Estratégia	Potencial de economia de água (%)	Potencial de redução da geração de esgoto (%)
Instalação de equipamentos economizadores	28,9	28,9
Reúso de água cinza	21,0	21,0
Aproveitamento de água pluvial	30,7	0,0
Instalação de equipamentos economizadores e reúso de água cinza	36,8	36,8
Instalação de equipamentos economizadores e aproveitamento de água pluvial	42,9	28,9
Reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	32,5	21,0
Instalação de equipamentos economizadores, reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial	42,9	36,8

Fonte: Marinoski, Rupp e Ghisi (2018).

Novamente, a combinação de estratégias proporcionou maiores economias de água potável e reduções da geração de esgoto. Os autores também classificaram os cenários de acordo com sua energia embutida e, assim como no estudo de Proença e Ghisi (2013), a instalação de equipamentos economizadores de água mostrou-se como a medida com menor impacto ambiental, o que comprova os benefícios da sua adoção.

Para todos os estudos apresentados, a combinação de estratégias apresentou maior potencial de economia de água potável do que as estratégias isoladas. Contudo, avaliando os cenários a partir de outros critérios, como viabilidade econômica ou energia embutida, a adoção de medidas em conjunto muitas vezes não é a situação mais favorável. Portanto, é importante que nas análises de economia de água potável sejam considerados outros parâmetros além da própria redução do consumo para auxiliar na tomada de decisão, pois nem sempre a estratégia que proporciona maior economia de água é a mais adequada para a edificação.

2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ASSOCIADO AO CONSUMO DE ÁGUA

Os consumos de água e de energia estão diretamente ligados. Necessita-se de energia para tratar e transportar água, mas também utiliza-se água para a geração de energia elétrica (MALINOWSKI et al., 2015). Conseqüentemente, a conservação desses recursos também está relacionada.

O ciclo urbano da água consome quantias significativas de energia (HARDY; GARRIDO; JUANA, 2012). Há demanda de energia em todas as etapas do ciclo, desde a extração da água, passando pelo seu tratamento e uso nas edificações, até a disposição final do esgoto tratado (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). Além disso, os gastos financeiros com energia elétrica podem chegar a 40% dos custos operacionais dos sistemas de abastecimento de água (EPA, 2018). Desta forma, o consumo de energia elétrica nesses processos tem relevância ambiental e econômica (MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2018).

Há cinco segmentos principais na infraestrutura dos sistemas urbanos de água: captação, tratamento, distribuição, usos finais e disposição do esgoto após tratamento (SIDDIQI; WECK, 2013). Em geral, o consumo de energia elétrica nesses processos é medido em termos da sua intensidade energética, ou seja, o consumo de energia por unidade de água (kWh/m^3). Esse indicador é usado para comparar energeticamente diferentes sistemas de abastecimento de água (VIEIRA et al., 2014).

Lee et al. (2017) fizeram um estudo para avaliar a intensidade energética em cada etapa do ciclo urbano da água em

vários países, considerando diferentes fontes de extração de água (superficial, subterrânea, marinha e subterrânea salobra). A Tabela 11 apresenta os intervalos do consumo de energia. Esses valores referem-se a pesquisas feitas nos Estados Unidos, Austrália, Alemanha e Suécia.

Tabela 11 - Intensidade energética nas etapas do ciclo urbano da água

Etapa	Intensidade energética (kWh/m³)
Captação e transporte	0,00 – 3,70
Tratamento	0,03 – 4,23
Distribuição	0,03 – 0,58
Usos finais	> 50
Coleta de esgoto	0,16
Tratamento de esgoto	0,18 – 10,0

Fonte: Adaptado de Lee et al. (2017).

A grande diferença existente no gasto de energia elétrica para uma mesma etapa do ciclo da água sugere que há uma variedade de fatores que influenciam esse consumo (LEE et al., 2017). O consumo de energia em cada etapa do ciclo depende da localização dos sistemas de tratamento e da edificação considerada, da qualidade e da quantidade de água disponível, da topografia local, do clima, dos costumes dos usuários e do desenvolvimento econômico da região (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012; PULEO et al., 2016).

Pelos valores apresentados na Tabela 11, percebe-se que o abastecimento de água (captação, tratamento e distribuição) e a coleta e tratamento de efluentes representam quantia significativa da energia elétrica consumida no ciclo urbano da água. Estima-se que 7% de toda energia elétrica gerada no mundo seja consumida na produção e distribuição de água potável e no tratamento de efluentes (YOUNG, 2010 apud PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). Portanto, é evidente que a implementação de medidas para o uso racional da água nas edificações é fundamental para promover a economia de energia elétrica nesses processos (CHENG, 2002).

Além disso, cerca de 35% dos custos operacionais das companhias de abastecimento de água são referentes ao

consumo de energia elétrica (PULEO et al., 2016). Desta forma, a economia de energia nesses processos teria impacto significativo na redução dos gastos das companhias. A otimização do projeto e da operação dos sistemas de abastecimento de água contribui para aumentar a economia de água e evita investimentos e custos desnecessários (VAKILIFARD et al., 2018).

Malinowski et al. (2015) investigaram o potencial de economia de energia elétrica obtido com a redução do consumo de água potável e da geração de esgoto nos Estados Unidos, em escala nacional, e concluíram que usando aproveitamento de água pluvial para atender os usos externos de água nas residências americanas poderiam ser economizados até 3,8 bilhões de kWh/ano, o que corresponde a economia de 270 milhões de dólares por ano. Combinando o aproveitamento de água pluvial com o reúso de água cinza, a economia seria de até quatorze bilhões de kWh/ano (950 milhões de dólares). Fazendo essa análise apenas para a cidade de Charlotte, no estado da Carolina do Norte, os autores constataram que a economia de energia poderia chegar a 31 milhões de kWh/ano (1,8 milhão de dólares).

Proença et al. (2011) avaliaram o potencial de economia de energia elétrica resultante da diminuição do consumo de água potável e da geração de esgoto em Florianópolis. A análise foi feita para todo o setor residencial, público e comercial da cidade, considerando a adoção simultânea de sistemas de reúso de água cinza, aproveitamento de água pluvial e substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento. Os autores constataram que a economia de energia elétrica para a companhia de água local poderia chegar a 4,4 GWh/ano, o que representa redução de mais de um milhão de reais por ano nos gastos da empresa.

2.3.1 Energia elétrica associada aos sistemas de abastecimento de água

Os sistemas de abastecimento de água consomem quantias significativas de energia, e este consumo deve aumentar frente ao crescimento populacional e econômico, aumento do padrão de vida dos usuários, mudanças climáticas e implantação de regulamentações mais restritivas em relação à qualidade da água

tratada (MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2017; MOSTAFABI et al., 2018). Nos Estados Unidos, 4% do consumo total de energia elétrica no país é utilizado para tratamento e abastecimento de água potável (MALINOWSKI et al., 2015). No Brasil, a demanda de energia para os sistemas de abastecimento de água corresponde a 1,9% do consumo total do país (VILANOVA; BALESTIERI, 2015). Desta forma, o uso racional e eficiente de água e de energia nesses sistemas é importante para fomentar o desenvolvimento sustentável (VILANOVA; BALESTIERI, 2014).

Durante o processo de abastecimento de água, é necessária energia para extraí-la de alguma fonte, tratá-la e distribuí-la às edificações (LEE et al., 2017). A energia consumida nesses processos varia de acordo com alguns fatores, como a qualidade da água extraída, as características geográficas do local e a tecnologia e idade da infraestrutura do sistema de abastecimento (WAKEEL et al., 2016).

O consumo de energia para a captação da água varia conforme a fonte da qual ela será extraída. A captação de mananciais superficiais, como rios e lagos, necessita de muito menos energia do que a de fontes profundas, como os aquíferos subterrâneos (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). Segundo Wakeel et al. (2016), necessita-se de 0,0002 a 1,74 kWh/m³ em sistemas de abastecimento com extração de águas superficiais e de 0,37 a 1,44 kWh/m³ nos que usam fontes profundas.

O tipo de tratamento utilizado para garantir a qualidade química e física requerida para a água também influencia o consumo de energia no processo de abastecimento (MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2017). A intensidade energética do tratamento de água depende do tipo de fonte da qual a água é extraída, do uso ao qual a água tratada será destinada e do tipo de tratamento utilizado (SEMERTZIDIS; SPATARU; BLEISCHWITZ, 2018). Essas escolhas estão relacionadas à qualidade da água bruta e ao nível de tratamento requerido.

Nas estações de tratamento de água geralmente utilizam-se telas, tanques de sedimentação ou floculação, tanques de mistura rápida, processos de filtração e tanques de desinfecção, mas etapas adicionais podem ser introduzidas durante o tratamento dependendo da qualidade da água extraída e exigida para distribuição (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). A Tabela 12

apresenta a intensidade energética do tratamento convencional de água em alguns países.

Tabela 12 - Intensidade energética para tratamento convencional de água

País	Intensidade energética (kWh/m³)
Austrália	0,01 – 0,20
Taiwan	0,16 – 0,25
Nova Zelândia	0,15 – 0,44
Estados Unidos	0,184 – 0,470
Espanha	0,11 – 1,50
Canadá	0,38 – 1,33

Fonte: Wakeel et al. (2016).

A qualidade da água bruta extraída da fonte influencia na escolha do tipo de tratamento usado no sistema de abastecimento de água. A intensidade energética não considera a qualidade da água bruta (MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2018), por isso é importante conhecer os processos usados para o tratamento da água ao utilizar esse indicador para comparar diferentes sistemas de abastecimento.

A água potável deve ser distribuída para as edificações por meio de bombeamento após o seu tratamento. Essa é a etapa que demanda maior quantidade de energia elétrica, representando de 70 a 80% do consumo total de energia em sistemas de abastecimento com captação de água de fontes superficiais (VAKILIFARD et al., 2018). Segundo Vilanova e Balestieri (2014), estima-se que 2 a 3% do consumo total de energia elétrica no mundo seja utilizado no bombeamento para distribuição de água potável.

O Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação da Água (WWAP) menciona que a energia necessária para fornecer água de forma segura para consumo humano é de 0,37 kWh/m³ quando ela é extraída de rios ou lagos e 0,48 kWh/m³ para fontes profundas (WWAP, 2014). No Brasil, a média de consumo de energia nos sistemas de abastecimento foi de 0,69 kWh/m³ em

2016 (SNIS, 2018b), valor muito maior do que o recomendado pelo WWAP.

Em locais com menor disponibilidade hídrica, a intensidade energética dos sistemas de abastecimento de água muitas vezes é maior devido à necessidade de extração de água de fontes mais distantes ou com menor qualidade. No Brasil, apesar da alta disponibilidade hídrica na maior parte das cidades, o consumo de energia para abastecimento de água ainda é elevado, demonstrando o grande potencial para economia de energia elétrica nesse setor (VIEIRA, 2012). Um dos fatores que contribui para o aumento da ineficiência dos sistemas de abastecimento de água brasileiros são as elevadas perdas de água que ocorrem nesse processo. Em 2012, as perdas de energia relacionadas às perdas de água no sistema foram de 2.534 GWh, o que corresponde a 27% do consumo de energia elétrica total dos sistemas de abastecimento. Isso evidencia o potencial de melhoria das eficiências hidráulica e energética dos sistemas de abastecimento de água brasileiros (VILANOVA; BALESTIERI, 2015).

2.3.2 Energia elétrica associada aos sistemas de esgotamento sanitário

As estações de tratamento de esgoto são grandes consumidoras de energia elétrica (LI; LI; QIU, 2017). O tratamento de efluentes provoca o segundo maior impacto ambiental dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, perdendo apenas para o bombeamento de água (RIHON; LASSAUX; GERMAIN, 2002), e isso se deve em grande parte ao elevado consumo de energia desse processo (VIEIRA, 2012). Além disso, a energia elétrica representa de 25 a 40% dos custos operacionais de uma estação de tratamento de esgoto (PANEPINTO et al., 2016).

O tratamento dos efluentes normalmente é dividido em três etapas: primária, secundária e terciária. Em cada processo o consumo de energia é bastante variado e depende do tamanho e da localização da estação de tratamento, da quantidade de pessoas atendidas, do nível de contaminação dos efluentes, do tipo de tratamento utilizado e do padrão de descarga da água (WAKEEL et al., 2016).

No tratamento primário, ocorre a separação dos sólidos suspensos e do líquido efluente por sedimentação. No processo secundário, elimina-se a matéria orgânica por meio de tratamento biológico. Nessa etapa o consumo de energia varia muito conforme a tecnologia usada. O tratamento terciário é o que mais consome energia. Nele é feita a desinfecção do esgoto e a remoção de nitrogênio e fósforo (PLAPPALLY; LIENHARD V, 2012). Kenway et al. (2008 apud LEE et al., 2017) relataram que na Austrália e na Nova Zelândia o consumo de energia elétrica dobra do tratamento primário para o secundário, e dobra novamente entre o secundário e o terciário.

A Tabela 13 mostra a intensidade energética (consumo de energia por metro cúbico de esgoto tratado) do tratamento de esgoto em alguns países.

Tabela 13 - Intensidade energética do tratamento de esgoto

País	Intensidade energética (kWh/m³)
Holanda	0,36
Austrália	0,39
Estados Unidos	0,45
Suíça	0,52
Espanha	0,53
Singapura	0,56
Reino Unido	0,64
Alemanha	0,67

Fonte: Sancho, Senante e Garrido (2011).

Li, Li e Qiu (2017) afirmam que, além do tipo de tratamento utilizado, o tamanho da estação de tratamento também afeta o consumo de energia elétrica nos sistemas de esgotamento sanitário. Os autores constataram que quanto maior for a capacidade de tratamento da estação, menor o consumo de energia por unidade de esgoto tratado.

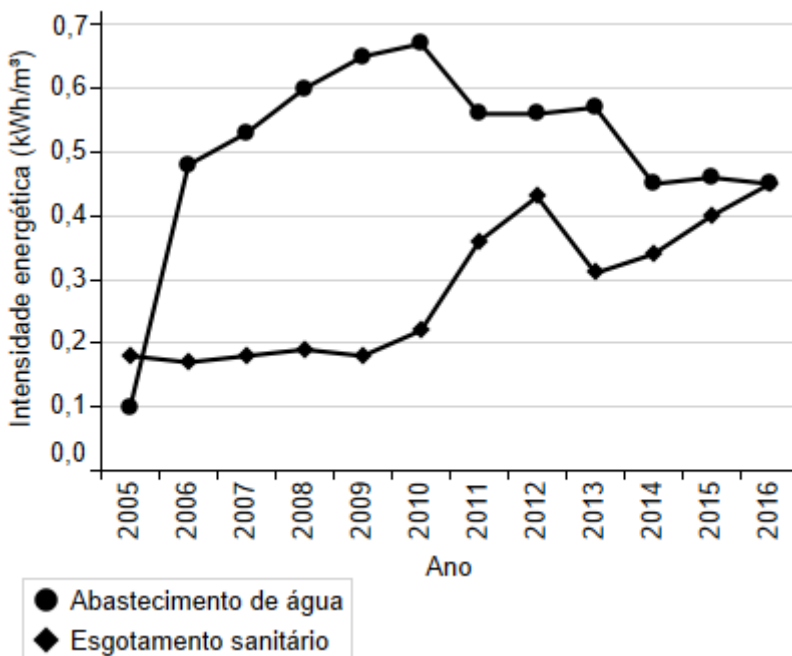
A demanda de energia para tratamento de esgoto tende a aumentar ao longo dos anos em função do crescimento da população e do conseqüente aumento da carga poluidora a ser

tratada. Além disso, os órgãos ambientais exigem padrões de qualidade cada vez maiores, o que algumas vezes torna necessária a realização de processos de tratamento mais avançados (SANCHO; SENANTE; GARRIDO, 2011).

2.3.3 Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Joinville

A Figura 1 apresenta a intensidade energética dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário na cidade de Joinville entre os anos de 2005 e 2016, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018c).

Figura 1 - Intensidade energética dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em Joinville



O aumento da intensidade energética ao longo dos últimos anos foi mais expressivo no sistema de esgotamento sanitário do

que no sistema abastecimento de água. A intensidade energética dos dois processos foi a mesma no ano de 2016 (0,45 kWh/m³). Para o abastecimento de água o valor foi inferior à média nacional para esse ano (0,69 kWh/m³), mas superior ao recomendado pela WWAP (0,37 kWh/m³), visto que a captação de água para atender as estações de tratamento da cidade é feita em rios. Para o esgotamento sanitário, o consumo de energia ficou acima da média nacional em 2016 (0,24 kWh/m³) (SNIS, 2018c).

Os consumos totais de energia elétrica da companhia local nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em 2016 foram, respectivamente, 29.557,73 MWh e 3.370,22 MWh. A despesa da concessionária local com o consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto foi de R\$0,44/kWh nesse ano (SNIS, 2018a). Portanto, o consumo de energia gerou despesa de R\$14.488.298,00 à companhia. Desta forma, a economia de água nas edificações da cidade de Joinville pode contribuir significativamente para diminuir o uso de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto da cidade, além de contribuir para diminuir os custos operacionais da companhia local.

2.4 SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão da literatura apresentou aspectos sobre a necessidade de se economizar água nas edificações, descrevendo as principais estratégias adotadas na promoção da redução do consumo de água potável. Foi abordada a relação existente entre o uso de água e de energia elétrica, com foco na intensidade energética dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

Algumas pesquisas mostraram a importância da realização de estudos sobre usos finais da água quando se deseja investigar o potencial de economia em uma edificação (FASOLA et al., 2011; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018; MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011; PROENÇA; GHISI, 2013), pois a escolha da estratégia adequada para reduzir o consumo de água potável depende diretamente da forma como ela é utilizada no local.

Vários estudos de usos finais apontam as bacias sanitárias como os aparelhos que mais consomem água nas edificações (DEOREO; HEANEY; MAYER, 1996; GHISI; FERREIRA, 2007;

KAMMERS; GHISI, 2006; MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011; PROENÇA; GHISI, 2010; VIEIRA; GHISI, 2016). Por isso, esses equipamentos hidrossanitários geralmente são foco de pesquisas sobre economia de água em edificações. Quando é avaliada a combinação de estratégias, normalmente priorizam-se as ações que têm influência direta no consumo desses aparelhos, como a substituição de acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos economizadores, antes de considerar a adoção de fontes alternativas para abastecimento. Além disso, geralmente se dá preferência ao reúso de água cinza antes do aproveitamento de água pluvial, pois a disponibilidade de efluentes para reúso não depende de condições climáticas, diferentemente da água da chuva (FASOLA et al., 2011; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018; PROENÇA; GHISI, 2013).

Verificou-se que a intensidade energética nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário é elevada (LEE et al., 2017; SANCHO; SENANTE; GARRIDO, 2011; SNIS, 2018a; SNIS, 2018c; WAKEEL et al., 2016). Além disso, esse consumo de energia também representa custos à concessionária local (PANEPINTO et al., 2016; PULEO et al., 2016; SNIS, 2018a). Portanto, a redução do consumo de água potável e da geração de esgoto nas edificações é fundamental para diminuir o uso de energia nesses processos, além de proporcionar economia financeira às companhias de água e esgoto (MALINOWSKI et al., 2015; PROENÇA et al., 2011). Desta forma, nessa pesquisa pretende-se quantificar a economia de energia elétrica, em escala municipal, decorrente da redução do consumo de água potável e da geração de esgoto em edificações da cidade de Joinville.

3 MÉTODO

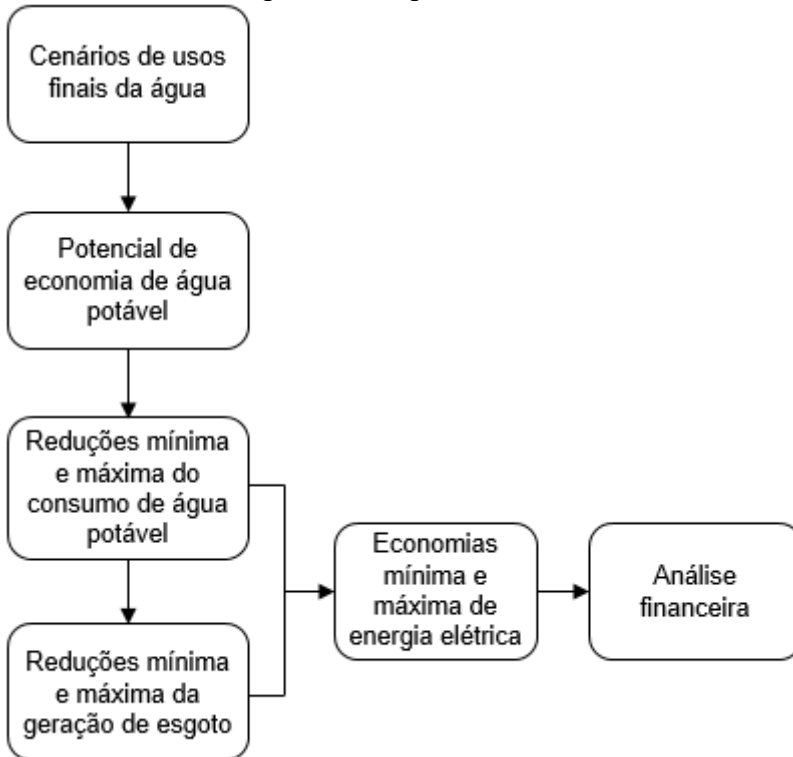
O objetivo deste trabalho é estimar o potencial de economia de energia elétrica decorrente da redução do consumo de água potável nos setores residencial, público e comercial da cidade de Joinville, em Santa Catarina. Para atingi-lo, inicialmente foram definidos cenários de usos finais da água para cada tipologia de edificação, com base em estudos feitos para os mesmos setores avaliados nesta pesquisa.

As estratégias consideradas para promover a economia de água potável foram a substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial. O potencial de redução do consumo de água e da geração de esgoto foi definido para cada perfil de usos finais. Para cada tipologia de edificação, foram identificados os cenários que proporcionaram as economias mínima e máxima de água, determinando também a redução do esgoto gerado para esses casos.

A partir desses resultados, foram estimados os potenciais mínimo e máximo de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Foi avaliado se a Companhia Águas de Joinville, concessionária responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário na cidade, teria ou não prejuízo nessas hipóteses, pois ao mesmo tempo em que haveria economia da energia elétrica consumida, os volumes de água e esgoto faturados pela instituição seriam menores.

A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas do método proposto neste trabalho.

Figura 2 - Fluxograma do método proposto para estimar o potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Joinville



3.1 USOS FINAIS DA ÁGUA

Como os usos finais da água dependem de muito de fatores como cultura, clima e padrão de vida dos usuários (PROENÇA; GHISI, 2010), foram criados diferentes cenários de consumo de água para cada tipologia de edificação, variando os usos finais das fontes de água cinza e da demanda de água não potável. A Tabela 14 apresenta os usos finais da água considerados como fontes de água cinza e como demanda de água não potável em cada tipologia de edificação.

Tabela 14 – Usos finais considerados como fonte de água cinza e como demanda de água não potável em cada setor

Setor	Fonte de água cinza	Demanda de água não potável
Residencial unifamiliar	Lavatório e chuveiro	Bacia sanitária e limpeza
Residencial multifamiliar	Lavatório e chuveiro	Bacia sanitária e limpeza
Público	Lavatório	Bacia sanitária, mictório, limpeza, rega de jardins
Comercial	Lavatório	Bacia sanitária e limpeza

A definição desses cenários foi feita a partir de estudos de usos finais da água realizados em edificações do Brasil. Para o setor residencial, foram usados como referência os trabalhos desenvolvidos por Barreto (2008), Ghisi e Ferreira (2007), Ghisi e Oliveira (2007), Marinowski et al. (2014), Sant’ana (2012) e Vieira e Ghisi (2016). Essa tipologia foi subdividida em residencial unifamiliar e multifamiliar, uma vez que há diferença no perfil de consumo entre esses dois setores. Para os edifícios públicos, os cenários foram definidos a partir dos resultados obtidos por Fasola et al. (2011) e Kammers e Ghisi (2006). Para o setor comercial, os usos finais foram estabelecidos com base no estudo de Proença e Ghisi (2010).

Os cenários foram determinados a partir dos valores mínimos e máximos obtidos nesses estudos, cobrindo várias hipóteses de usos finais da água em cada setor. As porcentagens totais das fontes de água cinza e da demanda de água não potável foram variadas em intervalos de 10%, do valor mínimo ao valor máximo obtido nos estudos. Dentro da parcela da demanda de água não potável, também foi variada a porcentagem referente ao uso final da bacia sanitária em intervalos de 10%.

3.2 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL

Foram consideradas quatro estratégias para reduzir o consumo de água potável nas edificações:

- Substituição dos acabamentos das válvulas de descarga convencionais por modelos de duplo acionamento;

- Reúso da água cinza para fins não potáveis;
- Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis;
- Combinação de substituição dos acabamentos das válvulas de descarga convencionais por modelos de duplo acionamento, reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial.

3.2.1 Substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento

Para definir a redução do consumo de água potável obtida com a substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga, considerou-se a instalação de modelos com duplo acionamento para bacias sanitárias com volume de seis litros. Como não se sabe a quantidade de bacias sanitárias nas quais o acabamento da válvula de descarga já é de duplo acionamento e/ou que já são com volume de seis litros em Joinville, foram adotadas diferentes porcentagens de redução do consumo de água nesses equipamentos hidrossanitários, definidas a partir dos estudos realizados por Fasola (2009), Marinoski, Rupp e Ghisi (2018), Proença e Ghisi (2013) e Sant'ana (2012).

Verificou-se que a redução mínima no consumo de água nas bacias sanitárias obtida com essa medida foi de 16,6% (PROENÇA; GHISI, 2013) e a máxima foi de 74,3% (MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018). A média das economias relatadas nesses estudos foi de 49,2%.

A partir dessa análise, considerou-se neste trabalho que a substituição dos acabamentos convencionais das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento em bacias com volume de seis litros proporcionaria economia de 15%, 50% ou 75% no consumo de água das bacias sanitárias. A porcentagem de redução do consumo de água potável nesse equipamento hidrossanitário equivale à diminuição do volume de esgoto gerado nas bacias sanitárias.

3.2.2 Reúso de água cinza

A segunda estratégia considerada para diminuir o consumo de água potável foi a reutilização, após tratamento, dos efluentes

gerados nas fontes de água cinza para fins não potáveis (Tabela 14).

Nos cenários em que a água cinza disponível para reúso era maior do que a demanda não potável, o potencial de economia de água era igual à demanda de água não potável. Quando a disponibilidade de água cinza era menor que a demanda, o potencial de economia era igual ao volume de efluentes disponível para reúso.

