

Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações

Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de
viabilidade técnica, ambiental e econômica

RELATÓRIO FINAL 2/2017

Relatório técnico apresentado para a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
Convênio ADASA/UnB – DODF: 197.000.977/2015

Autoria
Daniel Richard Sant'Ana
Lídia Batista Pereira Medeiros
Karla Cristina Ferreira Alvares

Maio de 2017



Universidade de Brasília

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico

Coordenação: Daniel Richard Sant'Ana
Chenia Rocha Figueiredo Ávila

Consultores: Marco Antonio Almeida de Souza
Pierre Mazzega Ciamp

Pesquisadores: Bruna Valverde de Moraes
Claudiana Lopes Maciel
Gabriel França Neves
Karla Cristina Ferreira Alvares
Lídia Batista Pereira Medeiros
Miguel de Almeida Pereira
Natália Totugui de Miranda
Paula Maria Santana
Susanna Almeida dos Santos

Apoio Técnico: Francisco Neto da Silva Junior
Valmor Cerqueira Pazos

Código

Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações: princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica / Daniel Richard Sant'Ana (coordenador). Brasília, 2017. p.

Reúso-DF: aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações do Distrito Federal. Relatório Final 2/2017.

ISBN

1.Aproveitamento de águas pluviais. 2.Reúso de águas cinzas. 3.Conservação de água. 4.Saneamento Ambiental. 5.Recursos Hídricos. 6.Políticas Públicas. I. Sant'Ana, Daniel. II. Medeiros, Lídia

Sumário

1.	Apresentação.....	1
2.	Introdução.....	4
3.	Metodologia.....	8
3.1.	Composição de modelos representativos.....	8
3.2.	Análise de viabilidade técnica.....	8
3.3.	Análise de viabilidade ambiental.....	9
3.4.	Análise de viabilidade econômica.....	12
4.	Composição de Modelos Representativos.....	15
4.1.	Renda familiar.....	15
4.2.	Número de Moradores.....	16
4.3.	Tipologia residencial.....	16
4.4.	Demanda de água.....	18
4.4.1.	Consumo predial.....	18
4.4.2.	Usos finais de água.....	20
5.	Análise de Viabilidade Técnica.....	23
5.1.	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais.....	23
5.2.	Sistemas de reúso de águas cinzas.....	24
6.	Análise de Viabilidade Ambiental.....	27
6.1.	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais.....	27
6.2.	Sistemas de reúso de águas cinzas.....	36
7.	Análise de Viabilidade Econômica.....	43
7.1.	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais.....	43
7.2.	Sistemas de reúso de águas cinzas.....	52
8.	Propostas de Políticas Tarifárias.....	58
9.	Conclusão.....	66
	Referências Bibliográficas.....	69

Lista de Tabelas

Tabela 1: <i>Enquadramento de modelos representativos e demanda de água por Região Administrativa</i>	12
Tabela 2: <i>Vida útil de componentes hidráulicos.</i>	13
Tabela 3: <i>Renda média por Região Administrativa</i>	15
Tabela 4: <i>Tipologias residenciais por faixas de renda.</i>	17
Tabela 5: <i>Usos finais do consumo interno por faixa de renda.</i>	22
Tabela 6: <i>Usos finais do consumo externo por faixa de renda</i>	22
Tabela 7: <i>Potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais.</i>	30
Tabela 8: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	33
Tabela 9: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	35
Tabela 10: <i>Potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas.</i>	37
Tabela 11: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	40
Tabela 12: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	40
Tabela 13: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-baixa com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	42
Tabela 14: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda baixa com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	42
Tabela 15: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda alta.</i>	44
Tabela 16: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-alta.</i>	45
Tabela 17: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa.</i>	45
Tabela 18: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda baixa.</i>	46
Tabela 19: <i>Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	49
Tabela 20: <i>Economia gerada nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	50

Tabela 21: <i>Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	50
Tabela 22: <i>Economia gerada nos modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	51
Tabela 23: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda alta.</i>	54
Tabela 24: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-alta.</i>	54
Tabela 25: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-baixa.</i>	55
Tabela 26: <i>Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda baixa.</i>	55
Tabela 31: <i>Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	57
Tabela 32: <i>Economia gerada nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	57
Tabela 29: <i>Estrutura tarifária residencial por faixa de consumo.</i>	58
Tabela 30: <i>Valor médio economizado nas despesas de exploração de recursos hídricos por residência de alta renda.</i>	60
Tabela 31: <i>Valor médio economizado nas despesas de exploração de recursos hídricos por residência de média-alta renda.</i>	61

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Consumo médio mensal de água e umidade relativa</i>	18
Figura 2: <i>Diagrama de dispersão do consumo per capita</i>	19
Figura 3: <i>Consumo per capita médio por faixa de renda familiar</i>	19
Figura 4: <i>Usos-finais do consumo interno</i>	20
Figura 5: <i>Coluna de água independente (a) que permite fácil adaptação predial; e coluna de água ramificada (b) que necessita de reforma predial para o uso não potável de água.</i>	24
Figura 6: <i>Possíveis adaptações prediais para a coleta de águas cinzas</i>	26
Figura 7: <i>Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda alta