Essa ação também contribui para diminuir a geração de esgoto, visto que os efluentes provenientes de determinados equipamentos hidrossanitários são reutilizados para fins não potáveis antes de serem encaminhados para a estação de tratamento. Nesse caso, o potencial de redução da produção de efluentes é equivalente à economia de água decorrente do reúso de água cinza.

3.2.3 Aproveitamento de água pluvial

A água pluvial também foi considerada fonte alternativa a ser usada para suprir a demanda não potável das edificações (Tabela 14). O potencial de economia de água a partir do aproveitamento de água pluvial foi determinado no programa computacional Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014a). Este programa simula um sistema de captação de águas pluviais a partir dos seguintes dados de entrada:

- Precipitação diária (mm/dia);
- Coeficiente de escoamento superficial;
- Percentual da demanda a ser substituído por água pluvial (%);
- Demanda total de água potável (litros/dia);
- Área de captação (m²);
- Volume do reservatório superior (litros);
- Volume do reservatório inferior (litros).

Foram usados dados de precipitação diária para um período de 21 anos (de 01 de janeiro de 1996 a 31 de dezembro de 2016), fornecidos pelo Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira (CCJ). Os dados são referentes à Estação Meteorológica da Univille, localizada em Joinville.

O coeficiente de escoamento superficial adotado foi igual a 0,8 em todas as simulações. Isso significa que foram consideradas perdas de 20% no volume precipitado devido à absorção e evaporação da água da chuva quando ela atinge a superfície de captação (GHISI; CORDOVA, 2014b).

O percentual de demanda a ser substituído por água pluvial foi diferente em cada simulação, pois esse dado corresponde à demanda de água não potável do cenário considerado.

Outro índice que precisa ser inserido no programa para que ele determine o potencial de economia por meio do aproveitamento de água pluvial é o descarte do escoamento inicial. Nessa pesquisa, foi adotado descarte de 2 mm, conforme recomendação da NBR 15527 (ABNT, 2007).

3.2.3.1 Demanda total de água potável

A demanda total de água potável (l/dia) para cada tipologia foi definida a partir dos resultados apresentados por Barreto (2008), Fasola et al. (2011), Ghisi e Ferreira (2007), Ghisi e Oliveira (2007), Kammers e Ghisi (2006), Marinoski et al. (2014), Proença e Ghisi (2010), Sant'ana (2012) e Vieira e Ghisi (2016). Foram determinadas as demandas totais mínima, máxima e de ocorrência mais provável em cada setor. As simulações dos sistemas de aproveitamento de água pluvial para todos os cenários de usos finais da água foram feitas considerando essas três demandas totais de água pluvial.

Para calcular as demandas, foi criada para cada tipologia de edificação uma amostra formada pelo consumo total diário das edificações analisadas nesses estudos. De cada amostra, excluíram-se os valores discrepantes (espúrios). A identificação dos espúrios foi feita a partir do cálculo do desvio interquartilico de cada amostra, conforme Equação 1.

$$d_q = q_s - q_i \quad (1)$$

Onde:

d_q é o desvio interquartilico;

q_s é o quartil superior da amostra;

q_i é o quartil inferior da amostra.

Consideraram-se como espúrios todos os dados que estivessem 1,5 vez o desvio interquartilico acima do quartil superior ou abaixo do quartil inferior da amostra. Identificaram-se diretamente as demandas totais mínima e máxima de cada setor após a exclusão dos valores discrepantes. Para calcular a demanda de ocorrência mais provável, primeiramente os dados da amostra foram separados em classes. O número de classes de cada amostra foi definido a partir da fórmula de Sturges, apresentada na Equação 2.

$$k = 1 + (3,3 * \log(n)) \quad (2)$$

Onde:

k é o número de classes;

n é o número de dados da amostra.

A Equação 2 foi utilizada apenas como parâmetro inicial para escolha do número de classes. A escolha final foi feita de forma a evitar classes com frequências muito grandes ou nulas. Determinou-se a frequência absoluta (número de observações correspondente a classe) e a frequência relativa (Equação 3) de cada classe.

$$f_{ri} = \frac{f_i}{n} \quad (3)$$

Onde:

f_{ri} é a frequência relativa da classe;

n é o número de dados da amostra.

Para cada amostra, foi identificada a classe com maior frequência relativa (classe modal), e para esta classe foi calculada a moda da amostra pelo método de Czuber, conforme apresentado na Equação 4.

$$M_o = \lim_{inf} + \left(\frac{f_{M_o} - f_{ant}}{(2 * f_{M_o}) - (f_{ant} - f_{post})} * h \right) \quad (4)$$

Onde:

M_o é a moda da amostra;

lim_{inf} é o limite inferior da classe modal;

f_{M_o} é a frequência absoluta da classe modal;

f_{ant} é a frequência absoluta da classe anterior à modal;

f_{post} é a frequência absoluta da classe posterior à modal;

h é a amplitude da classe modal.

A moda da amostra, calculada pela Equação 4, foi adotada como consumo mais provável para a sua respectiva tipologia de edificação.

3.2.3.2 Áreas de captação

As áreas de captação (m^2) foram definidas com base na relação das edificações cadastradas junto à Secretaria da Fazenda da Prefeitura de Joinville e no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo). Foram definidas três áreas de cobertura para cada setor (mínima, máxima e de ocorrência mais provável), e as simulações de cada cenário foram feitas para esses três valores. Essas áreas foram determinadas de forma análoga à demanda total de água potável: primeiro formou-se uma amostra para cada tipologia de edificação com diversos dados de áreas de cobertura; excluíram-se os espúrios das amostras; definiram-se as áreas de cobertura mínima e máxima; dividiram-se os dados das amostras em classes; identificou-se a classe modal de cada amostra; determinou-se a área de cobertura de ocorrência mais provável de cada setor a partir do cálculo da moda da amostra pelo método de Czuber.

As amostras das áreas de cobertura dos setores residencial unifamiliar e multifamiliar foram formadas com os dados utilizados por Custódio (2017), os quais foram fornecidos pela Secretaria da Fazenda da Prefeitura de Joinville. Em seu estudo, Custódio (2017) analisou apenas as edificações residenciais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira. Inicialmente, as amostras das áreas de cobertura dos setores residencial unifamiliar e multifamiliar possuíam, respectivamente, 44.180 e 828 dados. Excluídos os valores discrepantes, essas amostras ficaram com 41.551 e 799 dados, respectivamente.

Para os setores público e comercial, os dados das amostras das áreas de cobertura foram medidos no SIMGeo (JOINVILLE, 2018). Através do Google Maps (GOOGLE, 2018), identificaram-se as edificações que tinham uso exclusivamente público ou comercial. Essas edificações eram localizadas no SIMGeo e, nesta plataforma, mediam-se as suas áreas de cobertura. A Figura 3 apresenta a interface do SIMGeo, mostrando o nome das ruas e a projeção das edificações destacadas em cinza. Como no setor residencial foram utilizados apenas os dados das edificações pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, nas tipologias pública e comercial também foram medidas as áreas de cobertura dentro deste limite geográfico. Segundo Maia et al. (2013), 49% da população do município de Joinville reside nesta bacia hidrográfica. Por isso, considerou-se suficiente medir as áreas de cobertura apenas nesta bacia, pois esses dados seriam representativos da cidade como um todo. Na Figura 3, a linha verde mostra o limite entre bacias hidrográficas representado na interface do SIMGeo. Foram medidas as áreas de cobertura de 204 edificações do setor público e de 1.536 do setor comercial. Depois da exclusão dos espúrios, as amostras dessas tipologias ficaram com, respectivamente, 198 e 1.412 dados.

Figura 3 - Interface do SIMGeo



Fonte: Joinville (2018).

3.2.3.3 Volume dos reservatórios superior e inferior

O volume do reservatório superior foi definido como igual à demanda média de água pluvial. Essa informação foi variável de acordo com o cenário simulado.

Em relação ao reservatório inferior, as simulações foram feitas para diversos volumes, de 0 a 50.000 litros, em intervalos de 1.000 litros. Foi solicitado que o programa computacional indicasse o volume ideal. Para isso, foi necessário definir a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial. Segundo Ghisi e Cordova (2014b), quando se requisita que o programa recomende o volume ideal para o reservatório inferior, o mesmo é calculado por meio da Equação 5.

$$\frac{\Delta p_{pluv}}{\Delta V_{inf}} \leq \Delta_{ideal} \quad (5)$$

Onde:

Δp_{pluv} é a variação no percentual de utilização de água pluvial (%);
 ΔV_{inf} é a variação no volume do reservatório inferior (m³);
 Δ_{ideal} é diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial indicada pelo usuário (%/m³).

O primeiro volume simulado que resultar em diferença entre potenciais de economia de água potável menor do que o valor definido pelo usuário é indicado como volume ideal. Nessa pesquisa, a diferença entre potenciais de economia de água adotada foi de 2%/m³, conforme utilizado em outros estudos que também avaliaram o potencial de aproveitamento de água pluvial (CUSTÓDIO, 2017; GHISI, 2010; GHISI; THIVES; PAES, 2017; SOUZA; GHISI, 2012; VIEIRA; GHISI, 2016).

Posteriormente a determinação de todos os parâmetros necessários, para cada cenário de usos finais foram feitas nove simulações (três consumos diários de água potável e três áreas de cobertura). Em cada simulação, o programa computacional indicou o volume ideal para o reservatório inferior e o respectivo potencial de economia de água potável.

3.2.4 Combinação das estratégias para redução do consumo de água potável

Depois de verificar o potencial de economia de água potável para cada cenário considerando as estratégias de maneira

isolada, as ações foram combinadas entre si, determinando a redução do consumo caso todas as estratégias fossem adotadas simultaneamente. Nessa análise, priorizou-se a troca dos acabamentos das válvulas de descarga, seguida do reúso de água cinza, pois estas ações também contribuem para diminuir o volume de esgoto gerado. O aproveitamento de água pluvial favorece apenas a redução do consumo de água potável, por isso foi a última estratégia a ser considerada (PROENÇA et al., 2011).

As bacias sanitárias normalmente são apontadas como os aparelhos que mais consomem água nas edificações (OLIVEIRA, 2002). Por isso, a substituição dos acabamentos comuns das válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento foi a primeira medida a ser adotada para redução do consumo de água e da geração de efluentes. Da mesma forma como descrito na seção 3.2.1, considerou-se a instalação de acabamentos de duplo acionamento para bacias sanitárias com seis litros de volume. Assim, como não se sabe a quantidade de bacias sanitárias nas quais o acabamento da válvula de descarga já é de duplo acionamento e/ou que já são com volume de seis litros em Joinville, foram consideradas reduções de 15%, 50% e 75% no consumo de água potável das bacias sanitárias.

Em relação à água cinza, foi assumido que essa fonte alternativa atenderia a demanda de água não potável remanescente após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga. Além dessa ação também contribuir para diminuir a geração de esgoto, a água cinza é gerada na própria edificação e sua disponibilidade não depende das condições climáticas, diferentemente da água pluvial (PROENÇA; GHISI, 2013). Por isso, foi considerada a adoção dessa estratégia antes do aproveitamento da água pluvial. A determinação do potencial de economia de água potável obtida com essa medida foi feita da mesma forma como descrito na seção 3.2.2.

Nos cenários em que a água cinza disponível para reúso não era suficiente para atender toda a demanda de água não potável remanescente após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, a água pluvial também foi considerada fonte alternativa a ser usada para esses fins. Essa análise foi feita no programa computacional Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014a). Os dados de entrada do programa foram os mesmos descritos na seção 3.2.3, exceto o percentual da demanda a ser substituído por

água pluvial. Nesse caso em que foi considerada a adoção das três estratégias simultaneamente em cada cenário, esse dado foi igual à demanda de água não potável remanescente após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga e o reúso de água cinza. Portanto, ele depende do potencial de economia de água obtido com as outras estratégias. Não foi feita a análise do aproveitamento de água pluvial para os casos em que a água cinza foi suficiente para suprir toda a demanda não potável.

3.2.5 Redução do volume de água potável consumido e de esgoto gerado

Para determinar o volume de água consumido e o de esgoto gerado por setor na cidade de Joinville, foram usados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da Agência Municipal de Regulação dos Serviços de Água e Esgoto de Joinville (AMAE).

Como volume total de água potável consumido e volume total de esgoto gerado em Joinville, utilizou-se a média de consumo e da geração nos últimos anos de acordo com os dados do SNIS (2018c). Obtiveram-se dados referentes ao consumo de água e à geração de esgoto anuais em Joinville entre os anos de 2007 e 2016 e formaram-se duas amostras relativas a cada conjunto de dados. Destas amostras, identificaram-se e excluíram-se os espúrios utilizando os mesmos critérios descritos na seção 3.2.3.1. Depois disso, foram calculados o consumo médio anual de água potável e a geração média anual de esgoto na cidade.

As porcentagens do consumo de água e da geração de esgoto de cada setor foram determinadas a partir de dados da AMAE (AMAE, 2017).

Depois de verificar o potencial de economia de água considerando as estratégias de forma isolada e combinada, para cada caso, foram identificados os cenários de cada setor que garantiriam as reduções mínima e máxima do consumo de água. A redução do consumo de água potável em cada setor, considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial (isolada ou simultaneamente), foi estimada por meio da Equação 6.

$$V = PE * C \quad (6)$$

Onde:

V é o volume de água potável economizado no setor (m³/ano);

PE é o potencial de economia de água potável para a estratégia considerada (%);

C é o volume médio anual de água consumido em Joinville no setor considerado, segundo dados do SNIS e da AMAE (m³/ano).

Para cada tipologia de edificação, esse cálculo foi feito apenas para os cenários de usos finais que resultaram nas reduções mínima e máxima do consumo de água potável. Desta forma, foram determinados os volumes mínimo e máximo de água que poderiam ser economizados em cada setor.

Posteriormente, calculou-se para cada setor a redução do volume de esgoto gerado nesses cenários de mínima e máxima diminuição do consumo de água por meio das Equações 7 ou 8. Nesse cálculo não foi considerado o aproveitamento de água pluvial porque essa ação não interfere na produção de efluentes. Nos casos em que foram analisadas as estratégias separadas, considerou-se que o potencial de economia de água potável era o mesmo de redução da geração de esgoto para a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga e reúso de água cinza (Equação 7). Para analisar as estratégias combinadas, considerou-se a soma dos potenciais de economia dessas duas estratégias (Equação 8).

$$V' = PE' * C' \quad (7)$$

Onde:

V' é a redução do volume de esgoto gerado no setor (m³/ano);

PE' é o potencial de economia de água potável, considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga ou o reúso de água cinza (%). No caso em que for considerado apenas o aproveitamento de água pluvial, esse valor será zero;

C' é o volume médio anual de esgoto gerado em Joinville no setor considerado, segundo dados do SNIS e da AMAE (m³/ano).

$$V' = PE'' * C' \quad (8)$$

Onde:

V' é a redução do volume de esgoto gerado no setor (m^3/ano);
 PE'' é o potencial de economia de água potável, considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga e o reúso de água cinza (%);
 C' é o volume médio anual de esgoto gerado em Joinville no setor considerado, segundo dados do SNIS e da AMAE (m^3/ano).

Para cada setor, a redução da geração de esgoto foi calculada apenas para os cenários de usos finais que resultaram nas economias mínima e máxima de água potável. Com isso, foram determinadas as reduções mínima e máxima do volume de esgoto gerado para cada tipologia de edificação.

A redução total do volume de água potável consumido, considerando todas as tipologias de edificação avaliadas nesse estudo, foi calculada por meio da Equação 9.

$$V_{total} = V_{ru} + V_{rm} + V_p + V_c \quad (9)$$

Onde:

V_{total} é a redução total do volume de água potável consumido em Joinville (m^3/ano);
 V_{ru} , V_{rm} , V_p e V_c são as reduções do volume de água potável consumido nos setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial, respectivamente, determinadas por meio da Equação 6 (m^3/ano).

A redução total do volume de esgoto gerado, considerando todas as tipologias de edificação avaliadas nesse estudo, foi calculada por meio da Equação 10.

$$V'_{total} = V'_{ru} + V'_{rm} + V'_p + V'_c \quad (10)$$

Onde:

V'_{total} é a redução total do volume de esgoto gerado em Joinville (m^3/ano);
 V'_{ru} , V'_{rm} , V'_p e V'_c são as reduções do volume de esgoto gerado nos setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial, respectivamente, determinadas por meio das Equações 7 ou 8 (m^3/ano).

As Equações 9 e 10 foram aplicadas para os volumes mínimo e máximo de cada setor, definidos por meio das Equações 6 e 7 ou 6 e 8. Desta forma, foram determinadas as reduções totais mínima e máxima do volume de água potável consumida e de esgoto gerado na cidade de Joinville.

A verificação das reduções mínima e máxima do volume de água consumido e de esgoto gerado foi repetida quatro vezes: considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial de forma isolada e considerando a adoção dessas três estratégias simultaneamente.

3.3 POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

O potencial de economia de energia elétrica foi analisado apenas para os cenários que resultaram nas reduções mínima e máxima do consumo de água. A economia de energia decorrente da diminuição da demanda de água potável foi calculada, para cada tipologia, por meio da Equação 11.

$$EE_a = V * CE_a \quad (11)$$

Onde:

EE_a é a economia de energia decorrente da redução do consumo de água potável para o setor (kWh/ano);

V é o volume de água potável economizado no setor, calculado por meio da Equação 6 (m^3 /ano);

CE_a é o índice médio de consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água de Joinville, segundo dados do SNIS (kWh/m^3).

A economia de energia obtida com a redução do volume de esgoto gerado foi calculada, para cada setor, por meio da Equação 12.

$$EE_e = V' * CE_e \quad (12)$$

Onde:

EE_e é a economia de energia decorrente da redução do volume de esgoto gerado no setor (kWh/ano);

V' é a redução do volume de esgoto gerado no setor, calculado por meio das Equações 7 ou 8 (m^3/ano);
 CE_e é o índice médio de consumo de energia elétrica nos sistemas de esgotamento sanitário de Joinville, segundo dados do SNIS (kWh/m^3).

Os índices médios de consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário foram determinados a partir de dados do SNIS (2018c), onde foram coletados os índices de consumo em cada sistema entre 2007 e 2016, formando uma amostra para cada conjunto de informações. Os espúrios de cada amostra foram identificados e excluídos conforme os critérios da seção 3.2.3.1, e posteriormente foi calculada a média de cada amostra.

A economia de energia em cada setor foi calculada para as reduções mínima e máxima do volume de água potável (Equação 6) e do volume de esgoto (Equação 7 ou 8). Desta forma, para cada tipologia de edificação foram determinadas as economias de energia elétrica mínima e máxima decorrentes da diminuição do consumo de água e da geração de efluentes proporcionadas por cada estratégia.

O potencial de economia de energia elétrica total decorrente da redução do volume de água potável consumido em todas as tipologias de edificação foi calculado por meio da Equação 13.

$$EE_{a,total} = EE_{a,ru} + EE_{a,rm} + EE_{a,p} + EE_{a,c} \quad (13)$$

Onde:

$EE_{a,total}$ é a economia total de energia decorrente da redução do consumo de água potável em Joinville (kWh/ano);

$EE_{a,ru}$, $EE_{a,rm}$, $EE_{a,p}$ e $EE_{a,c}$ são as economias de energia decorrentes da redução do consumo de água potável nos setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial, respectivamente, calculadas por meio da Equação 11 (kWh/ano).

O potencial de economia de energia elétrica total decorrente da redução do volume de esgoto gerado em todos os setores foi determinado por meio da Equação 14.

$$EE_{e,total} = EE_{e,ru} + EE_{e,rm} + EE_{e,p} + EE_{e,c} \quad (14)$$

Onde:

$EE_{e,total}$ é a economia total de energia decorrente da redução do volume de esgoto gerado em Joinville (kWh/ano);

$EE_{e,ru}$, $EE_{e,rm}$, $EE_{e,p}$ e $EE_{e,c}$ são as economias de energia decorrentes da redução do volume de esgoto gerado nos setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial, respectivamente, calculadas por meio da Equação 12 (kWh/ano).

As Equações 13 e 14 foram aplicadas às economias de energia mínima e máxima para cada setor, determinadas por meio das Equações 11 e 12. Portanto, foram definidas as economias mínima e máxima de energia elétrica decorrentes da redução do volume de água consumido e de esgoto gerado em Joinville.

A análise das economias mínima e máxima de energia elétrica foi repetida quatro vezes: considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial de forma isolada e considerando a adoção dessas três estratégias simultaneamente.

3.4 ANÁLISE FINANCEIRA

3.4.1 Benefício financeiro

A diminuição do consumo de energia elétrica representaria benefício financeiro para a Companhia Águas de Joinville, concessionária responsável pelo fornecimento de água potável e coleta e tratamento do esgoto na cidade, uma vez que menos energia seria consumida nesses processos. A economia financeira obtida em um ano com a redução do uso de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em Joinville foi calculada por meio da Equação 15.

$$EF_{energia} = (EE_{a,total} + EE_{e,total}) * T_{energia} \quad (15)$$

Onde:

EF_{energia} é a economia financeira obtida com a redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (R\$/ano);

$EE_{a,\text{total}}$ é a economia total de energia decorrente da redução do consumo de água potável em Joinville, calculado por meio da Equação 13 (kWh/ano);

$EE_{e,\text{total}}$ é a economia total de energia decorrente da redução do volume de esgoto gerado em Joinville, calculado por meio da Equação 14 (kWh/ano);

T_{energia} é o índice médio de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto, segundo dados do SNIS (R\$/kWh).

O índice médio de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto (tarifa de energia elétrica paga pela concessionária) foi determinado a partir de dados do SNIS (2018c). Formou-se uma amostra com os valores das tarifas de energia elétrica pagas pela concessionária entre 2007 e 2016. Foram identificados e excluídos os espúrios desta amostra de acordo com os critérios descritos na seção 3.2.3.1. O índice médio foi definido como a média aritmética dessa amostra após a exclusão dos valores discrepantes.

A Equação 15 foi aplicada para as economias totais mínima e máxima de energia elétrica (Equações 13 e 14). Portanto, foram determinadas as economias financeiras mínima e máxima decorrentes da redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

A diminuição dos volumes de água e esgoto a serem tratados também diminuiria a necessidade da companhia expandir as redes de água e esgoto, o que também proporcionaria redução dos seus gastos. A economia financeira decorrente da diminuição das taxas de expansão das redes de água e esgoto em Joinville foi calculada por meio da Equação 16.

$$EF_{\text{expansão}} = (I_a * CR_a * PE_a) + (I_e * CR_e * PE_e) \quad (16)$$

Onde:

$EF_{\text{expansão}}$ é a economia financeira decorrente da redução da expansão das redes de água e esgoto em Joinville (R\$/ano);

I_a é o custo médio para implantação das redes de água, segundo dados da Companhia Águas de Joinville (R\$/m);

CR_a é o crescimento médio anual da extensão das redes de água em operação, segundo dados da Companhia Águas de Joinville (m/ano);

PE_a é o potencial de economia de água potável em Joinville para a estratégia considerada (%);

I_e é o custo médio para implantação das redes de esgoto, segundo dados da Companhia Águas de Joinville (R\$/m);

CR_e é o crescimento médio anual da extensão das redes de esgoto em operação, segundo dados da Companhia Águas de Joinville (m/ano);

PE_e é o potencial de redução da geração de esgoto em Joinville para a estratégia considerada (%).

O custo médio para implantação das redes de água e esgoto foi determinado a partir de informações repassadas pela Companhia Águas de Joinville. A companhia forneceu dados do custo unitário total (materiais e serviços) para implantação das redes conforme o diâmetro da tubulação e os custos totais de uma obra de ampliação da rede de água e de uma obra de ampliação da rede de esgoto realizadas em Joinville. O custo médio foi definido como a média ponderada dos custos unitários de cada diâmetro de tubulação, usando a parcela do custo total de implantação referente a cada diâmetro de tubulação nas obras das quais se tinha o orçamento completo como peso para o cálculo da média.

A Companhia Águas de Joinville também disponibilizou a extensão total das redes de água e esgoto em operação na cidade de Joinville no período entre 2007 e 2016. Com esses dados, determinou-se o crescimento médio anual da extensão das redes. Foi calculada a variação da extensão, em metros, ao longo de cada ano, formando duas amostras: crescimento da extensão das redes de água e das redes de esgoto. Excluíram-se os espúrios de cada amostra seguindo os critérios descritos na seção 3.2.3.1 e calculou-se a média aritmética de cada conjunto de dados, determinando o crescimento médio anual da extensão das redes de água e esgoto.

O potencial de economia de água potável e de diminuição da geração de esgoto foi definido como a porcentagem que as

reduções totais do volume de água consumido e de esgoto gerado em Joinville (V_{total} e V'_{total}), calculados de acordo com as Equações 9 e 10, respectivamente, representam do volume anual total de água consumido e de esgoto gerado na cidade.

A determinação da economia financeira definida pela Equação 16 foi repetida para os potenciais mínimo e máximo de redução do consumo de água potável e da geração de esgoto, de forma a calcular as economias financeiras mínima e máxima decorrentes da diminuição da ampliação das redes de água e esgoto.

O benefício financeiro total da concessionária em um ano (EF_{total} , em R\$/ano) é a soma da economia decorrente da redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário (Equação 15) e da economia obtida com a redução da taxa de ampliação das redes de água e esgoto (Equação 16).

Foi determinado o benefício financeiro total (mínimo e máximo) considerando quatro situações: a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial de forma isolada e a adoção dessas três estratégias simultaneamente.

3.4.2 Prejuízo financeiro

A redução do consumo de água e da geração de esgoto também representa benefício financeiro aos consumidores, que terão os valores de suas contas de água e esgoto reduzidos. No entanto, essa economia proporcionada aos usuários representaria prejuízo financeiro à concessionária, pois os volumes de água e esgoto faturados pela companhia diminuiriam e, conseqüentemente, sua arrecadação seria menor.

Os consumidores que já pagam a tarifa mínima cobrada pela concessionária não serão beneficiados financeiramente pela redução do seu consumo de água e geração de esgoto, pois continuarão pagando o valor mínimo. Desta forma, a redução dos volumes nessas unidades consumidoras não causará prejuízo financeiro à concessionária. Em Joinville, o valor da tarifa mínima corresponde ao consumo mensal de até 10 m³ de água (COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE, 2018).

O prejuízo financeiro para a concessionária decorrente da diminuição dos volumes de água e esgoto faturados foi calculado por meio da Equação 17.

$$P = (T_a * V_{total}) + (T_e * V'_{total}) - (N_a * 10 * T_a) - (N_e * 10 * T_e) \quad (17)$$

Onde:

P é o prejuízo para a companhia decorrente da redução da sua arrecadação (R\$/ano);

T_a é a tarifa média de água cobrada pela concessionária, segundo dados do SNIS (R\$/m³);

V_{total} é a redução total do volume de água potável consumido em Joinville, determinado por meio da Equação 9 (m³/ano);

T_e é a tarifa média de esgoto cobrada pela concessionária, segundo dados do SNIS (R\$/m³);

V'_{total} é a redução total do volume de esgoto gerado em Joinville, determinado por meio da Equação 10 (m³/ano);

N_a é o número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de água em Joinville, segundo dados da Companhia Águas de Joinville;

N_e é o número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de esgoto em Joinville, segundo dados da Companhia Águas de Joinville.

Os valores das tarifas de água e esgoto foram determinados segundo dados do SNIS (2018c). Foram obtidas as tarifas entre os anos de 2007 e 2016, formando duas amostras. Desses conjuntos de dados, foram identificados e excluídos os espúrios conforme o método descrito na seção 3.2.3.1. Por fim, foram determinadas a tarifa média de água e a tarifa média de esgoto em Joinville para o período considerado.

O número de unidades consumidoras da cidade que consomem volume de água potável menor do que o mínimo (10 m³) foi fornecido pela Companhia Águas de Joinville para o ano de 2017. O número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de água e esgoto é diferente porque a taxa de cobertura do sistema de esgotamento sanitário em Joinville ainda é pequena. Segundo SEPUD (2018), em 2017 apenas 29,85% da população da cidade era atendida por esse serviço. Portanto, não há coleta de esgoto em muitas unidades que pagam a tarifa

mínima pelo consumo de água potável e nestas não é feita a cobrança desse serviço. Considerou-se que o número de unidades que pagam a tarifa mínima de esgoto é igual a 29,85% do número de unidades que pagam a tarifa mínima de água.

O cálculo do prejuízo financeiro poderia ser feito separadamente para cada tipologia de edificação, uma vez que as tarifas de água e esgoto são diferentes em cada setor. Contudo, para isso, seria necessário conhecer o consumo de cada unidade consumidora, pois o valor cobrado pelo metro cúbico de água potável consumido varia de acordo com a faixa de consumo. Além disso, a separação do cálculo por tipologia exigiria que as informações a respeito do número de unidades consumidoras que consomem menos do que o volume mínimo também fosse dividido por setor, e os dados concedidos pela Companhia Águas de Joinville são do número total de unidades no município que pagam por essa tarifa. Por esses motivos, optou-se por não separar o cálculo do prejuízo financeiro por tipologia de edificação e utilizar a tarifa média de água e esgoto fornecida pelo SNIS.

Para determinar os prejuízos financeiros mínimo e máximo decorrentes da redução do consumo de água e da geração de esgoto, a Equação 17 foi aplicada aos volumes totais mínimo e máximo, determinados por meio das Equações 9 e 10.

O cálculo do prejuízo financeiro foi repetido quatro vezes: considerando a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o reúso de água cinza e o aproveitamento de água pluvial de forma isolada e considerando a adoção dessas três estratégias simultaneamente.

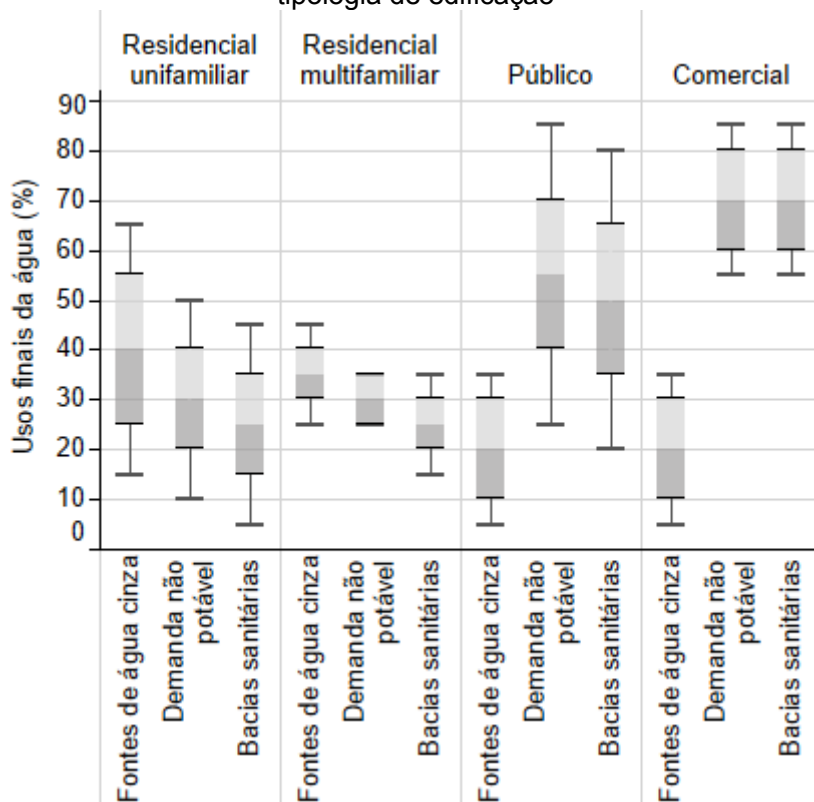
Comparando o benefício e o prejuízo financeiro obtidos em um ano, definiu-se qual seria o impacto financeiro para a companhia da redução do volume de água potável consumido e de esgoto gerado. Com essa análise, foi verificado se a diminuição do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além do efeito ambiental positivo da preservação de água e energia, também teria resultado financeiro favorável à concessionária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 USOS FINAIS DA ÁGUA

Foram criados diferentes cenários de usos finais da água para cada tipologia de edificação, variando as porcentagens referentes as fontes de água cinza e a demanda de água não potável. Na parcela da demanda de água não potável, também foi variada a porcentagem referente ao uso final da bacia sanitária. A Figura 4 apresenta a variação dos usos finais da água adotada nesse estudo, para cada setor avaliado.

Figura 4 - Variação dos usos finais da água nos cenários de cada tipologia de edificação



As porcentagens mínimas de cada diagrama de caixa da Figura 4 foram variadas em intervalos de 10% até a porcentagem máxima. No setor residencial unifamiliar, por exemplo, as fontes de água cinza variaram entre 15% e 65% (15%, 25%, 35%, 45%, 55% e 65%), a demanda não potável variou entre 10% e 50% (10%, 20%, 30%, 40% e 50%) e o uso das bacias sanitárias variou entre 5% e 45% (5%, 15%, 25%, 35% e 45%). Todos esses valores foram combinados entre si. Excluíram-se os casos em que a soma das fontes de água cinza e da demanda não potável resultavam em valores maiores que 100% e os casos em que o uso das bacias sanitárias era maior do que a demanda não potável, uma vez que as bacias sanitárias também foram consideradas nesta demanda. Isso resultou em 76 cenários de usos finais para o setor residencial unifamiliar. Esse processo foi feito para os demais setores e foram obtidos 15 cenários para a tipologia residencial multifamiliar, 92 para a pública e 29 para a comercial. Os valores das porcentagens referentes a cada cenário de usos finais da água são apresentados no Apêndice A.

4.2 CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL E GERAÇÃO DE ESGOTO POR SETOR EM JOINVILLE

Segundo dados do SNIS (2018c), o consumo médio anual de água potável em Joinville entre 2007 e 2016 foi 29.115.880 m³. A geração média anual de esgoto na cidade neste mesmo período foi 5.466.510 m³.

A Agência Municipal de Água e Esgoto (autarquia responsável pela fiscalização dos serviços de água e esgoto em Joinville até julho de 2017) divulgou os dados de consumo de água e geração de esgoto em Joinville em 2016 para cada tipologia de edificação (AMAE, 2017), os quais são apresentados nas Figuras 5 e 6.

De acordo com o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2018), 84,2% dos domicílios de Joinville são residências unifamiliares e 15,8% estão localizados em edifícios multifamiliares. Por isso foi considerado que dos volumes de água consumido e de esgoto gerado no setor residencial (Figuras 5 e 6), 84,2% corresponde a habitações unifamiliares e 15,8% a multifamiliares.

Figura 5 - Porcentagem de consumo de água em cada setor na cidade de Joinville

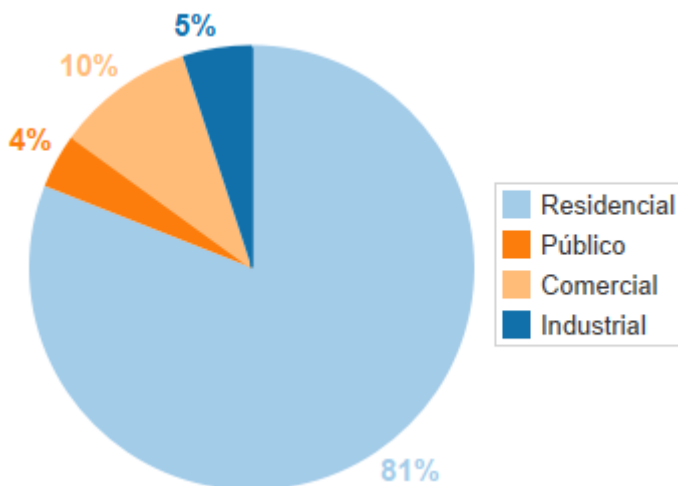
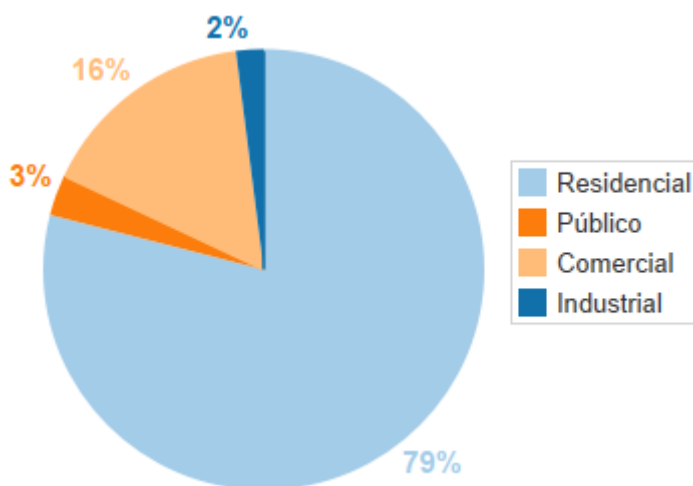


Figura 6 - Porcentagem de geração de esgoto em cada setor na cidade de Joinville



4.3 SUBSTITUIÇÃO DOS ACABAMENTOS CONVENCIONAIS DAS VÁLVULAS DE DESCARGA POR MODELOS DE DUPLO ACIONAMENTO

4.3.1 Potencial de economia de água potável

Para o cálculo do potencial de economia de água potável decorrente desta estratégia, foi considerada a instalação de acabamentos de válvulas de descarga de duplo acionamento em bacias sanitárias com volume de seis litros. A redução do consumo de água proporcionada por essa estratégia foi calculada para três possíveis economias de água nesses equipamentos hidrossanitários (15%, 50% e 75%), pois não se sabe a quantidade de bacias sanitárias que já possuem esse volume e/ou válvulas de descarga com esse tipo de acabamento em Joinville.

As Tabelas 15 a 18 apresentam os potenciais de economia de água potável em cada setor obtidos com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, para as três reduções de consumo de água nas bacias sanitárias consideradas.

Tabela 15 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor residencial unifamiliar

Cenários	Uso final das bacias sanitárias (%)	Potencial de economia de água potável (%)		
		Redução de 15%	Redução de 50%	Redução de 75%
1 ao 12, 19 ao 24, 37 ao 41, 57 ao 60	5,0	0,8	2,5	3,8
13 ao 18, 25 ao 30, 42 ao 46, 61 ao 64	15,0	2,2	7,5	11,2
31 ao 36, 47 ao 51, 65 ao 68	25,0	3,8	12,5	18,8
52 ao 56, 69 ao 72	35,0	5,2	17,5	26,2
73 ao 76	45,0	6,8	22,5	33,8

Tabela 16 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor residencial multifamiliar

Cenários	Uso final das bacias sanitárias (%)	Potencial de economia de água potável (%)		
		Redução de 15%	Redução de 50%	Redução de 75%
1 ao 3, 7 ao 9	15,0	2,2	7,5	11,2
4 ao 6, 10 ao 12	25,0	3,8	12,5	18,8
13 ao 15	35,0	5,2	17,5	26,2

Tabela 17 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor público

Cenários	Uso final das bacias sanitárias (%)	Potencial de economia de água potável (%)		
		Redução de 15%	Redução de 50%	Redução de 75%
1 ao 8, 13 ao 16, 25 ao 28, 41 ao 44, 61 ao 63, 79, 80	20,0	3,0	10,0	15,0
9 ao 12, 17 ao 20, 29 ao 32, 45 ao 48, 64 ao 66, 81, 82	30,0	4,5	15,0	22,5
21 ao 24, 33 ao 36, 49 ao 52, 67 ao 69, 83, 84	40,0	6,0	20,0	30,0
37 ao 40, 53 ao 56, 70 ao 72, 85, 86	50,0	7,5	25,0	37,5
57 ao 60, 73 ao 75, 87, 88	60,0	9,0	30,0	45,0
76 ao 78, 89, 90	70,0	10,5	35,0	52,5
91, 92	80,0	12,0	40,0	60,0

Tabela 18 - Potencial de economia de água potável obtida com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga no setor comercial

Cenários	Uso final das bacias sanitárias (%)	Potencial de economia de água potável (%)		
		Redução de 15%	Redução de 50%	Redução de 75%
1 ao 8, 13 ao 15, 22, 23	55,0	8,2	27,5	41,2
9 ao 12, 16 ao 18, 24, 25	65,0	9,8	32,5	48,8
19 ao 21, 26, 27	75,0	11,2	37,5	56,2
28, 29	85,0	12,8	42,5	63,8

O potencial de economia de água potável obtido com essa estratégia variou de 0,8% no setor residencial unifamiliar a 63,8% no setor comercial. Esses valores estão diretamente relacionados ao uso final das bacias sanitárias. Como nos setores público e comercial esse equipamento hidrossanitário corresponde à maior parcela do consumo total de água, a economia obtida com essa estratégia nessas tipologias de edificação é maior.

4.3.2 Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto

Foram identificados os cenários de cada setor que correspondiam aos potenciais mínimo e máximo de economia de água potável (PE), verificando o respectivo potencial de redução da geração de esgoto (PE'). Para essa estratégia, estes potenciais são equivalentes. Com isso, calcularam-se as reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V'), para cada tipologia de edificação, obtidas com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga. A Tabela 19 apresenta esses valores.

Com base nos valores totais apresentados na Tabela 19, constata-se que a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga em todas as edificações dos setores residencial, público

e comercial de Joinville proporcionaria economia de 1,7% a 35,1% no consumo total de água potável e redução de 2,1% a 37,4% na geração de esgoto.

Tabela 19 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga

Setor		PE/PE' (%)	V (m ³ /ano)	V' (m ³ /ano)
Residencial unifamiliar	Mínimo	0,8	149.528,7	27.347,9
	Máximo	33,8	6.728.790,1	1.230.653,7
Residencial multifamiliar	Mínimo	2,2	84.176,5	15.395,4
	Máximo	26,2	982.058,8	179.612,4
Público	Mínimo	3,0	33.790,5	4.966,4
	Máximo	60,0	675.809,2	99.327,6
Comercial	Mínimo	8,2	238.452,3	69.446,4
	Máximo	63,8	1.842.585,8	536.631,1
Total (V _{total} /V' _{total})	Mínimo	-	505.947,9	117.156,0
	Máximo	-	10.229.243,8	2.046.225,0

4.3.3 Economia de energia elétrica

De acordo com SNIS (2018c), o índice médio de consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (CE_a) entre 2007 e 2016 foi 0,55 kWh/m³. Nos sistemas de esgotamento sanitário, esse índice (CE_e) foi 0,31 kWh/m³.

A Tabela 20 apresenta as economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário obtidas com a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga em cada setor.

No cenário de mínima economia, o setor comercial é o responsável pela maior parcela de economia de energia elétrica (47,1% nos sistemas de abastecimento de água e 59,3% nos de esgotamento sanitário). Para a economia máxima, a tipologia residencial unifamiliar responde por mais da metade da economia de energia elétrica total (65,8% para água e 60,1% para esgoto).

O setor público foi o que apresentou a menor economia tanto no cenário mínimo quanto no máximo.

Tabela 20 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE_a) e de esgotamento sanitário (EE_e) decorrentes da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga

Setor		EE_a (kWh/ano)	EE_e (kWh/ano)
Residencial unifamiliar	Mínimo	82.240,8	8.368,4
	Máximo	3.700.834,5	376.580,0
Residencial multifamiliar	Mínimo	46.297,1	4.711,0
	Máximo	540.132,4	54.961,4
Público	Mínimo	18.584,8	1.519,7
	Máximo	371.695,0	30.394,2
Comercial	Mínimo	131.148,8	21.250,6
	Máximo	1.013.422,2	164.209,2
Total ($EE_{a,total}/EE_{e,total}$)	Mínimo	278.271,3	35.849,7
	Máximo	5.626.084,1	626.144,8

4.3.4 Análise financeira

Para calcular o benefício financeiro para a concessionária local decorrente de cada estratégia, foi necessário determinar o índice médio de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto (tarifa de energia elétrica, em R\$/kWh), custo médio para implantação das redes de água e esgoto (R\$/m) e o crescimento médio anual da extensão das redes de água e esgoto em operação (m). Para determinar o prejuízo financeiro, utilizaram-se os dados da tarifa média de água e de esgoto cobradas pela concessionária (R\$/m³) e o número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de água e de esgoto em Joinville.

As tarifas médias de água e esgoto cobradas pela concessionária e a tarifa média de energia elétrica paga pela concessionária foram determinadas a partir de dados do SNIS (2018c). O crescimento médio anual da extensão das redes de

água e esgoto, o custo médio para implantação das redes e o número de unidades consumidoras que pagam as tarifas mínimas foram definidos com base em informações fornecidas pela Companhia Águas de Joinville. A Tabela 21 apresenta os valores desses dados usados nas análises financeiras feitas para todas as estratégias de redução do consumo de água.

Tabela 21 - Dados usados na análise financeira

Índice médio de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto (R\$/kWh)	0,28
Custo médio para implantação das redes de água (R\$/m)	668,53
Custo médio para implantação das redes de esgoto (R\$/m)	1.006,07
Crescimento médio anual da extensão das redes de água em operação (m)	16.281,8
Crescimento médio anual da extensão das redes de esgoto em operação (m)	15.142,8
Tarifa média de água cobrada pela concessionária (R\$/m ³)	3,28
Tarifa média de esgoto cobrada pela concessionária (R\$/m ³)	2,83
Número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de água em Joinville (unidades/ano)	1.233.341
Número de unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima de esgoto em Joinville (unidades/ano)	368.152

A Tabela 22 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o benefício e o prejuízo financeiro e o impacto financeiro total decorrente da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga para os cenários de mínima e máxima economia de água potável. Foi calculada a economia financeira decorrente da redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e da diminuição das taxas de expansão das redes de água e esgoto. O benefício financeiro total é a soma desses dois valores. O impacto

financeiro total foi determinado pela diferença entre o benefício total e o prejuízo.

Tabela 22 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga

Parâmetro		Mínimo	Máximo
Benefício financeiro (R\$/ano)	Energia	88.346,55	1.758.439,39
	Expansão	515.650,59	9.526.821,20
	Total	603.997,14	11.285.260,60
Prejuízo financeiro (R\$/ano)	Total	-48.881.234,06	-11.529.558,05
Impacto financeiro (R\$/ano)	Total	49.485.231,20	22.814.818,65

A concessionária local não seria prejudicada financeiramente tanto no cenário de mínima redução do consumo de água quanto no de máxima. Contudo, no cenário máximo, no qual a economia de água e consequentemente de energia elétrica é maior, o lucro seria menor.

O sinal negativo para o prejuízo financeiro mostra que a concessionária não teria qualquer tipo de prejuízo em nenhum dos cenários. Isso ocorreria porque o montante adquirido com as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima compensaria a perda da arrecadação que se teria com a redução do consumo de água e da geração de esgoto ao longo de um ano.

O valor relacionado ao pagamento das tarifas mínimas é o mesmo nos dois cenários de economia de água. Contudo, a queda da arrecadação referente a diminuição dos volumes de água e esgoto faturados é maior no cenário de máxima economia, pois neste cenário a redução dos volumes é maior. Desta forma, o valor absoluto do prejuízo financeiro é maior no cenário de mínima economia, e isso justifica o fato do impacto financeiro ser melhor neste cenário.

4.4 REÚSO DE ÁGUA CINZA

4.4.1 Potencial de economia de água potável

A segunda estratégia considerada para diminuir o consumo de água potável foi o reúso de água cinza para fins não potáveis. As Figuras 7 a 10 mostram os potenciais de economia de água potável em cada setor obtidos com essa estratégia, para cada cenário de usos finais da água.

O potencial de economia de água decorrente dessa estratégia foi determinado por meio do balanço entre o volume de água cinza disponível para reúso e a demanda não potável. Por exemplo, no cenário 1 do setor residencial unifamiliar, a demanda não potável representa 10% dos usos finais e as fontes de água cinza 15%. Como a demanda é menor, o potencial de economia é igual a demanda, ou seja, 10%. Nos cenários 7 e 13 desta tipologia a demanda equivale a 20% e as fontes de água cinza a 15%. Quando a água cinza disponível para reúso é menor que a demanda, a economia de água potável é igual às fontes de água cinza, nesse caso igual a 15%.

A média do potencial de economia de água potável nos setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial foi, respectivamente, 26,2%, 29,0%, 17,4% e 15,7%. Em edificações públicas e comerciais, a demanda não potável em geral é maior que as fontes de água cinza (FASOLA et al., 2011; KAMMERS; GHISI, 2006; PROENÇA; GHISI, 2010), por isso o potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza nessas tipologias normalmente é menor.

Nas tipologias residencial e comercial, esses resultados estão de acordo com outros estudos semelhantes feitos no Brasil. Marinovski, Rupp e Ghisi (2018) analisaram edificações residenciais e verificaram que o reúso de água cinza proporcionaria economia de 21,0% no consumo de água potável. Proença e Ghisi (2013) concluíram que em edifícios comerciais de escritórios o potencial de economia de água variaria entre 6,8% e 38,4%. Contudo, Fasola et al. (2011) verificaram que a economia de água obtida com reúso de água cinza em duas escolas públicas seria de 4,2% e 5,1%, valores abaixo da média obtida neste trabalho para o setor público. Ressalta-se que as edificações públicas podem ter ocupações muito diferentes (edifícios

administrativos, escolas, unidades básicas de saúde, etc.), as quais possuem usos finais da água bastante distintos. Por isso o setor público foi o que resultou em maior número de cenários de usos finais da água analisados neste estudo, de forma a considerar diversas ocupações com perfis de consumo de água diferentes. Isso justifica a disparidade entre o potencial médio de economia obtido neste trabalho, calculado para considerar diferentes tipos de edifícios públicos, e o encontrado por Fasola et al. (2011), que analisou apenas a ocupação escolar.

Figura 7 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial unifamiliar

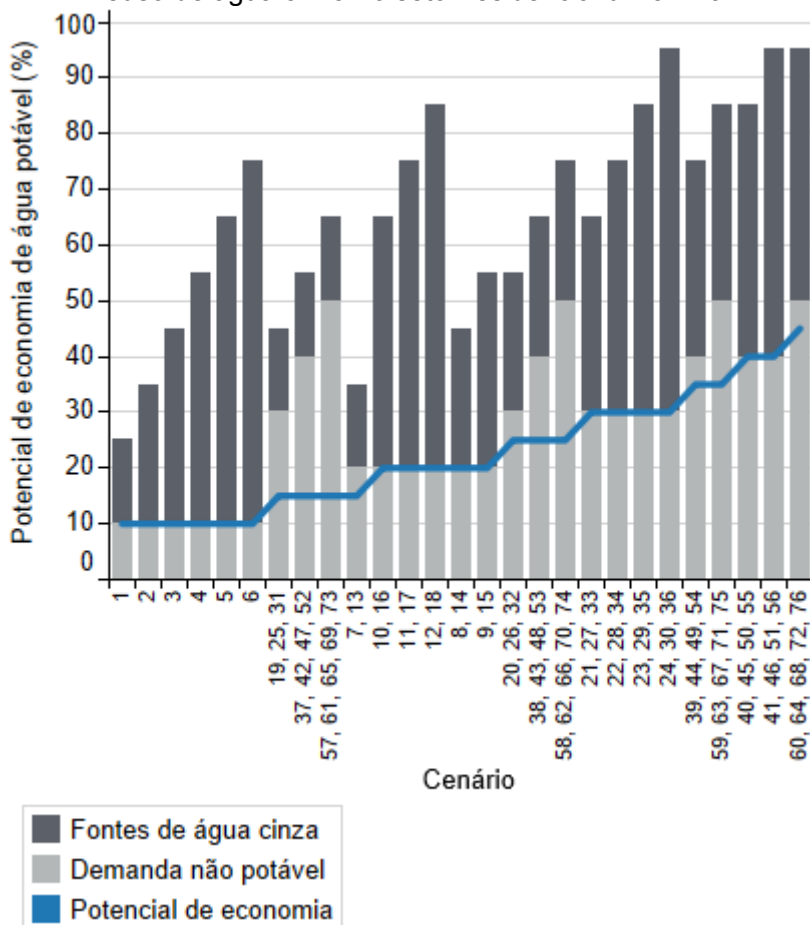


Figura 8 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial multifamiliar

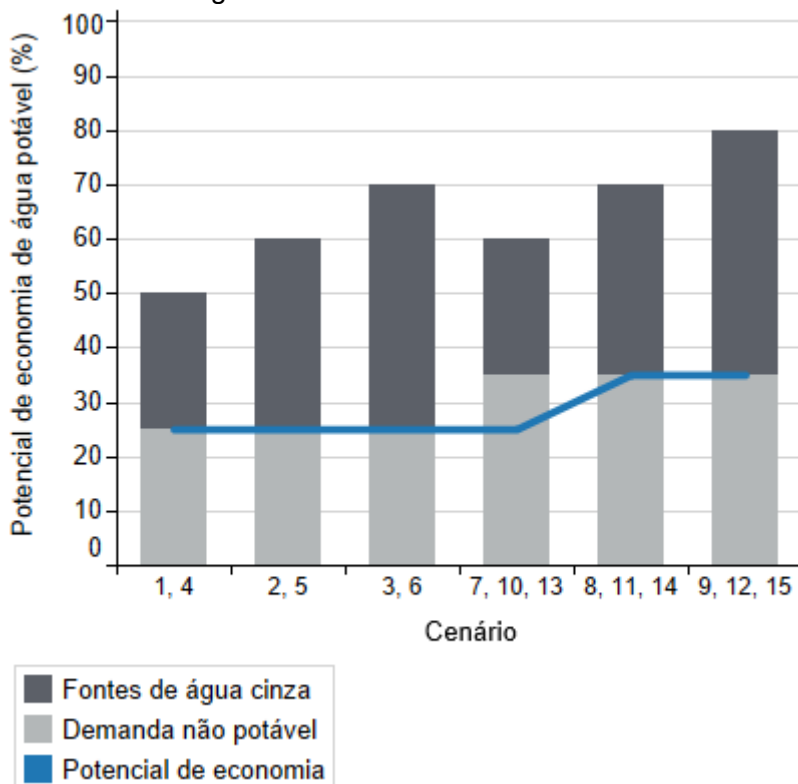


Figura 9 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor público

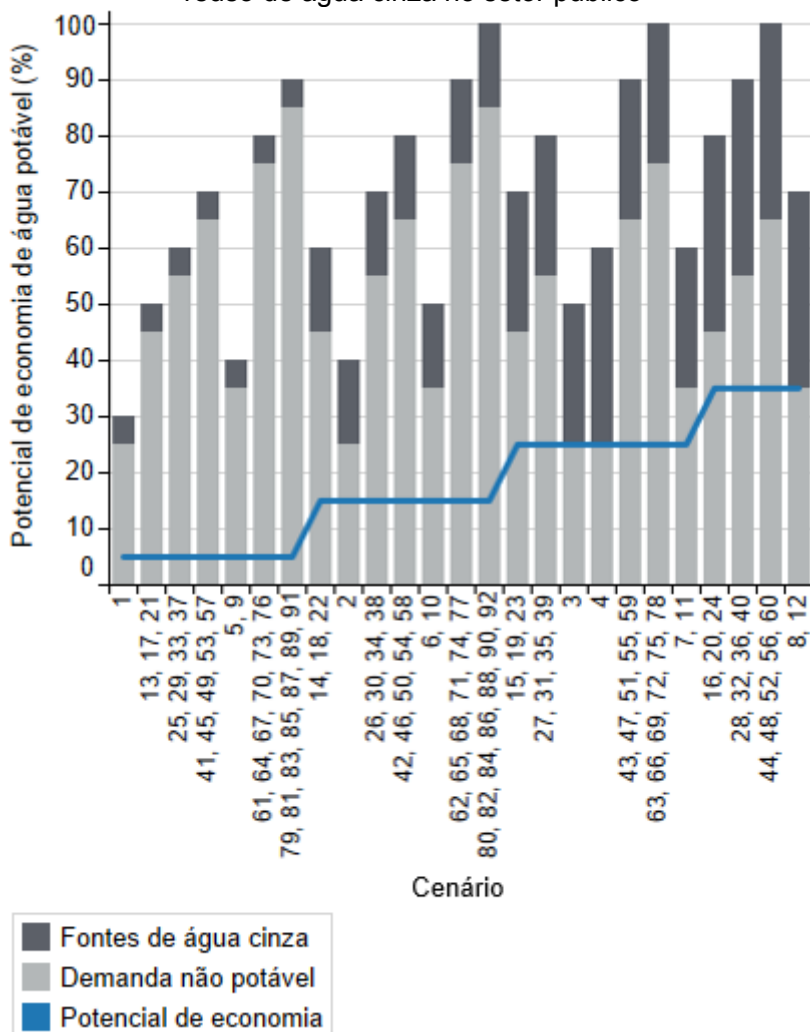
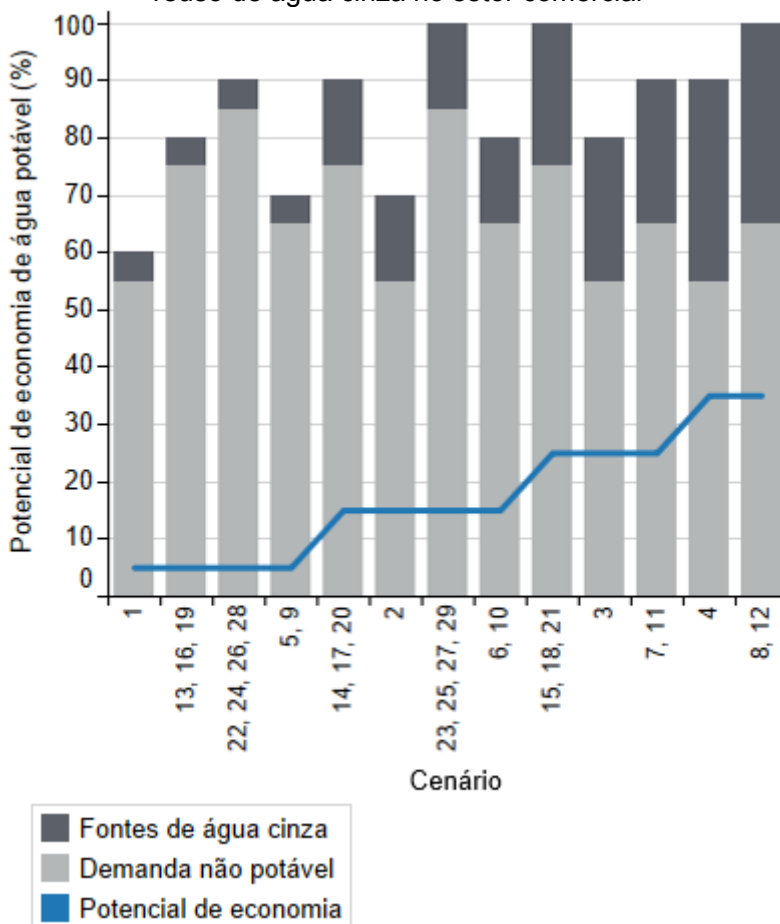


Figura 10 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor comercial



No setor residencial multifamiliar, em apenas três dos quinze cenários (20,0%) o reúso de água cinza não foi suficiente para suprir toda a demanda não potável. Para a tipologia residencial unifamiliar, esse percentual subiu para 52,6%. Nos setores público e comercial, essa estratégia não supriu o consumo não potável em, respectivamente, 95,7% e 100,0% dos casos avaliados. O potencial de economia decorrente dessa estratégia depende diretamente dos usos finais da água, tanto das fontes de água cinza quanto da demanda não potável. Como em edificações

públicas e comerciais o consumo para fins não potáveis geralmente é maior do que o volume disponível para reúso, dificulta-se o atendimento de toda a demanda não potável com apenas essa estratégia.

4.4.2 Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto

Identificaram-se os cenários de cada tipologia de edificação com os potenciais mínimo e máximo de economia de água potável (PE). No caso do reúso de água cinza, o potencial de redução da geração de esgoto (PE') é igual ao de economia de água. A partir dessas informações calcularam-se as reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') para cada setor decorrentes do reúso de água cinza, as quais são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes do reúso de água cinza

Setor		PE/PE' (%)	V (m³/ano)	V' (m³/ano)
Residencial unifamiliar	Mínimo	10,0	1.993.715,6	364.638,1
	Máximo	45,0	8.971.720,1	1.640.871,5
Residencial multifamiliar	Mínimo	25,0	935.294,1	171.059,5
	Máximo	35,0	1.309.411,8	239.483,2
Público	Mínimo	5,0	56.317,4	8.277,3
	Máximo	35,0	394.222,0	57.941,1
Comercial	Mínimo	5,0	144.516,5	42.088,7
	Máximo	35,0	1.011.615,7	294.621,1
Total (V _{total} /V' _{total})	Mínimo	-	3.129.843,7	586.063,6
	Máximo	-	11.686.969,6	2.232.917,0

A partir dos valores totais apresentados na Tabela 23 é possível afirmar que a instalação de sistemas para reúso de água cinza em todas as edificações residenciais, públicas e comerciais de Joinville proporcionaria economia de 10,7% a 40,1% no

consumo total de água potável e redução de 10,7% a 40,8% na geração de esgoto.

4.4.3 Economia de energia elétrica

As economias de energia elétrica decorrentes do reúso de água cinza são apresentadas na Tabela 24. Os valores foram determinados para cada setor e para os cenários de mínima e máxima economia de água potável.

Tabela 24 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE_a) e de esgotamento sanitário (EE_e) decorrentes do reúso de água cinza

Setor		EE_a (kWh/ano)	EE_e (kWh/ano)
Residencial unifamiliar	Mínimo	1.096.543,6	111.579,3
	Máximo	4.934.446,0	502.106,7
Residencial multifamiliar	Mínimo	514.411,8	52.344,2
	Máximo	720.176,5	73.281,9
Público	Mínimo	30.974,6	2.532,9
	Máximo	216.822,1	17.730,0
Comercial	Mínimo	79.484,1	12.879,2
	Máximo	556.388,7	90.154,1
Total ($EE_{a,total}/EE_{e,total}$)	Mínimo	1.721.414,0	179.335,5
	Máximo	6.427.833,3	683.272,6

O setor residencial unifamiliar correspondeu a maior parcela da economia de energia elétrica tanto no cenário de mínima economia (63,7% nos sistemas de abastecimento de água e 62,2% nos de esgotamento sanitário) quanto no de máxima (76,8% no abastecimento de água e 73,5% no esgotamento sanitário). A tipologia pública contribuiu pouco para a economia de energia elétrica nos dois cenários.

4.4.4 Análise financeira

A Tabela 25 apresenta o benefício e o prejuízo financeiro e o impacto financeiro total decorrente do reúso de água cinza, para os cenários de mínima e máxima redução do consumo de água potável.

Tabela 25 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente do reúso de água cinza

Parâmetro		Mínimo	Máximo
Benefício financeiro (R\$/ano)	Energia	534.585,79	1.999.998,52
	Expansão	2.803.390,28	10.592.081,53
	Total	3.337.976,07	12.592.080,05
Prejuízo financeiro (R\$/ano)	Total	-38.947.847,38	-6.219.879,28
Impacto financeiro (R\$/ano)	Total	42.285.823,46	18.811.959,33

Assim como para a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, nos dois cenários a concessionária não seria prejudicada financeiramente, sendo que o impacto financeiro seria melhor no caso de mínima economia. O prejuízo também foi negativo para os dois casos, ou seja, o ganho com as unidades que pagam a tarifa mínima compensaria a queda na arrecadação decorrente da diminuição do consumo de água e da geração de esgoto.

4.5 APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

4.5.1 Dados de precipitação diária

Os dados de precipitação diária utilizados para simulação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial no programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014a) foram obtidos junto ao Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira para um período de 21 anos (1996 a 2016). Nesse período, a precipitação média anual foi de 2.410 mm. A Figura 11

mostra a precipitação diária ao longo do período considerado, e a Figura 12 apresenta a precipitação mínima, máxima (representadas pelos pontos extremos dos *boxplots*) e média (representada pela linha) mensal.

Figura 11 - Precipitação diária em Joinville de 1996 a 2016

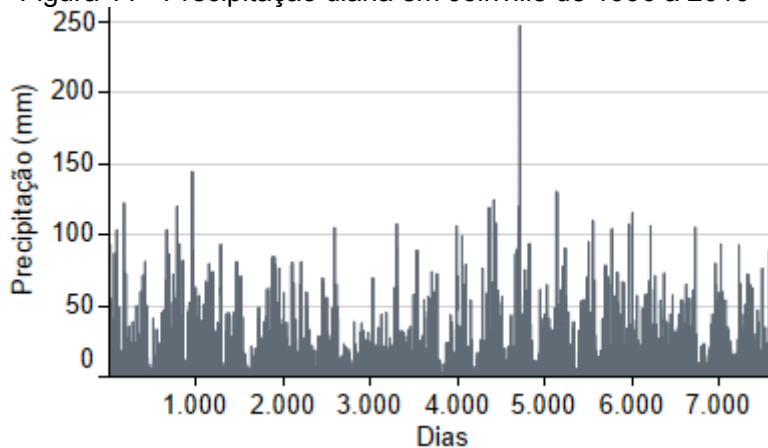
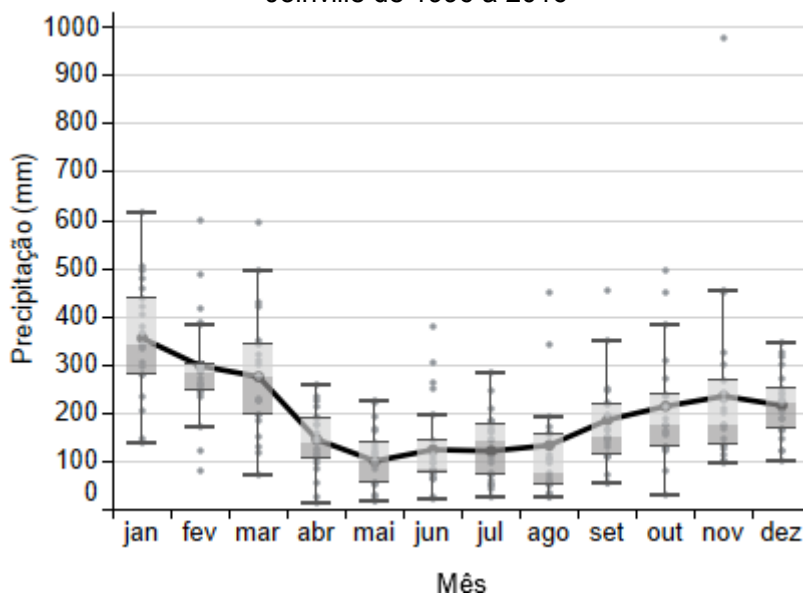


Figura 12 - Precipitação mínima, máxima e média mensal em Joinville de 1996 a 2016



4.5.2 Demanda total de água potável

As demandas totais de água potável (l/dia) para cada tipologia de edificação foram determinadas com base nos estudos de Barreto (2008), Fasola et al. (2011), Ghisi e Ferreira (2007), Ghisi e Oliveira (2007), Kammers e Ghisi (2006), Marinowski et al. (2014), Proença e Ghisi (2010), Sant'ana (2012) e Vieira e Ghisi (2016). Formaram-se amostras com as demandas obtidas nesses trabalhos, e a partir dessas amostras definiu-se a demanda mínima, a máxima e a de ocorrência mais provável para cada setor. A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos e utilizados nas simulações.

Tabela 26 - Demandas totais de água potável para cada setor

Setor	Demanda total de água potável na edificação (l/dia)		
	Mínima	De ocorrência mais provável	Máxima
Residencial unifamiliar	217	278	659
Residencial multifamiliar	5.271	35.962	110.500
Público	2.982	4.673	15.164
Comercial	2.652	6.624	7.948

4.5.3 Área de captação

As áreas de captação (m²) de cada setor foram definidas com base na relação das edificações cadastradas junto à Secretaria da Fazenda da Prefeitura de Joinville e no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo). Da mesma forma como na demanda total de água potável, para cada tipologia de edificação foram definidas três áreas de cobertura para cada setor: mínima, máxima e de ocorrência mais provável.

No setor residencial unifamiliar, mesmo após a exclusão dos espúrios, a área mínima identificada a partir dos dados da Secretaria da Fazenda e do SIMGeo foi muito baixa (10,5 m²). Por

isso, para essa tipologia foi adotada a área mínima estabelecida pelo Programa Minha Casa, Minha Vida para residências unifamiliares (36,0 m²) (BRASIL, 2017).

A Tabela 27 apresenta as áreas mínima, máxima e de ocorrência mais provável definidas para cada setor.

Tabela 27 - Áreas de cobertura para cada setor

Setor	Área de cobertura (m ²)		
	Mínima	De ocorrência mais provável	Máxima
Residencial unifamiliar	36,0	64,4	200,4
Residencial multifamiliar	97,8	273,8	657,8
Público	127,3	544,7	4.115,3
Comercial	30,7	231,6	964,2

4.5.4 Potencial de economia de água potável

As Figuras 13 a 16 apresentam a demanda de água pluvial (percentual da demanda total de água potável a ser substituído por água pluvial) e o potencial de economia de água potável para cada simulação.

Para cada cenário de usos finais da água de cada tipologia de edificação, foram feitas nove simulações de sistemas de aproveitamento de água pluvial (três demandas totais de água potável e três áreas de captação). No setor residencial unifamiliar, por exemplo, para os cenários 57 a 76 e demanda total de água potável de 659 l/dia, o potencial de economia para área de cobertura de 36,0 m² é 26,3%, enquanto estes cenários simulados com a mesma demanda e com área de cobertura de 64,4 m² tem potencial de economia igual a 38,4%.

Figura 13 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial unifamiliar

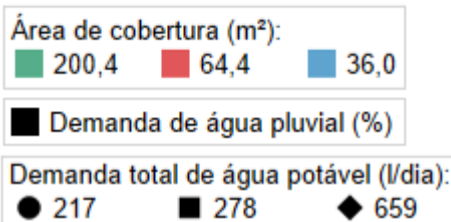
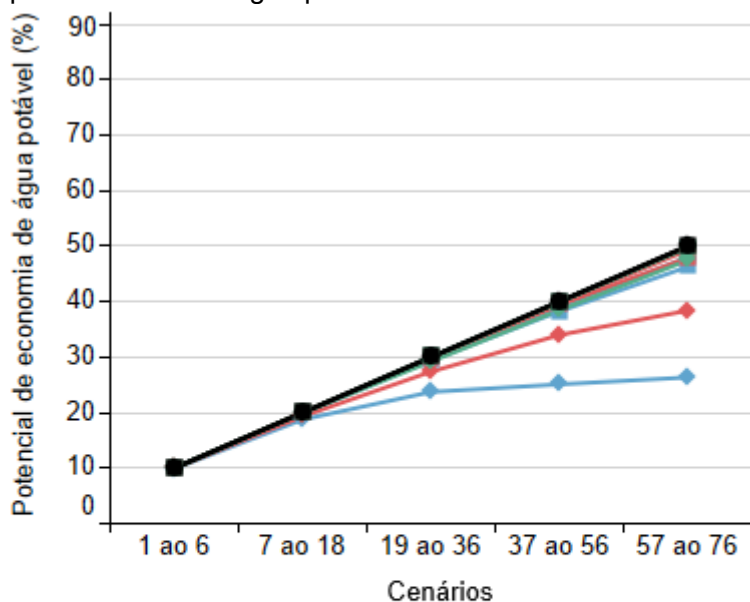


Figura 14 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial multifamiliar

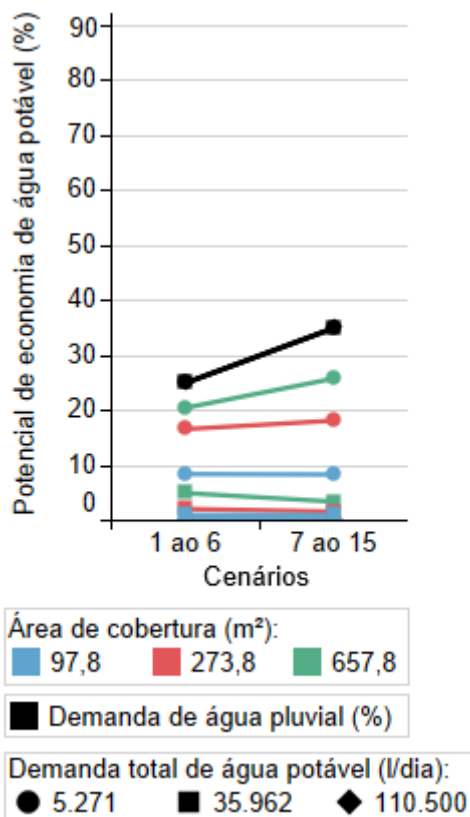


Figura 15 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor público

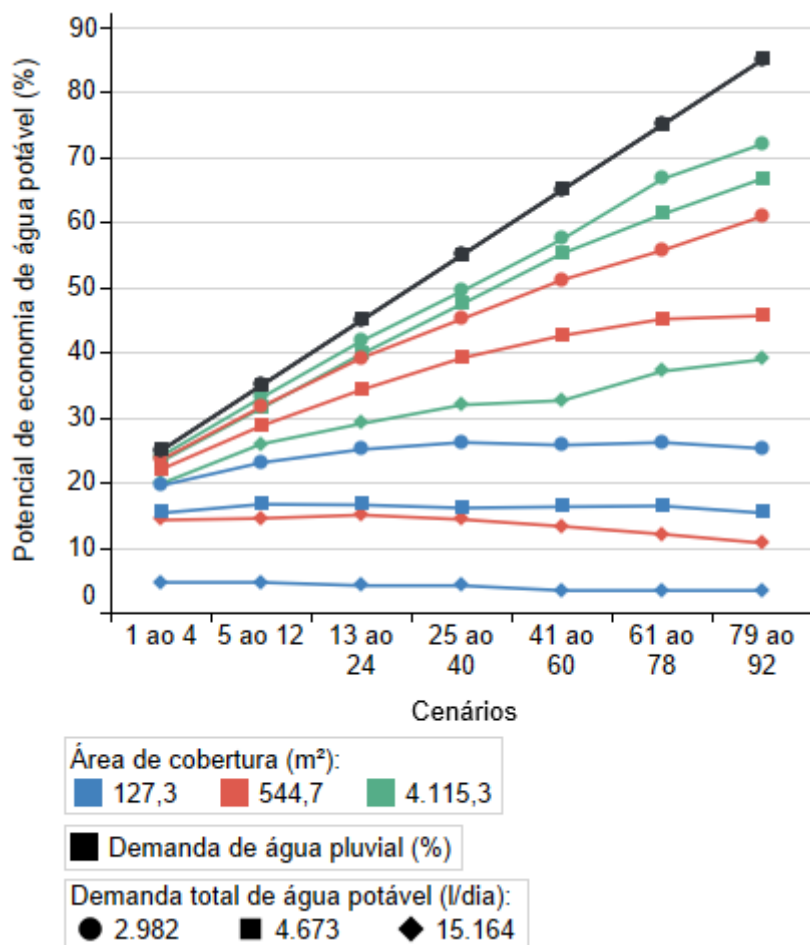
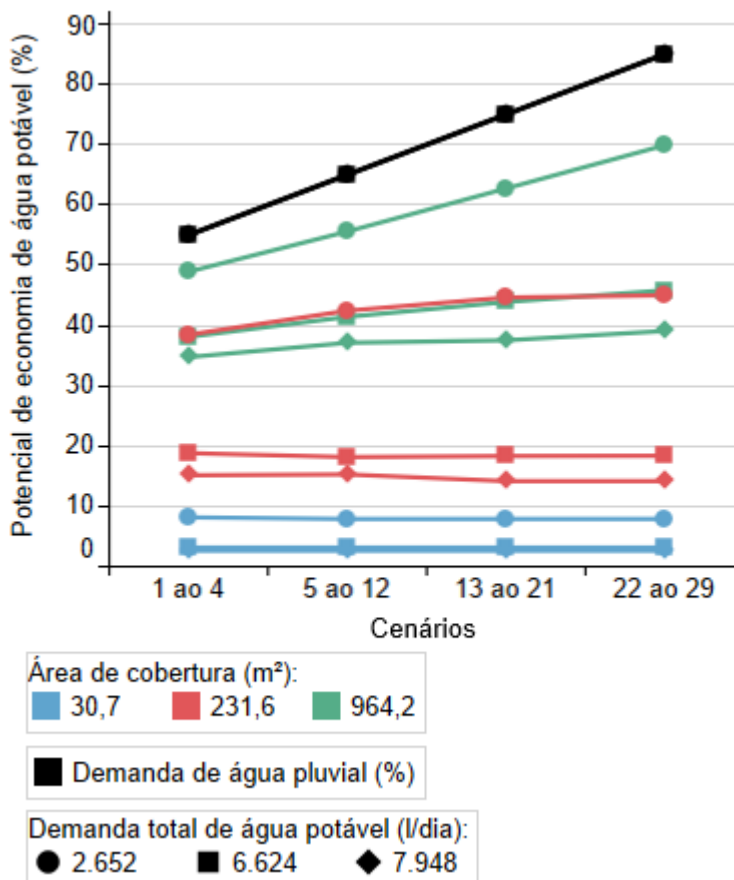


Figura 16 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor comercial



Identificou-se que em alguns casos, para uma mesma área de cobertura e demanda total de água potável, cenários com demanda de água pluvial diferentes apresentaram potenciais de economia iguais ou muito semelhantes. Isso ocorreu devido a diferença entre potenciais de economia de água pluvial adotada nas simulações, que influencia a escolha do volume do reservatório ideal para o sistema e, conseqüentemente, o potencial de economia de água potável. Optou-se por adotar o volume ideal indicado pelo programa para que fosse usado o mesmo critério de escolha do reservatório e respectivo potencial

de economia em todas as simulações. O programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014a) indica como volume ideal o primeiro que resultar em uma diferença entre potenciais de economia menor ou igual à definida pelo usuário. Mesmo que um cenário tenha demanda de água pluvial maior, nem sempre é viável usar um reservatório maior quando o acréscimo no potencial de economia é pequeno. Por isso, alguns cenários com demandas de água pluvial diferentes apresentaram o mesmo potencial de economia. Verificou-se que quanto menor a área de cobertura e maior a demanda total de água potável, maior a tendência do potencial de economia ser semelhante, independente da demanda de água pluvial considerada.

A média do potencial de economia de água potável de todos os cenários simulados para os setores residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, público e comercial foi, respectivamente, 28,1%, 6,3%, 29,5% e 25,4%. Teston et al. (2018a) afirmam que no Brasil o potencial de economia decorrente da instalação de sistemas para aproveitamento da água pluvial é, em geral, maior nas tipologias pública e comercial do que na residencial. Contudo, neste trabalho esses setores tiveram potencial de economia médio semelhante ao do residencial unifamiliar. Nas edificações residenciais multifamiliares, o potencial de economia foi baixo porque a área de cobertura nessa tipologia normalmente não é suficiente para captar o volume de chuva necessário para suprir a demanda de água pluvial.

As médias dos potenciais de economia obtidas neste trabalho diferiram dos resultados apresentados por outros estudos que analisaram o aproveitamento de água pluvial. Marinowski, Rupp e Ghisi (2018) investigaram residências unifamiliares e concluíram que o potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial seria de 30,7%. Ghisi e Ferreira (2007) avaliaram edifícios residenciais multifamiliares e obtiveram potenciais de economia entre 14,7% e 17,7%. Fasola et al. (2011) analisaram duas escolas públicas nas quais o aproveitamento de água pluvial proporcionaria 22,9% e 42,5% de economia no consumo de água potável. Proença e Ghisi (2013) verificaram que o potencial de economia em edifícios comerciais de escritórios seria entre 6,1% e 21,2%. A diferença entre os valores obtidos neste trabalho e os apresentados em outros estudos se justifica pelo fato do potencial de economia de água potável decorrente do

aproveitamento de água pluvial depender de vários fatores, como regime pluviométrico local, área de cobertura, número de ocupantes da edificação, consumo per capita de água potável e porcentagem da demanda a ser substituída por água pluvial (GHISI; SCHONDERMARK, 2013). Essas características são particulares de cada cidade e edificação, o que faz com que o aproveitamento de água pluvial proporcione economias de água tão distintas mesmo em edifícios da mesma tipologia. Por isso, além dos cenários de usos finais da água, que influenciam a porcentagem da demanda a ser substituída por água pluvial, para esta estratégia também foram feitas simulações considerando diferentes áreas de cobertura e demandas totais de água potável, de forma a avaliar diversos conjuntos de características das edificações.

Apenas no setor residencial unifamiliar e para os casos de demanda total mínima e de ocorrência mais provável que o potencial de economia de água potável foi igual ou muito próximo à demanda de água pluvial, ou seja, toda ou praticamente toda a demanda seria suprida com água pluvial nesses casos. Para a demanda total máxima, isso também ocorre nos cenários com área de cobertura máxima. Isso pode ser explicado em função das baixas demandas totais de água potável e demandas de água pluvial desse setor em comparação aos demais, o que faz com que menos área de cobertura seja necessária para captar volume suficiente para atender toda a demanda de água não potável.

Na tipologia residencial unifamiliar, como a demanda total de água potável é pequena, áreas de cobertura acima de 60 m² já garantem potencial de economia de água potável significativo. Nos setores residencial multifamiliar, público e comercial, a elevada demanda total exige áreas de captação maiores para se ter economia de água considerável. Nas edificações públicas e comerciais, o fato da porcentagem da demanda total a ser substituída por água pluvial ser alta também requer que a área de captação seja grande para a economia de água potável ser expressiva. Contudo, em edifícios dessa tipologia com grandes áreas de captação, o potencial de economia pode ser superior a 60%. Lopes, Rupp e Ghisi (2016) afirmam que quanto maior a demanda de água pluvial, maior o potencial de economia de água potável. Por isso, as edificações públicas e comerciais, por terem

maior demanda de água pluvial, podem atingir potenciais de economia maiores quando há área de captação suficiente.

Verificou-se que para demandas totais de água potável elevadas, pequenos acréscimos na área de cobertura aumentam consideravelmente o potencial de economia de água potável, ou seja, quanto maior a demanda total, a economia de água é mais sensível a mudanças na área de captação. Isso ocorre porque a área de cobertura está diretamente relacionada ao volume de água pluvial disponível para ser utilizado na edificação. Desta forma, quanto maior for a demanda por água pluvial, mais área é necessária para captar volume suficiente para atender a demanda.

4.5.5 Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto

Os cenários de cada tipologia de edificação com os potenciais mínimo e máximo de economia de água potável (PE) foram identificados, e para estes cenários foram calculadas as reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) decorrentes do aproveitamento de água pluvial (Tabela 28). O aproveitamento de água pluvial não contribui para diminuir a geração de esgoto nas edificações, por isso para essa estratégia a redução do volume de esgoto gerado (V') é zero.

Tabela 28 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) decorrentes do aproveitamento de água pluvial

Setor		PE (%)	V (m ³)
Residencial unifamiliar	Mínimo	9,9	1.971.784,7
	Máximo	49,8	9.934.684,7
Residencial multifamiliar	Mínimo	0,2	8.978,8
	Máximo	25,8	965.971,8
Público	Mínimo	3,5	39.309,6
	Máximo	72,1	811.646,8
Comercial	Mínimo	2,6	76.304,7
	Máximo	69,9	2.020.052,1
Total (V _{total})	Mínimo	-	2.096.377,8
	Máximo	-	13.732.355,4

A partir dos resultados apresentados na Tabela 28, constata-se que o aproveitamento de água pluvial em todas as edificações das tipologias residencial, pública e comercial de Joinville proporcionaria economia de 7,3% a 47,2% no consumo total de água potável da cidade.

4.5.6 Economia de energia elétrica

A Tabela 29 apresenta as economias de energia elétrica que poderiam ser obtidas nos sistemas de abastecimento de água com o aproveitamento de água pluvial na cidade de Joinville.

Tabela 29 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE_a) decorrentes do aproveitamento de água pluvial

Setor	EE_a (kWh/ano)	
Residencial unifamiliar	Mínimo	1.084.481,6
	Máximo	5.464.076,6
Residencial multifamiliar	Mínimo	4.938,4
	Máximo	531.284,5
Público	Mínimo	21.620,3
	Máximo	446.405,7
Comercial	Mínimo	41.967,6
	Máximo	1.111.028,7
Total ($EE_{a,total}$)	Mínimo	1.153.007,8
	Máximo	7.552.795,4

No cenário de mínima economia de água potável, a tipologia residencial unifamiliar foi a responsável por quase toda a economia de energia elétrica (94,1%). O setor residencial multifamiliar foi o que menos contribuiu nesse caso (0,4%). Para a economia máxima de água, as edificações residenciais unifamiliares também foram as responsáveis pela maior parcela de economia de energia (72,3%), mas nesse caso o setor público foi o que teve a menor contribuição (5,9%).

4.5.7 Análise financeira

O benefício e o prejuízo financeiro e o impacto financeiro total para a concessionária decorrente do aproveitamento de água pluvial são apresentados na Tabela 30. Essa análise foi feita para os cenários de mínima e máxima redução do consumo de água potável.

Tabela 30 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente do aproveitamento de água pluvial

Parâmetro		Mínimo	Máximo
Benefício financeiro (R\$/ano)	Energia	324.283,44	2.124.223,72
	Expansão	783.723,65	5.133.793,89
	Total	1.108.007,09	7.258.017,61
Prejuízo financeiro (R\$/ano)	Total	-43.996.175,32	-5.830.168,98
Impacto financeiro (R\$/ano)	Total	45.104.182,41	13.088.186,60

A concessionária não seria prejudicada financeiramente nos dois casos analisados, sendo o lucro maior no cenário de mínima economia de água e energia elétrica. O prejuízo foi negativo nas duas situações porque a arrecadação com as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima seria maior do que o prejuízo decorrente da redução do consumo de água e da geração de esgoto.

4.6 COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

4.6.1 Potencial de economia de água potável

Foi analisado um caso em que todas as três estratégias para redução do consumo de água potável seriam adotadas simultaneamente nas edificações. Foi priorizada a troca dos acabamentos das válvulas de descarga, seguida do reúso de água cinza e por fim o aproveitamento de água pluvial.

No caso da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, foram consideradas reduções de 15%, 50% e 75% no consumo de água potável das bacias sanitárias. Os potenciais de economia de água potável decorrentes dessa estratégia são os mesmos apresentados nas Tabelas 15 a 18.

Depois, considerou-se o reúso de água cinza como alternativa para suprir a demanda não potável remanescente após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga. Os potenciais de economia de água potável decorrentes dessa estratégia são apresentados no Apêndice B. Como foram avaliadas três reduções do consumo de água nas bacias sanitárias, também foi verificado o potencial de economia obtido com o reúso de água cinza para essas três situações. Desta forma, para cada cenário de usos finais da água, foram feitas três análises de reúso de água cinza, nas quais mudava-se apenas o percentual referente à demanda de água não potável.

Nos setores residencial unifamiliar e multifamiliar, o volume de água cinza disponível para reúso geralmente é maior que a demanda não potável, por isso nessas tipologias é mais fácil atender toda a demanda não potável remanescente. Quanto maior a redução do consumo nas bacias sanitárias, maior é a quantidade de cenários em que a demanda não potável restante é totalmente suprida com água cinza. No setor residencial multifamiliar, para redução de 75% do consumo nas bacias sanitárias, em todos os cenários a água cinza atende toda a demanda não potável remanescente, enquanto na tipologia comercial, para redução de 15% nas bacias sanitárias, nenhum cenário é totalmente atendido, havendo demanda para o aproveitamento de água pluvial em todos eles.

Nos cenários em que a água cinza disponível não era suficiente para atender toda a demanda não potável, a água pluvial também foi considerada como fonte alternativa a ser usada para esses fins. O potencial de economia dessa estratégia foi obtido por meio de simulações no programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014a). Consideraram-se os mesmos parâmetros adotados nas simulações em que o aproveitamento de água pluvial foi analisado como estratégia isolada. Além disso, para cada cenário de usos finais da água foram consideradas três demandas de água pluvial (porcentagem da demanda total a ser substituída por água pluvial), porque esse valor varia conforme a

redução do consumo de água nas bacias sanitárias. Portanto, para cada cenário de usos finais da água, foram feitas vinte e sete simulações (três demandas totais de água potável, três demandas de água pluvial e três áreas de cobertura). Os potenciais de economia de água potável referentes ao aproveitamento de água pluvial também são apresentados no Apêndice B. Nos cenários que não são apresentados nas figuras do Apêndice B, o reúso de água cinza foi suficiente para suprir toda a demanda de água não potável restante após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga.

Em comparação com as alternativas isoladas, a adoção simultânea das estratégias resultou em potenciais de economia maiores, que variaram de 10,0% a 50,0% no setor residencial unifamiliar, de 25,0% a 35,0% no residencial multifamiliar, de 11,5% a 84,9% no público e de 15,9% a 85,0% no comercial. A mesma tendência pode ser observada em outros estudos, que também concluíram que a combinação de estratégias resultava em economias maiores de água potável. Proença e Ghisi (2013) verificaram que a economia de água potável seria de 36,9% a 78,9% em edifícios comerciais caso fossem instalados equipamentos economizadores de água e sistemas de reúso de água cinza e de aproveitamento de água pluvial. Marinovski, Rupp e Ghisi (2018) avaliaram residências unifamiliares e constataram que a combinação destas três estratégias proporcionaria economia de 42,9% no consumo de água potável. Contudo, nem sempre a hipótese que proporciona a maior economia de água potável é viável economicamente ou a melhor do ponto de vista ambiental. Por isso, sugere-se a avaliação de outros indicadores além do potencial de economia de água, como indicadores de viabilidade financeira, consumo de energia e energia embutida das estratégias (GHISI; RUPP; TRISKA, 2014).

4.6.2 Reduções mínima e máxima do consumo de água potável e geração de esgoto

A soma dos potenciais de economia de água obtidos com cada estratégia resultou no potencial de economia total de cada cenário. Identificaram-se os cenários de cada setor que correspondiam aos potenciais mínimo e máximo de economia de água potável (PE), verificando o respectivo potencial de redução

da geração de esgoto (PE''). No caso das tipologias residencial unifamiliar e multifamiliar, vários cenários resultaram nos mesmos potenciais de economia de água. Por isso, optou-se por analisar o caso que proporcionava simultaneamente o potencial mínimo ou máximo de economia de água e redução da geração de esgoto.

Foram calculadas as reduções mínima e máxima de consumo de água potável (V) e geração de esgoto (V') possíveis em uma situação em que as três estratégias fossem adotadas simultaneamente. Esses resultados são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável (V) e da geração de esgoto (V') decorrentes da adoção simultânea das três estratégias

Setor		PE (%)	V (m ³)	PE'' (%)	V' (m ³)
Residencial unifamiliar	Mínimo	10,0	1.993.715,6	10,0	364.638,1
	Máximo	50,0	9.968.577,9	50,0	1.823.190,6
Residencial multifamiliar	Mínimo	25,0	935.294,1	25,0	171.059,5
	Máximo	35,0	1.309.411,8	35,0	239.483,2
Público	Mínimo	11,5	129.417,5	8,0	13.243,7
	Máximo	84,9	955.819,4	75,0	124.159,5
Comercial	Mínimo	15,9	459.273,5	13,2	111.535,1
	Máximo	85,0	2.456.203,0	78,8	662.897,5
Total (V _{total} /V' _{total})	Mínimo	-	3.517.700,7	-	660.476,4
	Máximo	-	14.690.012,0	-	2.849.730,8

Analisando os valores totais da Tabela 31 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, verifica-se que adoção simultânea das três estratégias em todas as tipologias de edificação proporcionaria economia de 12,1% a 50,5% no consumo total de água potável e redução de 12,1% a 52,1% na geração de esgoto em Joinville.

4.6.3 Economia de energia elétrica

A Tabela 32 apresenta a economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em cada setor decorrentes da adoção simultânea das três estratégias para redução do consumo de água.

Tabela 32 - Economias mínima e máxima de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (EE_a) e de esgotamento sanitário (EE_e) decorrentes da adoção simultânea das três estratégias

Setor		EE_a (kWh/ano)	EE_e (kWh/ano)
Residencial unifamiliar	Mínimo	1.096.543,6	111.579,3
	Máximo	5.482.717,8	557.896,3
Residencial multifamiliar	Mínimo	514.411,8	52.344,2
	Máximo	720.176,5	73.281,9
Público	Mínimo	71.179,6	4.052,6
	Máximo	525.700,7	37.992,8
Comercial	Mínimo	252.600,4	34.129,8
	Máximo	1.350.911,7	202.846,6
Total ($EE_{a,total}/EE_{e,total}$)	Mínimo	1.934.735,4	202.105,8
	Máximo	8.079.506,6	872.017,6

O setor residencial unifamiliar correspondeu a mais da metade da economia de energia elétrica nos cenários de mínima (56,7% para água e 55,2% para esgoto) e de máxima economia de água (67,9% para água e 64,0% para esgoto), enquanto a tipologia pública foi a que menos contribuiu para a economia total de energia.

4.6.4 Análise financeira

A Tabela 33 apresenta o benefício e o prejuízo financeiro e o impacto financeiro total para a concessionária decorrente da adoção simultânea das três estratégias, para os cenários de mínima e máxima economia de água potável.

Tabela 33 - Impacto financeiro para a concessionária nos cenários de mínima e máxima redução do consumo de água decorrente da adoção simultânea das três estratégias

Parâmetro		Mínimo	Máximo
Benefício financeiro (R\$/ano)	Energia	600.986,57	2.517.616,20
	Expansão	3.155.771,36	13.433.765,93
	Total	3.756.757,93	15.951.382,13
Prejuízo financeiro (R\$/ano)	Total	-37.465.088,12	5.375.683,20
Impacto financeiro (R\$/ano)	Total	41.221.846,06	10.575.698,93

O caso de máxima economia de água para a adoção das três estratégias foi o único analisado em que as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima não compensariam a queda na arrecadação da concessionária. Contudo, o impacto financeiro final para a concessionária ainda seria positivo considerando os benefícios da economia de energia elétrica e a redução das taxas de ampliação das redes de água e esgoto. No cenário de mínima economia, assim como em todos os cenários das demais estratégias, a arrecadação da tarifa mínima seria maior do que o prejuízo causado pelo menor consumo de água e geração de esgoto, o que faria com que a concessionária não tivesse prejuízo. O impacto financeiro total seria melhor no cenário de mínima economia de água do que no de máxima.

4.7 COMPARAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

4.7.1 Redução do consumo de água potável e geração de esgoto

As Figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, as reduções totais mínima e máxima do consumo de água potável e da geração de esgoto decorrentes de cada estratégia. A Tabela 34 mostra os potenciais totais de economia de água potável (PE_{total}) e de redução da geração de esgoto (PE'_{total}). Esses potenciais foram determinados em relação à média do consumo total de água e à média do volume de esgoto coletado e tratado

em Joinville entre 2007 e 2016, calculados conforme descrito na seção 3.2.5. No caso do aproveitamento de água pluvial não há redução da geração de esgoto porque essa estratégia não contribui para diminuir a produção de efluentes nas edificações.

Figura 17 - Reduções mínima e máxima do consumo de água potável decorrentes de cada estratégia

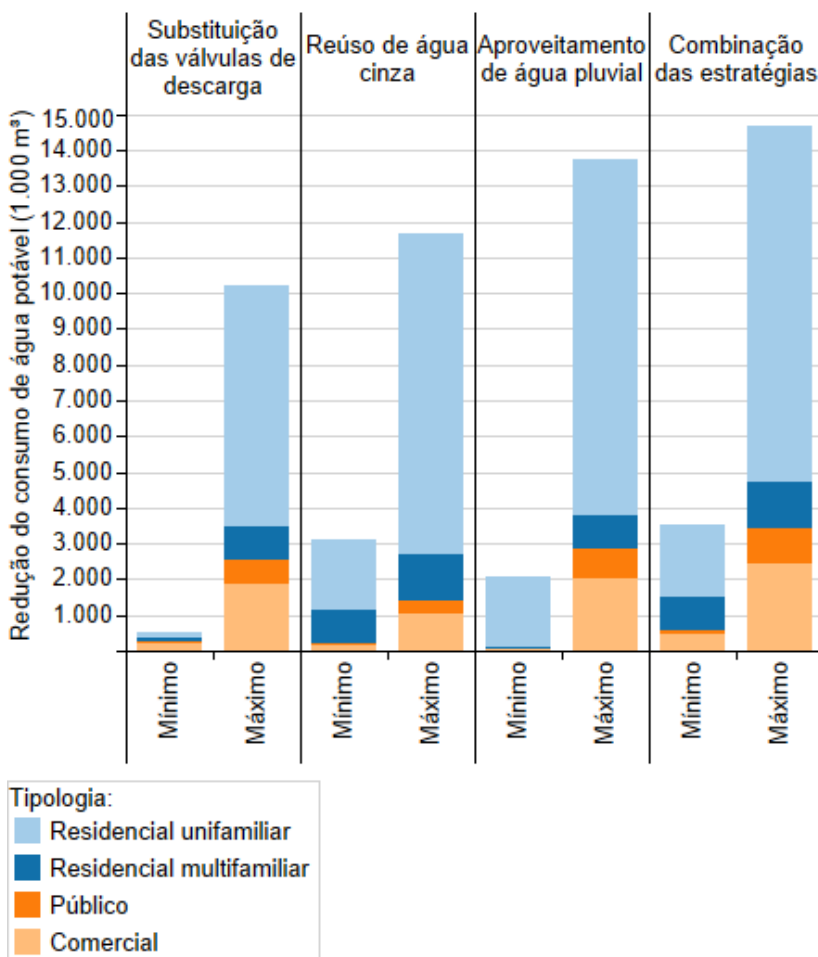


Figura 18 - Reduções mínima e máxima da geração de esgoto decorrentes de cada estratégia

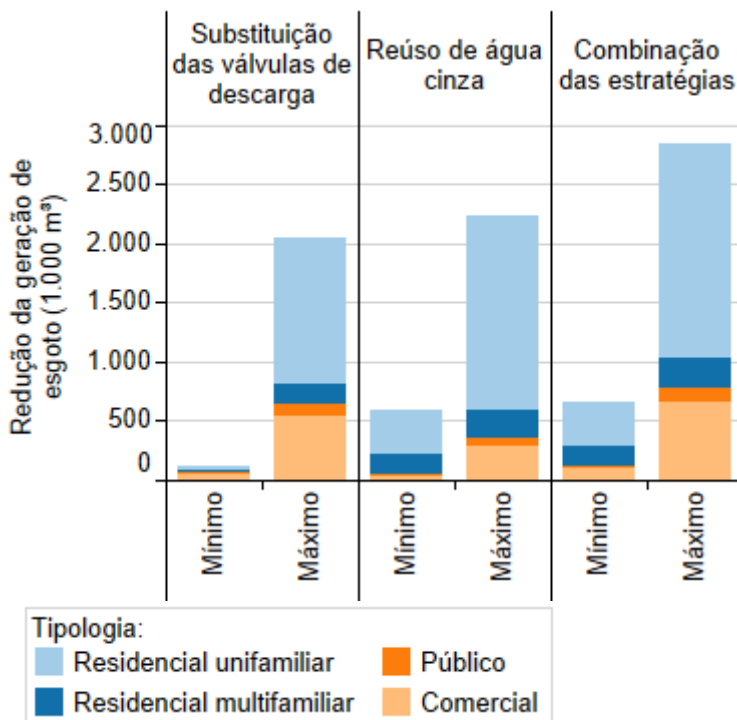


Tabela 34 - Potenciais totais de economia de água potável (PE_{total}) e de redução da geração de esgoto (PE'_{total})

Estratégia	PE_{total} (%)		PE'_{total} (%)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Substituição das válvulas de descarga	1,7	35,1	2,1	37,4
Reúso de água cinza	10,7	40,1	10,7	40,8
Aproveitamento de água pluvial	7,2	47,2	0,0	0,0
Combinação das estratégias	12,1	50,5	12,1	52,1

Verificou-se que os cenários que correspondem aos potenciais mínimos de economia tinham os volumes de demanda de água não potável e fontes de água cinza mínimos considerados para cada setor, e os que se referem aos potenciais máximos possuíam a demanda de água não potável e a área de cobertura máximas considerada para o setor. Portanto, quando a demanda não potável for baixa (10% para o setor residencial unifamiliar, 25% para o multifamiliar e público e 55% para o comercial), o reúso de água cinza é a alternativa mais viável a fim de reduzir o consumo de água. Quando a demanda não potável for elevada (50% para o setor residencial unifamiliar, 35% para o multifamiliar e 85% para o público e comercial) e houver área de cobertura considerável para captação de água da chuva, recomenda-se a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

No caso de mínima economia do setor residencial unifamiliar o reúso de água cinza e a combinação das três estratégias resultaram na maior redução de consumo de água, mas a diferença da redução proporcionada pelo aproveitamento de água pluvial em relação a esses casos seria de apenas 1,1%. No cenário máximo, a adoção das três estratégias foi a que apresentou o melhor resultado, mas o aproveitamento de água pluvial proporcionaria economia somente 0,3% menor. Na tipologia residencial multifamiliar, as maiores economias de água decorreram do reúso de água cinza e da combinação das medidas, tanto no cenário mínimo quanto no máximo. O aproveitamento de água pluvial foi pouco expressivo nesse setor porque a demanda total de água potável era elevada e a área de cobertura não era suficiente para coletar o volume de chuva necessário para atender os consumos não potáveis. Nos setores público e comercial, a adoção das três estratégias proporcionou as maiores reduções de consumo.

O setor residencial unifamiliar foi o mais representativo na economia de água potável na maioria das situações avaliadas, seguido das tipologias residencial multifamiliar e comercial (dependendo da estratégia). O setor menos representativo foi o público, apesar de apresentar elevados potenciais de economia. Isso se deve ao fato dessa tipologia representar parcela pequena do consumo total de água em Joinville. Como o setor residencial unifamiliar é o que consome o maior volume de água, pequenas

economias, se adotadas em várias edificações, proporcionam reduções significativas no consumo total da cidade.

Analisando a geração de esgoto, foi identificado que nos casos de mínima e máxima economia a combinação de estratégias resultou em potencial de redução maior. No entanto, no cenário mínimo, o potencial obtido apenas com o reúso de água cinza é semelhante (1,4% menor).

Assim, constata-se que quando a demanda de água não potável for baixa, o reúso de água cinza proporciona economia de água potável e redução da geração de esgoto semelhantes às proporcionadas caso as três medidas fossem adotadas simultaneamente. Quando a demanda não potável for maior e a área de captação for grande, o aproveitamento de água pluvial proporciona bons resultados de economia de água, mas não contribui para diminuir a geração de esgoto.

No setor residencial (unifamiliar e multifamiliar), o reúso de água cinza e a combinação das três estratégias foram as ações que proporcionaram maior redução do volume gerado. Nas edificações públicas, a adoção das três estratégias foi a responsável pela maior diminuição. Na tipologia comercial, no caso de mínima economia a combinação de medidas também proporcionou a maior redução, mas no caso de máxima economia a ação que apresentou o melhor resultado foi a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga.

Novamente, o setor residencial unifamiliar foi o mais representativo na redução total do volume de esgoto gerado em Joinville, exceto quando foi considerada apenas a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga. O setor público pouco contribuiu para a diminuição total do volume de esgoto gerado.

Com isso, constata-se que o setor que proporciona as reduções de consumo de água e geração de esgoto mais significativas é o residencial, com destaque para a ocupação unifamiliar. Esse resultado concorda com o obtido por Siddiqi e Weck (2013), que afirmam que o setor residencial tem o maior impacto no consumo de energia elétrica associado ao uso de água potável na cidade de Masdar, nos Emirados Árabes Unidos. Apesar de os potenciais de economia de água não terem sido os maiores na tipologia residencial unifamiliar em comparação às demais, a sua elevada representatividade no consumo total de água na cidade fez com que as reduções obtidas nesse setor

fossem significativas para todas as estratégias avaliadas. A medida com maior impacto na economia de água potável neste setor é o aproveitamento de água pluvial, mas ela não contribui para diminuir a produção de esgoto.

Contudo, se for considerada apenas a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, o setor comercial também contribui significativamente para redução do consumo de água e da geração de esgoto, especialmente no cenário de economia mínima. Como nessas edificações o uso das bacias sanitárias geralmente é maior do que na tipologia residencial, essa medida proporciona considerável economia de água potável além de contribuir significativamente para diminuir a produção de esgoto.

O setor público teve pouca relevância nas reduções totais de consumo de água e geração de esgoto, pois representa parcela muito pequena do volume de água consumido e de esgoto coletado e tratado em Joinville.

4.7.2 Economia de energia elétrica

As Figuras 19 e 20 apresentam as porcentagens de economia de energia elétrica decorrentes de cada estratégia correspondentes a cada setor. A Figura 19 mostra a economia de energia obtida com a redução do consumo de água potável e a Figura 20 com a diminuição da geração de esgoto. Na Figura 20 o aproveitamento de água pluvial foi omitido porque essa estratégia não contribui para diminuir a produção de efluentes.

Para a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, por exemplo, no cenário de mínima redução do consumo de água (Figura 19), o setor comercial é responsável por 47,1% da economia total de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água, seguido do residencial unifamiliar (29,6%), residencial multifamiliar (16,6%) e público (6,7%). Contudo, para o caso de máxima redução do consumo da mesma estratégia, a tipologia residencial unifamiliar é responsável por mais da metade da economia de energia nos sistemas de abastecimento de água (65,8%), seguida da comercial (18,0%), residencial multifamiliar (9,6%) e pública (6,6%).

Figura 19 - Porcentagem de economia de energia elétrica correspondente a cada tipologia de edificação decorrente da redução do consumo de água potável

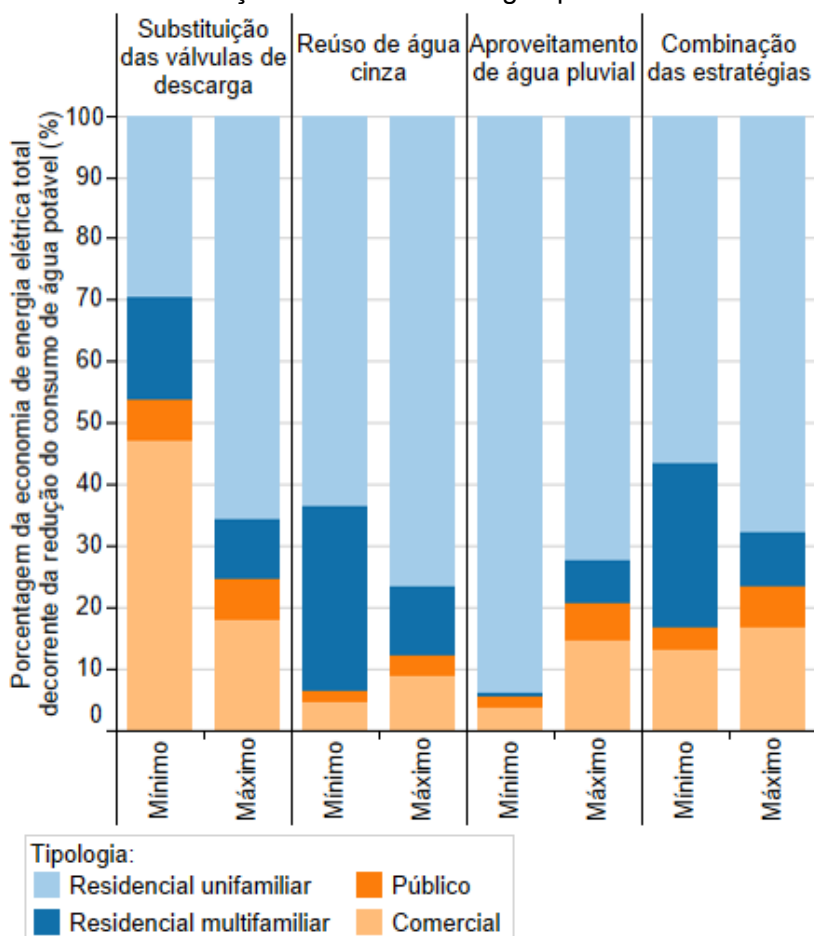
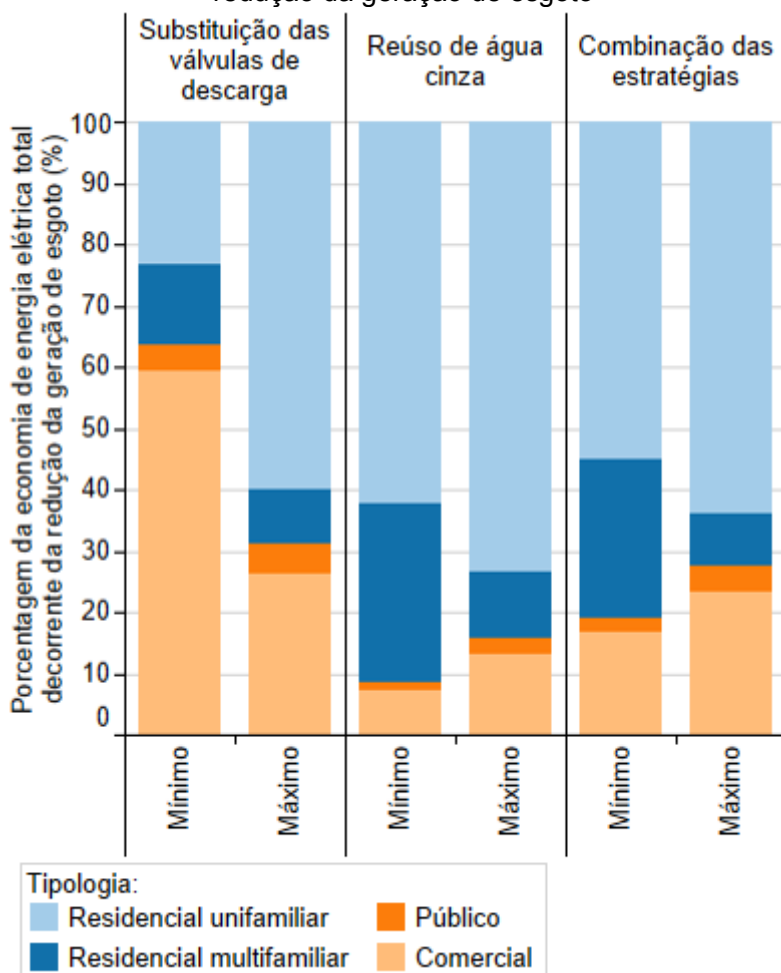


Figura 20 - Porcentagem de economia de energia elétrica correspondente a cada tipologia de edificação decorrente da redução da geração de esgoto



O setor residencial unifamiliar é o mais representativo em todos os casos analisados, exceto no cenário mínimo para a estratégia de substituição dos acabamentos das válvulas de descarga, na qual o setor comercial foi o que mais contribuiu para a economia de energia elétrica. As edificações públicas foram pouco significantes em todos os casos. Isso ocorre porque a

tipologia residencial unifamiliar responde pela maior parte do consumo de água e geração de esgoto em Joinville, e conseqüentemente é a que teria maior impacto na economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Em contrapartida, o setor público é o que menos consome água e gera esgoto na cidade, por isso sua contribuição para a economia de energia é menor.

Contrapondo esse resultado, em um estudo semelhante feito por Proença et al. (2011) para a cidade de Florianópolis, os autores concluíram que o setor público seria o que mais contribuiria para a redução do consumo de água potável e geração de esgoto e, conseqüentemente, para a economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário decorrentes dessas diminuições, correspondendo a 46,2% do total de economia de energia elétrica. Esse resultado é justificado pelo fato de as edificações públicas de Florianópolis serem responsáveis por uma parcela mais significativa do consumo de água em comparação a Joinville (31,9% em Florianópolis (PROENÇA et al., 2011) e 4% em Joinville (AMAE, 2017)). No estudo de Proença et al. (2011), o setor público também teve potenciais de economia de água maiores que o residencial, e isso resultou em uma economia de água maior na tipologia pública. Após o setor público, o residencial unifamiliar foi o que mais contribuiu para a economia de energia elétrica (31,6%), seguido do comercial (13,9%) e do residencial multifamiliar (8,3%), que tiveram contribuições menos significativas.

As mesmas estratégias que proporcionam as maiores reduções de consumo de água e geração de esgoto em cada setor (conforme descrito na seção 4.7.1) são as que acarretam nas maiores economias de energia elétrica.

No cenário de economia mínima de água, foi identificado que a maior economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário ocorreria no setor residencial unifamiliar com a utilização de sistemas de reúso de água cinza ou com a adoção das três estratégias de redução de consumo simultaneamente. Para o caso de máxima economia de água, a maior economia de energia também ocorreria na tipologia residencial unifamiliar para a adoção simultânea das três estratégias. Nesse cenário, a segunda maior economia de energia elétrica nesse setor decorreria do aproveitamento de água pluvial,

com economia de energia 9,5% menor do que se fossem instaladas as três estratégias.

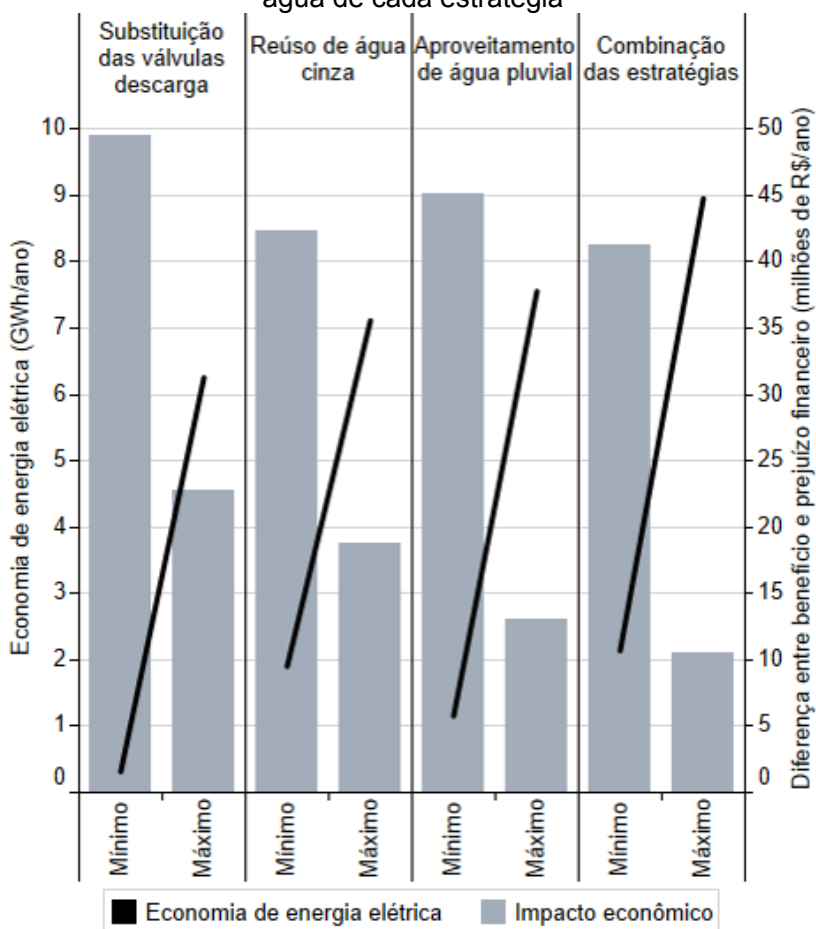
Analisando a economia total de energia elétrica nas quatro tipologias de edificação, a adoção simultânea das estratégias proporcionaria a maior economia de energia tanto no cenário de mínima economia quanto no de máxima. As estratégias isoladas responsáveis pela segunda maior economia de energia seriam o reúso de água cinza no cenário mínimo (economia de energia 11,0% menor em comparação à adoção das três estratégias) e o aproveitamento de água pluvial no cenário máximo (economia de energia 15,6% menor em comparação à adoção das três estratégias).

4.7.3 Impacto financeiro

A Figura 21 apresenta a economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário (linhas) e o impacto financeiro total (barras) nos cenários de mínima e máxima economia de água para cada estratégia.

Em todos os casos, o benefício financeiro obtido com a redução das taxas de expansão das redes de água e esgoto foi maior do que com a economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Para o aproveitamento de água pluvial, o benefício decorrente da economia de energia foi 59,0% menor do que o proveniente da diminuição da expansão das redes nos dois cenários analisados. Para as demais estratégias, essa diferença foi de aproximadamente 80,0%.

Figura 21 - Economia de energia elétrica e impacto financeiro para os cenários de mínima e máxima redução do consumo de água de cada estratégia



Em sete dos oito cenários analisados o ganho da concessionária com as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima era maior do que a queda na arrecadação que a concessionária teria em função dos menores volumes de água e esgoto faturados. Isso fez com o que o prejuízo financeiro fosse negativo nesses casos, ou seja, o resultado da equação do prejuízo na verdade foi de lucro para a concessionária. O único cenário em que o prejuízo não foi negativo foi o de máxima

economia para a adoção simultânea das três estratégias. Neste caso, a perda provocada pela diminuição dos volumes faturados seria maior do que a arrecadação com as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima, o que faria com que a concessionária tivesse prejuízo.

Nos cenários de mínima economia de água de todas as estratégias o valor absoluto do prejuízo foi muito maior do que o do benefício financeiro. Isso significa que para a mínima economia de água, o impacto financeiro positivo para a concessionária local dependeu mais da arrecadação da empresa com as unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima do que da economia de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto ou da diminuição das taxas de expansão das redes em operação. Isso também fez com que o impacto financeiro fosse melhor nos cenários de mínima economia de água potável do que nos cenários de máxima economia. O montante adquirido referente as tarifas mínimas é o mesmo nos dois cenários, mas a redução da arrecadação relacionada aos menores volumes faturados de água e esgoto é maior no cenário de máxima economia de água. Desta forma, o valor absoluto do prejuízo foi maior no cenário mínimo, e por isso o impacto financeiro foi melhor neste cenário.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo foi estimar o potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário decorrente da redução do consumo de água potável em Joinville. Esta análise foi feita em uma escala municipal para os setores residencial unifamiliar e multifamiliar, público e comercial da cidade.

A combinação das três estratégias foi a opção que resultou nos maiores potenciais de economia de água potável em todos os setores. Caso as estratégias fossem adotadas simultaneamente nos quatro setores investigados, a redução total do consumo de água em Joinville seria de 12,1% a 50,5% (3.517.700,7 m³/ano a 14.690.012,0 m³/ano). Contudo, algumas estratégias isoladas apresentaram potenciais de economia semelhantes. Para o cenário de mínima economia de água, verificou-se que o reúso de água cinza proporcionaria redução de 10,7% no consumo total de água da cidade (3.129.843,7 m³/ano). Para o cenário de máxima economia de água, a diminuição do consumo com o aproveitamento de água pluvial seria de 47,2% (13.732.355,4 m³/ano).

Em relação à geração de esgoto, a combinação das estratégias também foi a opção que proporcionaria as maiores reduções, de 12,1% a 52,1% (660.476,4 m³/ano a 2.849.730,8 m³/ano). No entanto, para o cenário de mínima economia de água, a diminuição do volume de efluentes obtida com o reúso de água cinza seria semelhante (10,7%).

Verificou-se que os cenários correspondentes aos potenciais mínimos de economia em todas as tipologias tinham baixos volumes de demanda não potável e fontes de água cinza, enquanto os que se referem aos potenciais máximos possuíam demanda não potável maior e a área de cobertura máxima do setor. A partir disso, concluiu-se que quando a demanda de água não potável for baixa, o reúso de água cinza é a estratégia mais viável para reduzir o consumo de água potável. Nesse caso, esta estratégia garante economia de água e redução da geração de esgoto semelhantes às proporcionadas pela adoção simultânea das três medidas. Quando a demanda não potável for elevada e houver área de captação ampla, o aproveitamento de água pluvial

proporciona bons resultados de economia de água, mas não contribui para diminuir a geração de esgoto.

A adoção simultânea das três estratégias também seria a opção que proporcionaria a maior economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (2,1 GWh/ano no cenário de mínima economia de água e 9,0 GWh/ano no cenário de máxima economia). Para a mínima economia de água, a estratégia isolada responsável pela segunda maior economia de energia elétrica seria o reúso de água cinza (11,0% menor em relação às três estratégias), e para a economia máxima seria o aproveitamento de água pluvial (economia 15,6% menor do que a combinação de estratégias). A pequena diferença entre a economia de energia elétrica proporcionada pela combinação de estratégias e pelas alternativas isoladas reitera que a instalação de sistemas de reúso de água cinza ou de aproveitamento de água pluvial é mais viável do que a adoção das três estratégias simultaneamente. Alguns estudos também constatam que o custo e a energia embutida relacionados à instalação de uma das estratégias é menor do que para três (GHISI; RUPP; TRISKA, 2014; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018; PROENÇA; GHISI, 2013), o que confirma essa conclusão.

O setor residencial unifamiliar foi o mais representativo na redução total do consumo de água potável e da geração de esgoto e, conseqüentemente, na economia total de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Portanto, esse setor deveria ser priorizado no caso de implantação de estratégias para economia de água potável em escala municipal em Joinville. Apenas no cenário de mínima economia de água decorrente da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga a tipologia comercial foi a que mais contribuiu para a redução do consumo de água e geração de esgoto e economia de energia. A substituição dos acabamentos das válvulas de descarga convencionais por modelos de duplo acionamento é uma estratégia mais simples para ser adotada nas edificações já existentes em comparação ao uso de fontes alternativas (água cinza ou pluvial), portanto é uma boa opção para ser aplicada nas edificações comerciais em escala municipal.

O setor público teve pouca relevância nas reduções totais de consumo de água e geração de esgoto e na economia de energia elétrica. Apesar de ter apresentado elevados potenciais

de economia de água, esta tipologia representa parcela muito pequena do volume de água consumido e de esgoto gerado em Joinville, por isso contribui pouco para diminuir o consumo de água e a geração de efluentes e para a economia de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto.

Em relação à análise financeira, todos os cenários avaliados resultariam em impacto financeiro positivo para a concessionária responsável pelos serviços de água e esgoto em Joinville. A arrecadação da concessionária relacionada às unidades consumidoras que pagam a tarifa mínima superaria o prejuízo relacionado à diminuição dos volumes de água e esgoto faturados em sete dos oito cenários analisados. Especialmente nos cenários de mínima economia de água, o elevado impacto financeiro positivo para a concessionária está mais relacionado à tarifa mínima do que à economia de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto ou à diminuição das taxas de expansão das redes em operação.

Por fim, concluiu-se que há elevado potencial de economia de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e esgoto da cidade de Joinville caso sejam adotadas medidas para reduzir o consumo de água potável em escala municipal. A concessionária não seria prejudicada financeiramente com a diminuição do consumo de água e da geração de esgoto, o que pode ser um motivador para que a empresa incentive a adoção dessas estratégias. Destaca-se que o potencial de economia de água decorrente de cada estratégia depende de algumas características particulares de cada edificação (usos finais da água, demanda total de água potável, área de cobertura, entre outras), devendo-se sempre fazer uma análise prévia de qual seria a medida mais adequada para cada caso.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho apresenta as seguintes limitações:

- Os estudos utilizados para definir os cenários de usos finais da água e a demanda total de água potável não foram realizados em Joinville e podem não representar a realidade das edificações desta cidade. Não foram encontrados estudos sobre usos finais e demanda total de água potável feitos em Joinville;

- Para determinar as áreas de cobertura de cada setor, foram utilizados dados da Secretaria da Fazenda da Prefeitura de Joinville (SEFAZ) para os setores residenciais e do Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo) para os setores público e comercial. Contudo, a planilha de dados da SEFAZ não era atualizada e a medição da área realizada no SIMGeo pode não ser precisa. Não se teve acesso aos dados atualizados do cadastro da SEFAZ referentes a nenhuma tipologia de edificação;
- A definição do potencial de economia de água decorrente do aproveitamento de água pluvial foi feita a partir da indicação do volume ideal pelo programa Netuno. Para isso, a diferença entre potenciais de economia de água potável foi fixada em 2%/m³ em todas as simulações. A escolha de outros valores para esse critério pode resultar em potenciais de economia diferentes dos apresentados neste trabalho;
- Na análise financeira, utilizaram-se valores médios para o custo da expansão das redes de água e esgoto. Esses valores foram determinados a partir de dois orçamentos repassados pela Companhia Águas de Joinville (uma para expansão da rede de água e outra da rede de esgoto), e podem não ser representativos das demais obras realizadas. Contudo, não se teve acesso a outros orçamentos para definir valores mais precisos. Uma alternativa seria utilizar o custo unitário referente a cada diâmetro de tubulação, porém os dados da extensão das redes em operação repassados pela concessionária referem-se à extensão total, sem separação por diâmetro;
- Ainda sobre a análise financeira, não foi utilizado o valor da tarifa referente a cada tipologia de edificação, e sim a média para todos os setores. No entanto, para determinar o prejuízo separadamente para cada tipologia seria necessário conhecer o número de unidades que pagam a tarifa mínima em cada setor, e os dados repassados pela Companhia Águas de Joinville correspondem ao número total dessas unidades;
- Para estimar o prejuízo financeiro, não se tinha o número de unidades que pagam a tarifa mínima de esgoto. Por isso, foi utilizado o dado de SEPUD (2018) de que 29,85% da população de Joinville é atendida pelo serviço de coleta de

esgoto. Sabe-se que a relação entre a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário e o número de unidades que pagam as tarifas mínima de água e esgoto não é a mesma. Contudo, na falta de dados, utilizou-se esta informação como aproximação.

Ressalta-se que grande parte dos dados utilizados nesta pesquisa foi baseada em outras pesquisas e em informações da Companhia Águas de Joinville e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Portanto, as principais limitações do trabalho estão relacionadas ao uso de dados teóricos. Para que os resultados fossem mais precisos seria necessário realizar levantamento de dados em campo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementar os resultados desta pesquisa, assim como para aprimorar os resultados obtidos, sugere-se para trabalhos futuros:

- Realizar medições e levantamento de dados em campo para determinar os usos finais da água e a demanda total de água potável em edificações de Joinville. Desta forma, os cenários de usos finais e os valores da demanda total seriam mais adequados ao perfil de consumo da cidade;
- Avaliar cenários com outras combinações das estratégias para redução do consumo de água potável, como a combinação da substituição dos acabamentos das válvulas de descarga com o reúso de água cinza, a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga com o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza com o aproveitamento de água pluvial;
- Levantar o custo para instalação de cada estratégia para economia de água potável para analisar a viabilidade financeira da sua adoção nas edificações de cada setor;
- Investigar por meio de questionários a aceitação dos habitantes de Joinville às estratégias de redução do consumo de água potável consideradas neste trabalho, tanto em relação ao custo associado a sua instalação quanto ao uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis. Verificar também se eles concordariam em instalá-las em suas edificações mesmo que eles já consumam

volume de água menor do que o mínimo cobrado pela concessionária;

- Estimar o custo para a concessionária local subsidiar total ou parcialmente a instalação das estratégias para os consumidores.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.

AMAE - AGÊNCIA MUNICIPAL DE REGULAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO DE JOINVILLE. **Relatório de Análise Regulatória da Companhia Águas de Joinville**: Janeiro a Dezembro 2016. Joinville, 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **ATLAS Brasil**: Abastecimento urbano de água: Panorama Nacional. Brasília: ANA, 2010. 68 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras. Brasília: ANA, 2015. 163 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017. 169 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Quantidade da água**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

BARBERÁN, R.; EGEA, P.; RENTERÍA, P. G. de; SALVADOR, M. Evaluation of water saving measures in hotels: A Spanish case study. **International Journal of Hospitality Management**, v. 34, p. 181–191, 2013.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 269, de 22 de março de 2017. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e aprova as especificações mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à

aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 24 mar. 2017. Seção 1, p. 119-122.

CASAN – COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **Balanco contábil 2017**. 2018. Disponível em: <[https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/DFP%202017%20COMPLETA%20ENTREGUE%20EM%2027-03-2018\(1\).pdf#1100](https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/DFP%202017%20COMPLETA%20ENTREGUE%20EM%2027-03-2018(1).pdf#1100)>. Acesso em: 16 jul. 2018.

CHENG, C. Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 3, p. 261-266, 2002.

COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE. **Anexo I – Estrutura tarifária**. 2018. Disponível em: <https://www.aguasdejoinville.com.br/wp-content/uploads/2018/05/Anexo_I_Tabela_Tarifaria-2018.pdf>. Acesso em: 24 set. 2018.

CUSTÓDIO, D. A.; GHISI, E. The influence of rainwater harvesting in buildings on the stormwater runoff: A case study in southern Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 14, 2017, Praga. **Proceedings...** Praga: IWA/IAHR, 2017, p. 789-795.

CUSTÓDIO, D. A. **Influência do aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais na drenagem urbana de Joinville/SC**. 2017. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DEOREO, W. B.; HEANEY, J. P.; MAYER, P. W. Flow trace analysis to assess water use: Analyzing flow traces from residential water meters enabled researchers to collect precise data about water use by individual fixtures. **Journal of the American Water Works Association**, v. 88, n. 1, p. 79–90, 1996.

DIAS, T. F.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Factors influencing water consumption in buildings in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 160–167, 2018.

DOMÍNGUEZ, I.; WARD, S.; MENDOZA, J. G.; RINCÓN, C. I.; OVIEDO-OCAÑA, E. R. End-User Cost-Benefit Prioritization for Selecting Rainwater Harvesting and Greywater Reuse in Social Housing. **Water**, v. 9, n. 7, 2017.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sustainable Water Infrastructure: Energy Efficiency for Water Utilities**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sustainable-water-infrastructure/energy-efficiency-water-utilities>>. Acesso em: 4 dez. 2018.

FASOLA, G. B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A. K.; BORINELLI, J. B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2011.

FASOLA, G. B. **Usos finais de água potável em escolas de Florianópolis**. Relatório de Iniciação Científica. Florianópolis, 2009.

FIDAR, A.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Environmental implications of water efficient microcomponents in residential buildings. **Science of The Total Environment**, v. 408, n. 23, p. 5828–5835, 2010.

FRIEDLER, E.; HADARI, M. Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. **Desalination**, v. 190, n. 1–3, p. 221–234, 2006.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1544–1550, 2006.

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381–2403, 2010.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>. 2014a.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**: Manual do Usuário. 2014b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204–210, 2006.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. de. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1731-1742, 2007.

GHISI, E.; RUPP, R. F.; TRISKA, Y. Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 137–144, 2014.

GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2555–2576, 2013.

GHISI, E.; THIVES, L. P.; PAES, R. F. W. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 18, n. 4, p. 1497, 2017.

GHISI, S. de; CASELLA, P.; NOTARNICOLA, M.; FARINA, R. Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and

case studies. **Civil Engineering and Environmental Systems**, v. 33, n. 1, p. 35–54, 2016.

GOIS, E. H. B. de; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 263–271, 2015.

GÓMEZ, Y. D.; TEIXEIRA, L. G. Residential rainwater harvesting: Effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 56–67, 2017.

GOOGLE. **Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Joinville+-+SC/@-26.2628594,-49.1017609,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94dea3f39db1ab37:0xbc4b989df161e9fa!8m2!3d-26.2677499!4d-48.9202828>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

GU, A.; TENG, F.; LV, Z. Exploring the nexus between water saving and energy conservation: Insights from industry sector during the 12th Five-Year Plan period in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 28–38, 2016.

HARDY, L.; GARRIDO, A.; JUANA, L. Evaluation of Spain's Water-Energy Nexus. **International Journal of Water Resources Development**, v. 28, n. 1, p. 151–170, 2012.

HOCAOGLU, S. M. Evaluations of on-site wastewater reuse alternatives for hotels through water balance. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 43–50, 2017.

HOWELLS, M.; ROGNER, H. Assessing integrated systems. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 246–247, 2014.

HUSSIEN, W. A.; MEMON, F. A.; SAVIC, D. A. Assessing and Modelling the Influence of Household Characteristics on Per Capita Water Consumption. **Water Resources Management**, v. 30, n. 9, p. 2931–2955, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Joinville**: Censo: Universo - Características da população e dos domicílios. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/pesquisa/23/24304?detalhes=true>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

IBRAHIM, O.; FARDOUN, F.; YOUNES, R.; LOUAHLIA-GUALOUS, H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. **Building and Environment**, v. 72, p. 259–286, 2014.

ILHA, M. de O; OLIVEIRA, L. H. de; SOUSA JÚNIOR, W.; GONÇALVES, O.; CAMPOS, M. A. Impact of installation of water saving technologies at the International Airport of São Paulo in Brazil. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 36, 2010, Sydney. **Proceedings...** Sydney: Commission W062 Water Supply and Drainage for Buildings CIB W062, 2010, p. 449-458.

JOINVILLE. **Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo)**. Disponível em: <simgeo.joinville.sc.gov.br>. Acesso em: 12 abr. 2018.

KALBUSCH, A.; GONÇALVES, F.; CUREAU, R. J.; DEFAVERI, D.; RAMOS, D. A. Avaliação das condições de operação de equipamentos hidrossanitários em edificações públicas. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 393–408, 2018.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 75-90, 2006.

KHAN, Z.; LINARES, P.; GONZÁLEZ, J. G. Integrating water and energy models for policy driven applications. A review of contemporary work and recommendations for future developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1123–1138, 2017.

KISAKYE, V.; VAN DER BRUGGEN, B. Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting

systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 49–63, 2018.

LAM, K. L.; KENWAY, S. J.; LANT, P. A. Energy use for water provision in cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 699–709, 2017.

LEE, M.; KELLER, A. A.; CHIANG, P.; DEN, W.; WANG, H.; HOU, C.; WU, J.; WANG, X.; YAN, J. Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. **Applied Energy**, v. 205, p. 589–601, 2017.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 11, p. 3439–3449, 2009.

LI, W.; LI, L.; QIU, G. Energy consumption and economic cost of typical wastewater treatment systems in Shenzhen, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S374–S378, 2017.

LIU, S.; BUTLER, D.; MEMON, F. A.; MAKROPOULOS, C.; AVERY, L.; JEFFERSON, B. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. **Water Research**, v. 44, n. 1, p. 267–277, 2010.

LOPES, A. C.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessment of the potential for potable water savings by using rainwater in houses in southern Brazil. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 16, n. 2, p. 533–541, 2016.

MAIA, B. G. O.; KLOSTERMANN, D.; RIBEIRO, J. M. G.; SIMM, M.; OLIVEIRA, T. M. N.; BARROS, V. G. **Bacias Hidrográficas da Região de Joinville**. 2. ed. Joinville: UNIVILLE. 2013. 55 p.

MALINOWSKI, P. A.; STILLWELL, A. S.; WU, J. S.; SCHWARZ, P. M. Energy-Water Nexus: Potential Energy Savings and Implications for Sustainable Integrated Water Management in Urban Areas from Rainwater Harvesting and Gray-Water Reuse.

Journal of Water Resources Planning and Management, v. 141, n. 12, p. 1–10, 2015.

MARCH, J. .; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). **Desalination**, v. 164, n. 3, p. 241–247, 2004.

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 28–39, 2018.

MARINOSKI, A. K.; VIEIRA, A. S.; SILVA, A. S.; GHISI, E. Water End-Uses in Low-Income Houses in Southern Brazil. **Water**, v. 6, n. 7, p. 1985–1999, 2014.

MATOS, C.; TEIXEIRA, C. A.; DUARTE, A. A. L. S.; BENTES, I. Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the north region of Portugal. **Science of The Total Environment**, v. 458–460, p. 444–450, 2013.

MEIRELES, I.; SOUSA, V.; ADEYEYE, K.; SILVA-AFONSO, A. User preferences and water use savings owing to washbasin taps retrofit: a case study of the DECivil building of the University of Aveiro. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–11, 2017.

MOLINOS-SENANTE, M.; GUZMÁN, C. Benchmarking energy efficiency in drinking water treatment plants: Quantification of potential savings. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 417–425, 2018.

MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors. **Applied Energy**, v. 202, p. 275–281, 2017.

MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Evaluation of energy performance of drinking water treatment plants: Use of energy intensity and energy efficiency metrics. **Applied Energy**, v. 229, p. 1095–1102, 2018.

MOREIRA NETO, R. F.; CARVALHO, I. de C.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. da F. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 68, p. 36–43, 2012.

MOSTAFAVI, N.; SHOJAEI, H. R.; BEHESHTIAN, A.; HOQUE, S. Residential Water Consumption Modeling in the Integrated Urban Metabolism Analysis Tool (IUMAT). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 131, p. 64–74, 2018.

MOURAD, K. A.; BERNDTSSON, J. C.; BERNDTSSON, R. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2447–2453, 2011.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 275–284, 2000.

OLIVEIRA, L. H. de. As bacias sanitárias e as perdas de água nos edifícios. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 4, p. 39–45, 2002.

PANEPINTO, D.; FIORE, S.; ZAPPONE, M.; GENON, G.; MEUCCI, L. Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. **Applied Energy**, v. 161, p. 404–411, 2016.

PLAPPALLY, A. K.; LIENHARD V, J. H. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation and disposal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 4818–4848, 2012.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Assessment of Potable Water Savings in Office Buildings Considering Embodied Energy. **Water Resources Management**, v. 27, n. 2, p. 581–599, 2013.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Water end-uses in Brazilian office buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 8, p. 489–500, 2010.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E.; TAVARES, D. da F.; COELHO, G. M. Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 960-965, 2011.

PULEO, V.; NOTARO, V.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. Water and Energy Saving in Urban Water Systems: The ALADIN Project. **Procedia Engineering**, v. 162, p. 396–402, 2016.

RATHNAYAKA, K.; MAHEEPALAB, S.; NAWARATHNA, B.; GEORGE, B.; MALANO, H.; ARORA, M. Factors affecting the variability of household water use in Melbourne, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 85–94, 2014.

RIHON, A. C.; LASSAUX, S.; GERMAIN, A. Application of the LCA methodology to water management from the pumping station to the wastewater treatment plant. *In: 10th Studies Symposium*. **Anais...** Barcelona, 2002.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Volume de água e esgoto**. Disponível em:

<<http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?temp=2&temp2=3&proj=investidoresnovo&pub=T&nome=Volume+de+agua+e+esgoto&db=&docidPai=AB82F8DBCD12AE488325768C0052105E&campo1=2017&campo2=A&campo3=C>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SANCHO, F. H.; SENANTE, M. M.; GARRIDO, R. S. Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 14, p. 2693–2699, 2011.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Resultados 1T18**. 2018. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/pressrealese1tri2018-vf.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SANT'ANA, D. Domestic Water End-Uses and Water Conservation in Multi-Storey Buildings in the Federal District, Brazil. *In: PLEA*

INTERNATIONAL CONFERENCE, 28, 2012, Lima. **Proceedings...** Lima: PLEA, 2012.

SAUTCHUK, C.; FARINA, H.; HESPANHOL, I.; OLIVEIRA, L. H. de; COSTI, L. O.; ILHA, M. S. de O.; GONÇALVES, O. M.; MAY, S.; BONI, S. da S. N.; SCHMIDT, W. **Conservação e Reúso da água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151 p.

SEMERTZIDIS, T.; SPATARU, C.; BLEISCHWITZ, R. Cross-sectional integration of the water-energy nexus in Brazil. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 6, n. 1, p. 114–128, 2018.

SEPUD – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville Cidade em Dados 2018**: Ambiente Construído. Joinville, 2018. 51 p.

SIDDIQI, A.; WECK, O. L. DE. Quantifying End-Use Energy Intensity of the Urban Water Cycle. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 19, n. 4, p. 474–485, 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 82–93, 2016.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016**: Tabelas Completas de Informações e Indicadores dos Prestadores de Serviços Locais – Direito Privado com Administração Pública (LPr). 2018a. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016**: Tabela Resumo de Informações e Indicadores Por Estado. 2018b. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **SNIS - Série Histórica**. 2018c. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

SOUZA, E. L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater for Non-Potable Uses in Houses. **Water**, v. 4, n. 3, p. 607–628, 2012.

STANG, S.; WANG, H.; GARDNER, K. H.; MO, W. Influences of water quality and climate on the water-energy nexus: A spatial comparison of two water systems. **Journal of Environmental Management**, v. 218, p. 613–621, 2018.

TAN, C.; ZHI, Q. The Energy-water Nexus: A literature Review of the Dependence of Energy on Water. **Energy Procedia**, v. 88, p. 277–284, 2016.

TESTON, A.; GERALDI, M. S.; COLASIO, B. M.; GHISI, E. Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: A Literature Review. **Water**, v. 10, n. 4, 2018a.

TESTON, A.; TEIXEIRA, C. A.; GHISI, E.; CARDOSO, E. B. Impact of Rainwater Harvesting on the Drainage System: Case Study of a Condominium of Houses in Curitiba, Southern Brazil. **Water**, v. 10, n. 8, 2018b.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives**. Londres: Earthscan Publications Ltd, 2002. 426 p.

VAKILIFARD, N.; ANDA, M.; BAHRI, P. A.; HO, G. The role of water-energy nexus in optimising water supply systems – Review of techniques and approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1424–1432, 2018.

VENKATESH, G.; BRATTEBØ, H. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). **Energy**, v. 36, n. 2, p. 792–800, 2011.

VIEIRA, A. S. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina.** 2012. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VIEIRA, A. S.; BEAL, C. D.; GHISI, E.; STEWART, R. A. Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 225–242, 2014.

VIEIRA, A. S.; GHISI, E. Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water and sewerage services. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 145–162, 2016.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 701–714, 2014.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Exploring the water-energy nexus in Brazil: The electricity use for water supply. **Energy**, v. 85, p. 415–432, 2015.

WAKEEL, M.; CHEN, B.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. **Applied Energy**, v. 178, p. 868–885, 2016.

WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; GIURCO, D. P.; TALEBPOUR, M. R. End use water consumption in households: Impact of socio-demographic factors and efficient devices. **Journal of Cleaner Production**, v. 60, p. 107–115, 2013.

WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; PANUWATWANICH, K.; WILLIAMS, P. R. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 8, p. 1996–2009, 2011.

WWAP - UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**, Volume 1. Paris: UNESCO, 2014. 204 p.

YANG, H. X.; CHOW, W. H.; BURNETT, J. Water and Energy Conservation of Rainwater Collection Systems on Building Roofs. *In: **Advances in Building Technology***. Hong Kong: Elsevier, 2002. p. 1281–1288.

YURDUSEV, M. A.; KUMANLIOUGLU, A. A. Survey-Based Estimation of Domestic Water Saving Potential in the Case of Manisa City. **Water Resources Management**, v. 22, n. 3, p. 291–305, 2008.

ZHOU, S. L.; MCMAHON, T. A.; WALTON, A.; LEWIS, J. Forecasting operational demand for an urban water supply zone. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1–4, p. 189–202, 2002.

APÊNDICE A – CENÁRIOS DE USOS FINAIS DA ÁGUA

Tabela A.1 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial unifamiliar

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
1	15,0	10,0	5,0
2	25,0	10,0	5,0
3	35,0	10,0	5,0
4	45,0	10,0	5,0
5	55,0	10,0	5,0
6	65,0	10,0	5,0
7	15,0	20,0	5,0
8	25,0	20,0	5,0
9	35,0	20,0	5,0
10	45,0	20,0	5,0
11	55,0	20,0	5,0
12	65,0	20,0	5,0
13	15,0	20,0	15,0
14	25,0	20,0	15,0
15	35,0	20,0	15,0
16	45,0	20,0	15,0
17	55,0	20,0	15,0
18	65,0	20,0	15,0
19	15,0	30,0	5,0
20	25,0	30,0	5,0
21	35,0	30,0	5,0
22	45,0	30,0	5,0
23	55,0	30,0	5,0
24	65,0	30,0	5,0
25	15,0	30,0	15,0

Tabela A.1 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial unifamiliar (continuação)

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
26	25,0	30,0	15,0
27	35,0	30,0	15,0
28	45,0	30,0	15,0
29	55,0	30,0	15,0
30	65,0	30,0	15,0
31	15,0	30,0	25,0
32	25,0	30,0	25,0
33	35,0	30,0	25,0
34	45,0	30,0	25,0
35	55,0	30,0	25,0
36	65,0	30,0	25,0
37	15,0	40,0	5,0
38	25,0	40,0	5,0
39	35,0	40,0	5,0
40	45,0	40,0	5,0
41	55,0	40,0	5,0
42	15,0	40,0	15,0
43	25,0	40,0	15,0
44	35,0	40,0	15,0
45	45,0	40,0	15,0
46	55,0	40,0	15,0
47	15,0	40,0	25,0
48	25,0	40,0	25,0
49	35,0	40,0	25,0
50	45,0	40,0	25,0
51	55,0	40,0	25,0

Tabela A.1 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial unifamiliar (continuação)

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
52	15,0	40,0	35,0
53	25,0	40,0	35,0
54	35,0	40,0	35,0
55	45,0	40,0	35,0
56	55,0	40,0	35,0
57	15,0	50,0	5,0
58	25,0	50,0	5,0
59	35,0	50,0	5,0
60	45,0	50,0	5,0
61	15,0	50,0	15,0
62	25,0	50,0	15,0
63	35,0	50,0	15,0
64	45,0	50,0	15,0
65	15,0	50,0	25,0
66	25,0	50,0	25,0
67	35,0	50,0	25,0
68	45,0	50,0	25,0
69	15,0	50,0	35,0
70	25,0	50,0	35,0
71	35,0	50,0	35,0
72	45,0	50,0	35,0
73	15,0	50,0	45,0
74	25,0	50,0	45,0
75	35,0	50,0	45,0
76	45,0	50,0	45,0

Tabela A.2 - Cenários de usos finais da água para o setor residencial multifamiliar

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
1	25,0	25,0	15,0
2	35,0	25,0	15,0
3	45,0	25,0	15,0
4	25,0	25,0	25,0
5	35,0	25,0	25,0
6	45,0	25,0	25,0
7	25,0	35,0	15,0
8	35,0	35,0	15,0
9	45,0	35,0	15,0
10	25,0	35,0	25,0
11	35,0	35,0	25,0
12	45,0	35,0	25,0
13	25,0	35,0	35,0
14	35,0	35,0	35,0
15	45,0	35,0	35,0

Tabela A.3 - Cenários de usos finais da água para o setor público

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
1	5,0	25,0	20,0
2	15,0	25,0	20,0
3	25,0	25,0	20,0
4	35,0	25,0	20,0
5	5,0	35,0	20,0
6	15,0	35,0	20,0
7	25,0	35,0	20,0
8	35,0	35,0	20,0
9	5,0	35,0	30,0
10	15,0	35,0	30,0
11	25,0	35,0	30,0
12	35,0	35,0	30,0
13	5,0	45,0	20,0
14	15,0	45,0	20,0
15	25,0	45,0	20,0
16	35,0	45,0	20,0
17	5,0	45,0	30,0
18	15,0	45,0	30,0
19	25,0	45,0	30,0
20	35,0	45,0	30,0
21	5,0	45,0	40,0
22	15,0	45,0	40,0
23	25,0	45,0	40,0
24	35,0	45,0	40,0
25	5,0	55,0	20,0
26	15,0	55,0	20,0
27	25,0	55,0	20,0

Tabela A.3 - Cenários de usos finais da água para o setor público
(continuação)

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
28	35,0	55,0	20,0
29	5,0	55,0	30,0
30	15,0	55,0	30,0
31	25,0	55,0	30,0
32	35,0	55,0	30,0
33	5,0	55,0	40,0
34	15,0	55,0	40,0
35	25,0	55,0	40,0
36	35,0	55,0	40,0
37	5,0	55,0	50,0
38	15,0	55,0	50,0
39	25,0	55,0	50,0
40	35,0	55,0	50,0
41	5,0	65,0	20,0
42	15,0	65,0	20,0
43	25,0	65,0	20,0
44	35,0	65,0	20,0
45	5,0	65,0	30,0
46	15,0	65,0	30,0
47	25,0	65,0	30,0
48	35,0	65,0	30,0
49	5,0	65,0	40,0
50	15,0	65,0	40,0
51	25,0	65,0	40,0
52	35,0	65,0	40,0
53	5,0	65,0	50,0

Tabela A.3 - Cenários de usos finais da água para o setor público
(continuação)

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
54	15,0	65,0	50,0
55	25,0	65,0	50,0
56	35,0	65,0	50,0
57	5,0	65,0	60,0
58	15,0	65,0	60,0
59	25,0	65,0	60,0
60	35,0	65,0	60,0
61	5,0	75,0	20,0
62	15,0	75,0	20,0
63	25,0	75,0	20,0
64	5,0	75,0	30,0
65	15,0	75,0	30,0
66	25,0	75,0	30,0
67	5,0	75,0	40,0
68	15,0	75,0	40,0
69	25,0	75,0	40,0
70	5,0	75,0	50,0
71	15,0	75,0	50,0
72	25,0	75,0	50,0
73	5,0	75,0	60,0
74	15,0	75,0	60,0
75	25,0	75,0	60,0
76	5,0	75,0	70,0
77	15,0	75,0	70,0
78	25,0	75,0	70,0
79	5,0	85,0	20,0

Tabela A.3 - Cenários de usos finais da água para o setor público
(continuação)

Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
80	15,0	85,0	20,0
81	5,0	85,0	30,0
82	15,0	85,0	30,0
83	5,0	85,0	40,0
84	15,0	85,0	40,0
85	5,0	85,0	50,0
86	15,0	85,0	50,0
87	5,0	85,0	60,0
88	15,0	85,0	60,0
89	5,0	85,0	70,0
90	15,0	85,0	70,0
91	5,0	85,0	80,0
92	15,0	85,0	80,0

Tabela A.4 - Cenários de usos finais da água para o setor comercial

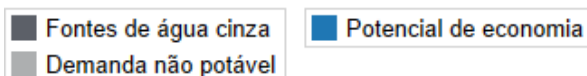
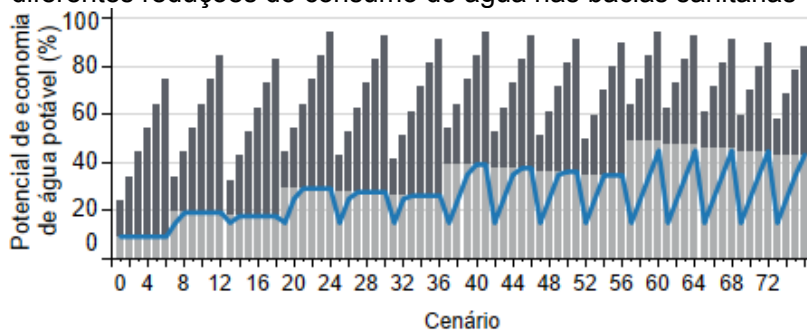
Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
1	5,0	55,0	55,0
2	15,0	55,0	55,0
3	25,0	55,0	55,0
4	35,0	55,0	55,0
5	5,0	65,0	55,0
6	15,0	65,0	55,0
7	25,0	65,0	55,0
8	35,0	65,0	55,0
9	5,0	65,0	65,0
10	15,0	65,0	65,0
11	25,0	65,0	65,0
12	35,0	65,0	65,0
13	5,0	75,0	55,0
14	15,0	75,0	55,0
15	25,0	75,0	55,0
16	5,0	75,0	65,0
17	15,0	75,0	65,0
18	25,0	75,0	65,0
19	5,0	75,0	75,0
20	15,0	75,0	75,0
21	25,0	75,0	75,0
22	5,0	85,0	55,0
23	15,0	85,0	55,0
24	5,0	85,0	65,0
25	15,0	85,0	65,0
26	5,0	85,0	75,0

Tabela A.4 - Cenários de usos finais da água para o setor comercial (continuação)

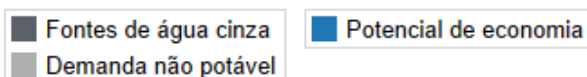
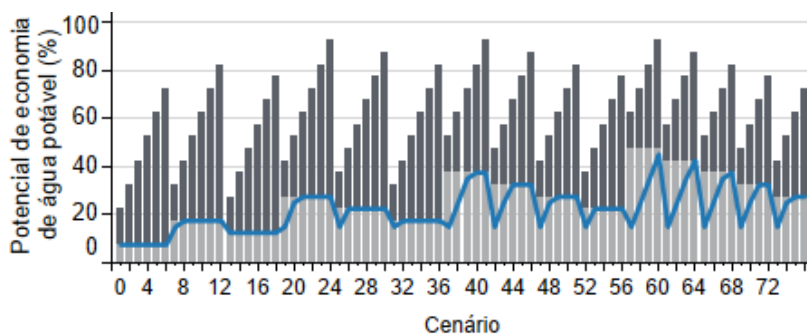
Cenário	Fontes de água cinza (%)	Demanda não potável (%)	
		Total	Bacias sanitárias
27	15,0	85,0	75,0
28	5,0	85,0	85,0
29	15,0	85,0	85,0

APÊNDICE B - POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL DECORRENTE DO REÚSO DE ÁGUA CINZA E DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA O CASO DE ADOÇÃO SIMULTÂNEA DAS TRÊS ESTRATÉGIAS

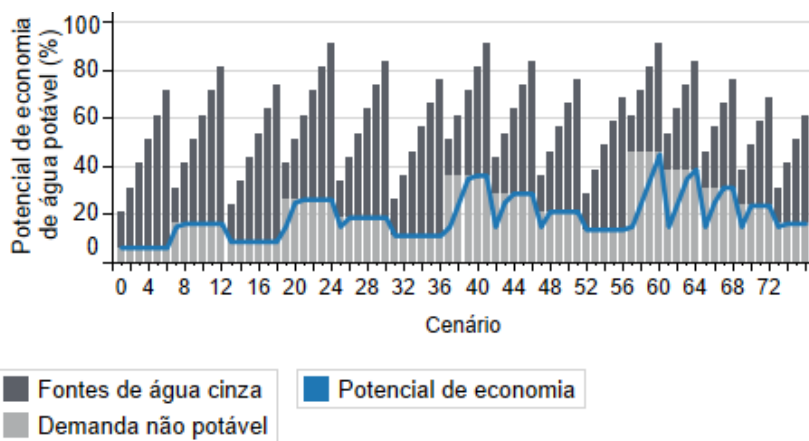
Figura B.1 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial unifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

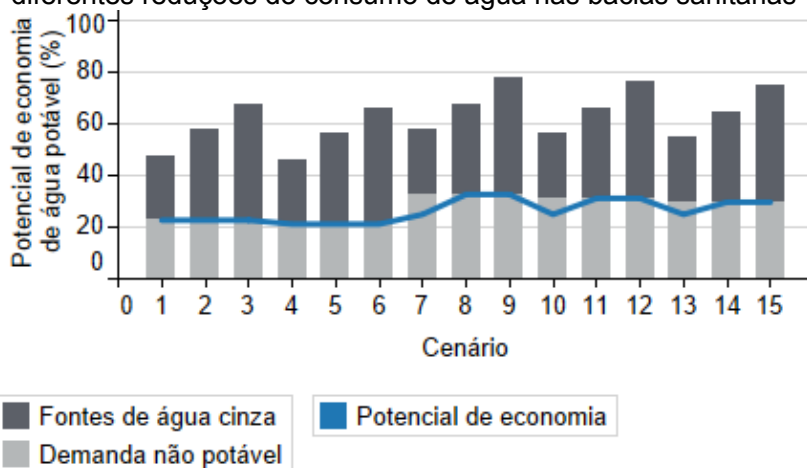


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

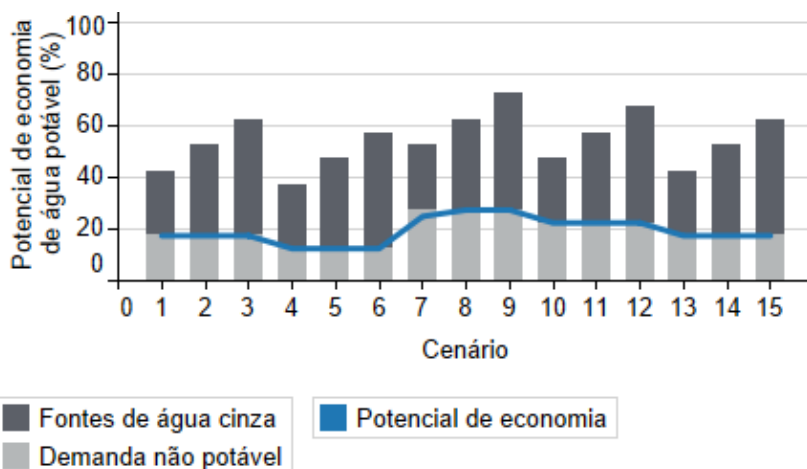


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

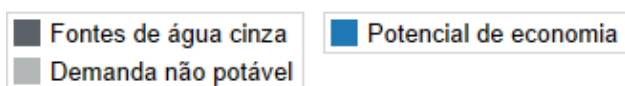
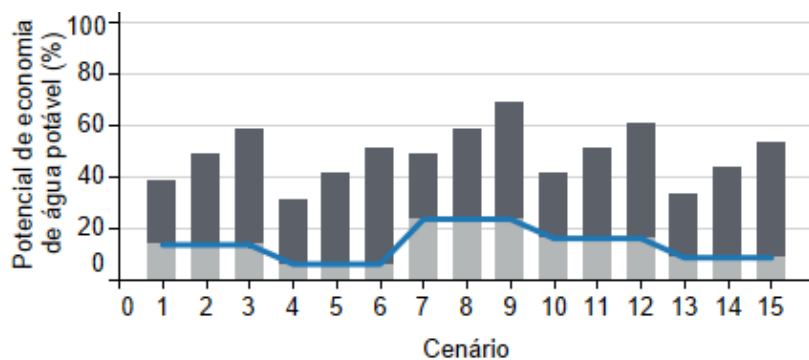
Figura B.2 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor residencial multifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

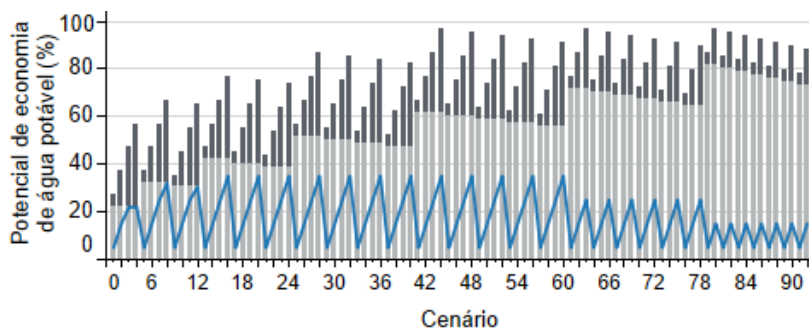


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

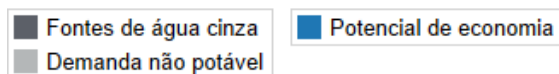
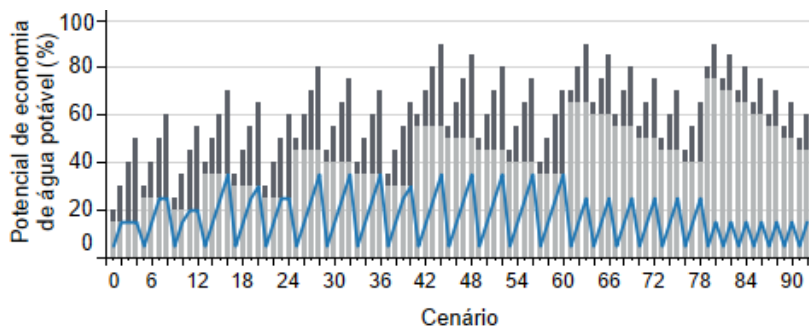


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

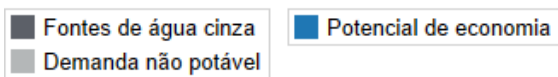
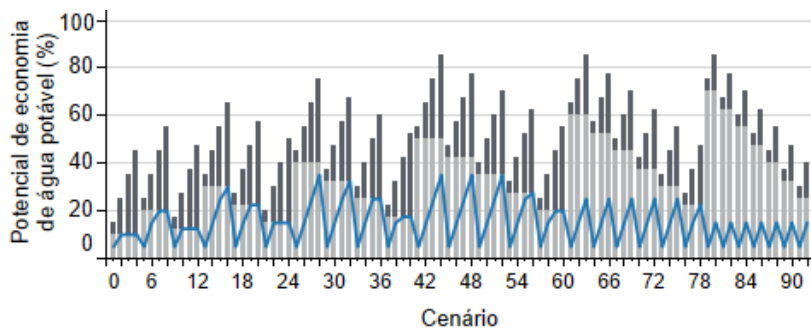
Figura B.3 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor público para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

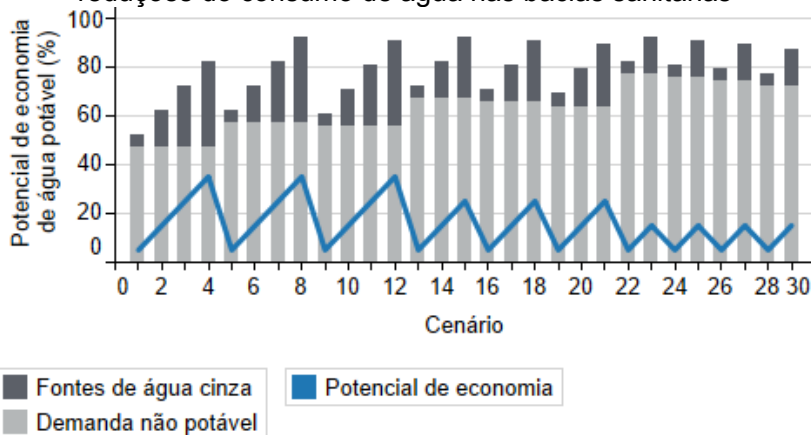


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

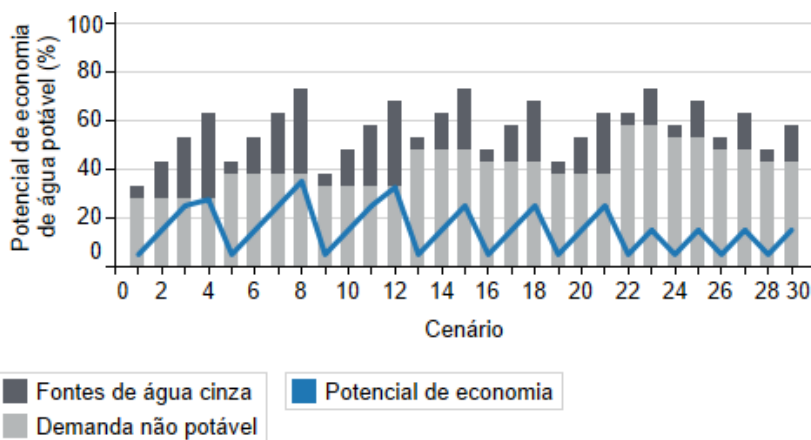


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

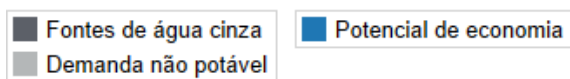
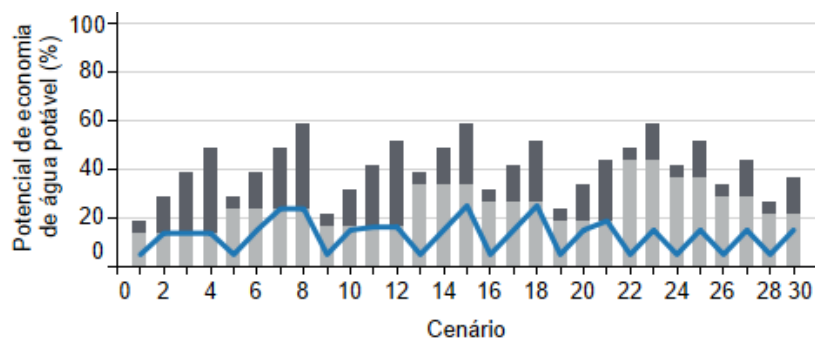
Figura B. 4 - Potencial de economia de água potável decorrente do reúso de água cinza no setor comercial para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

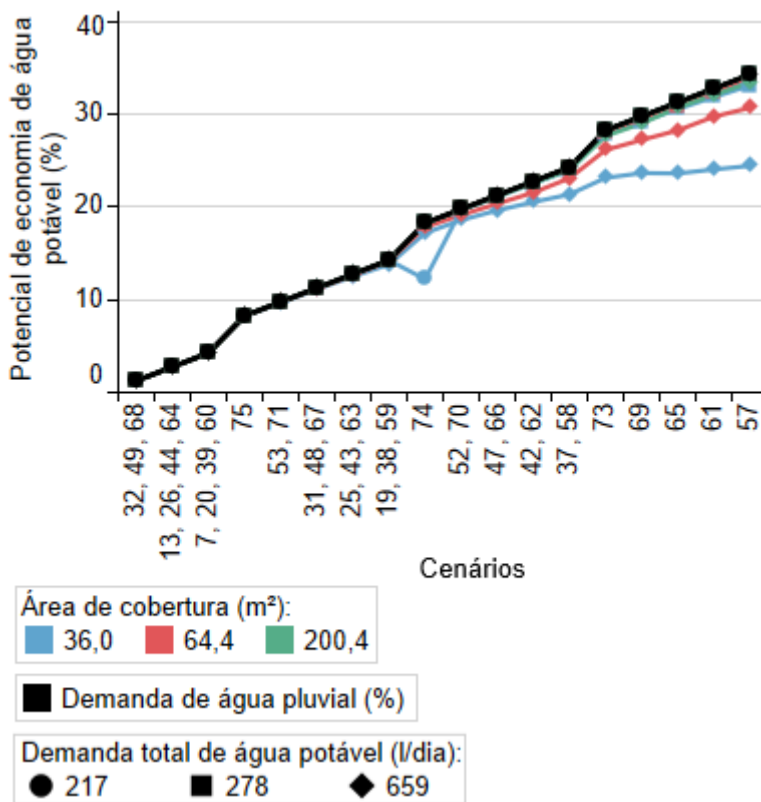


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

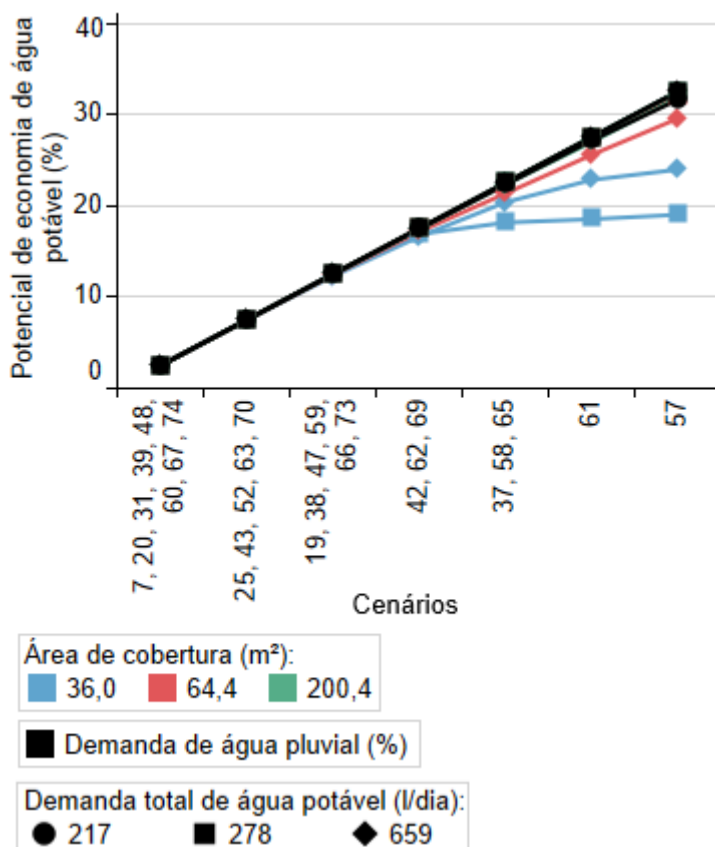


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

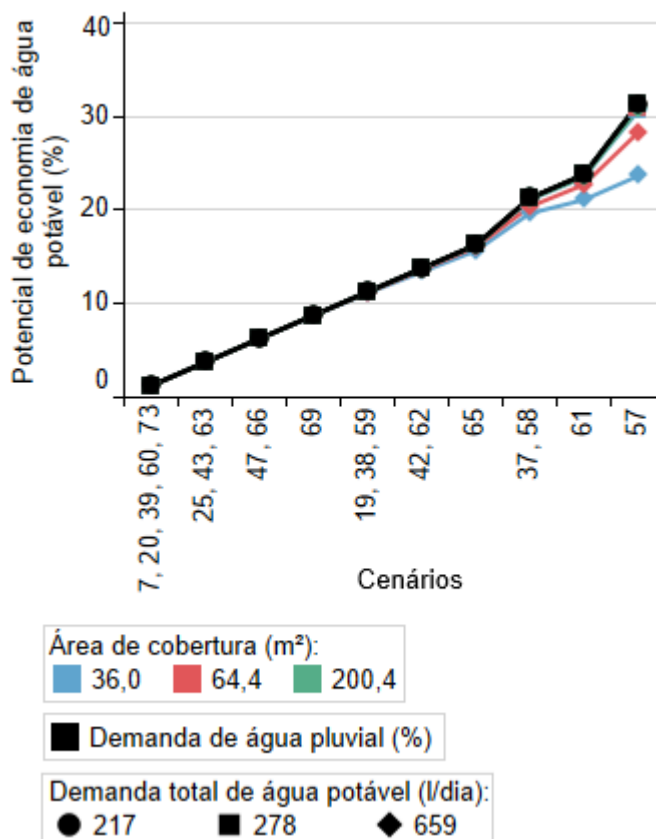
Figura B.5 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial unifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

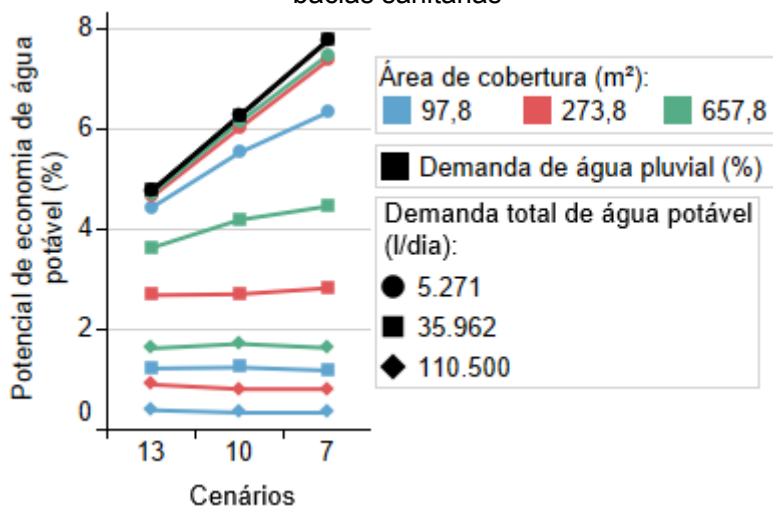


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

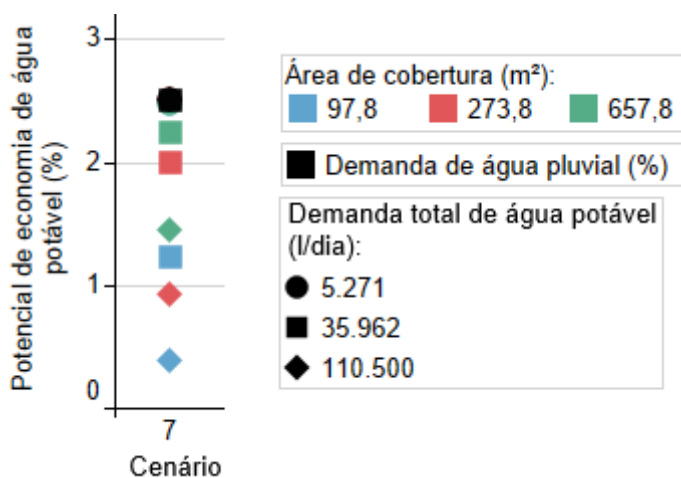


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

Figura B.6 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor residencial multifamiliar para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias

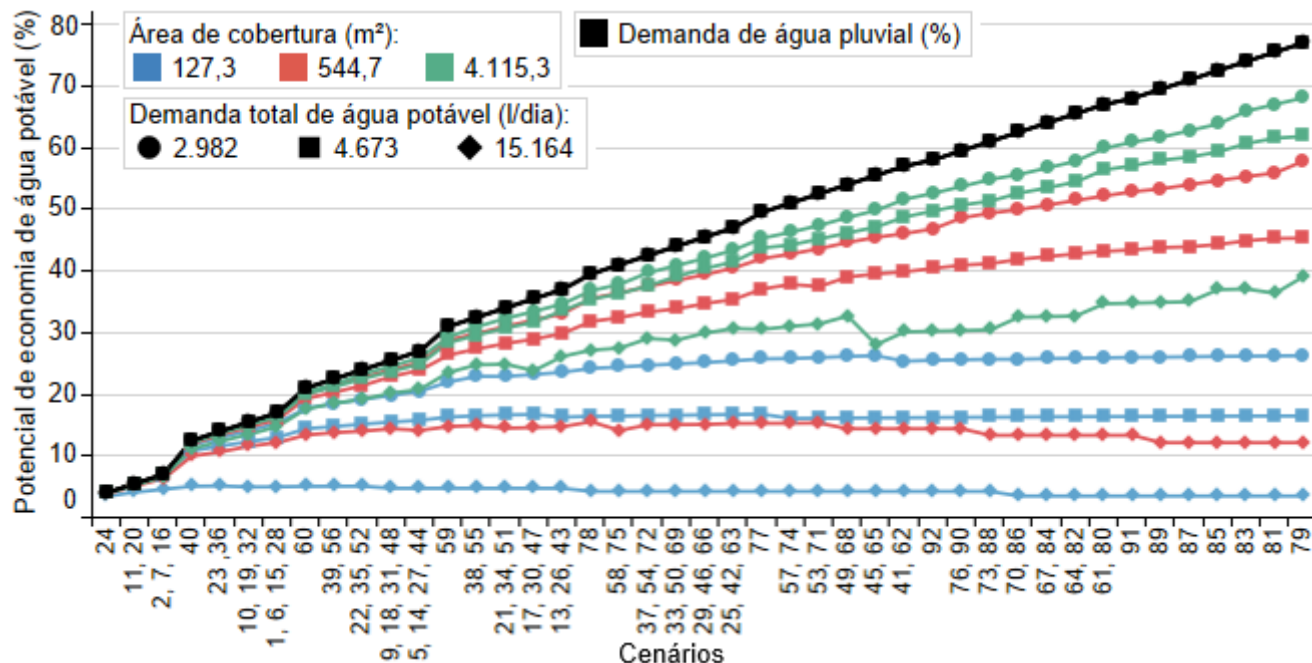


(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

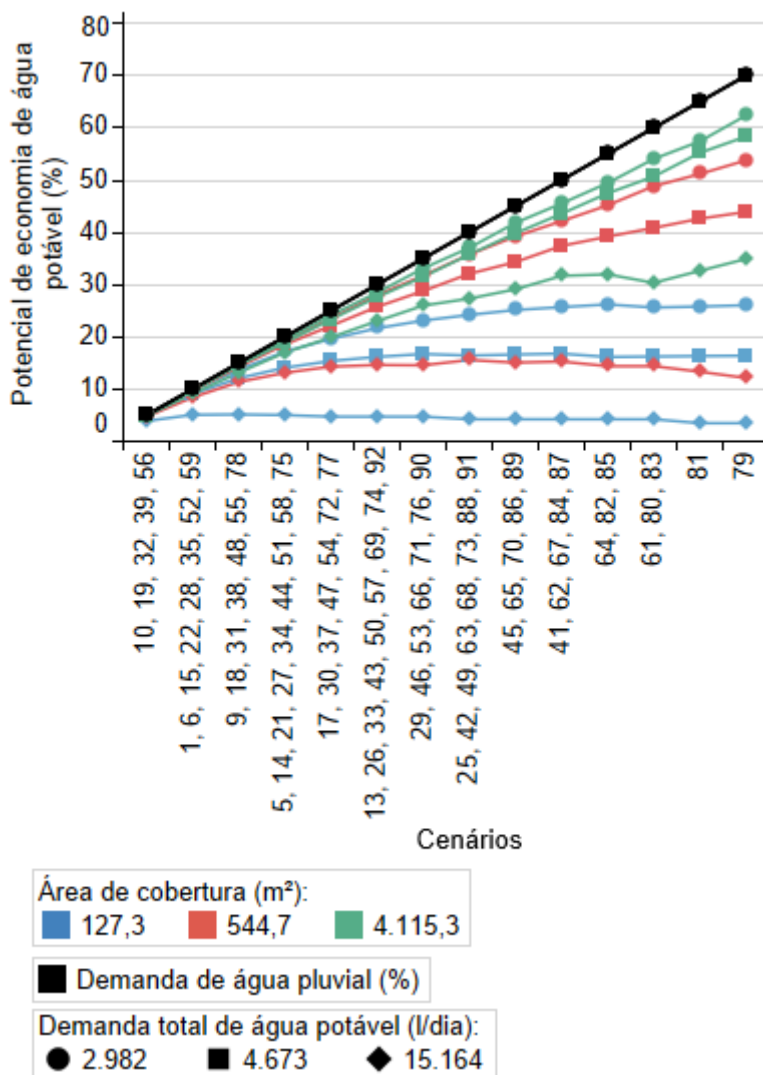


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

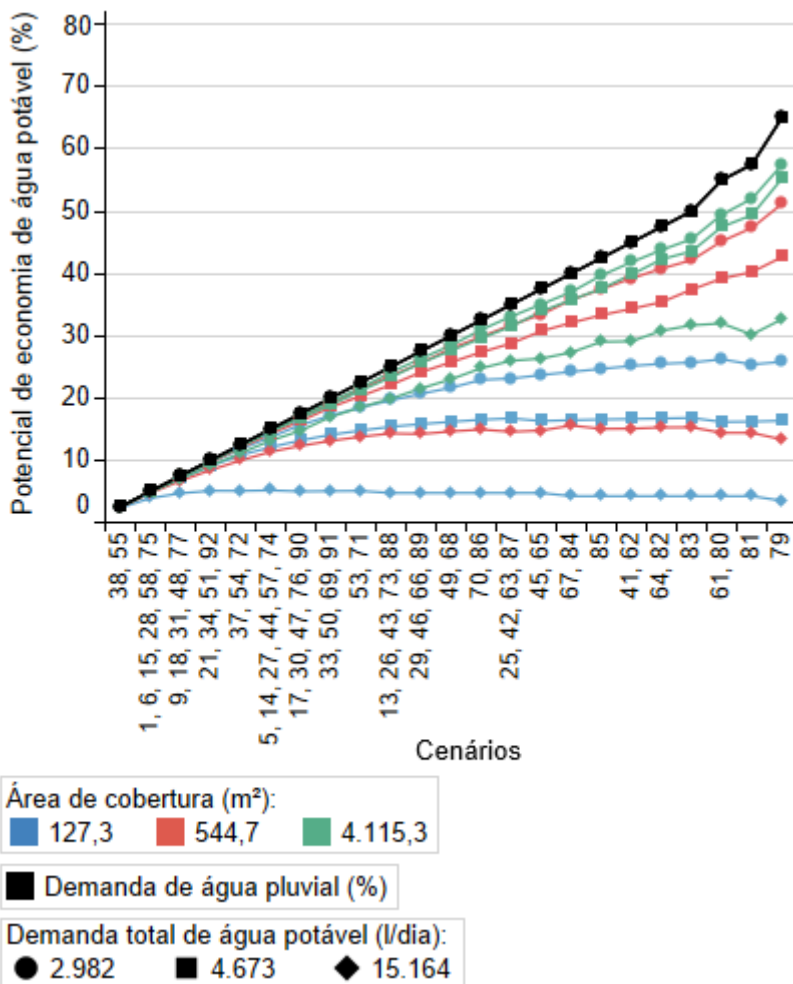
Figura B.7 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor público para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias

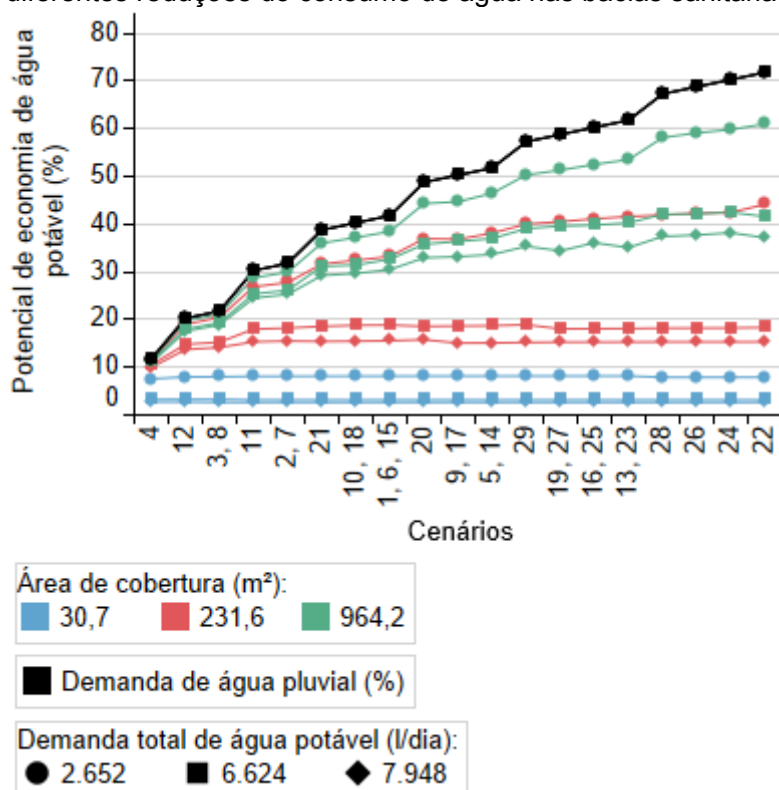


(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias

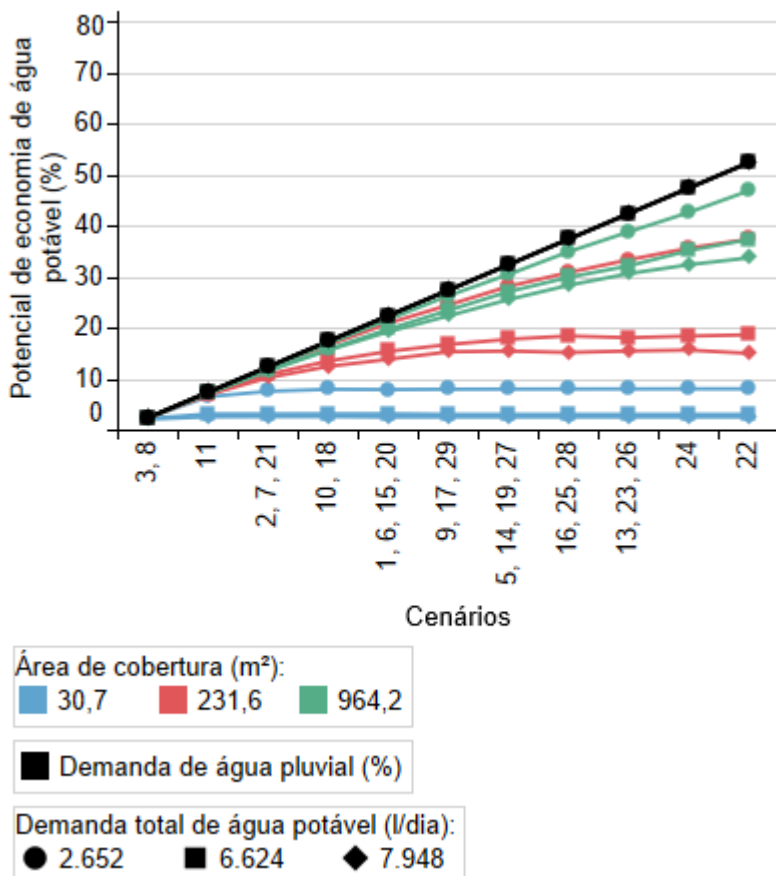


(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias

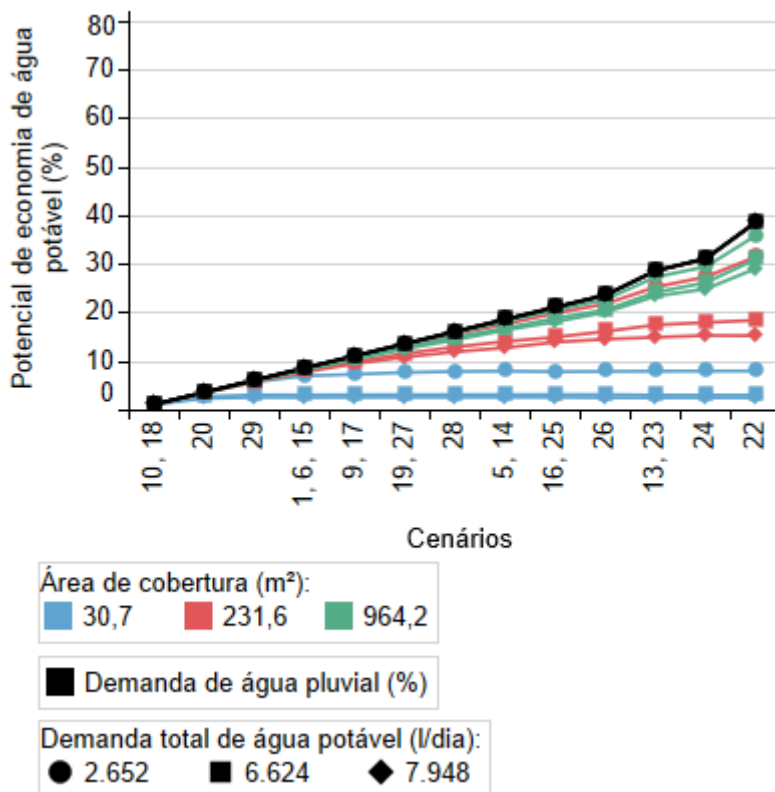
Figura B.8 - Potencial de economia de água potável decorrente do aproveitamento de água pluvial no setor comercial para diferentes reduções do consumo de água nas bacias sanitárias



(a) Redução de 15% do consumo de água nas bacias sanitárias



(b) Redução de 50% do consumo de água nas bacias sanitárias



(c) Redução de 75% do consumo de água nas bacias sanitárias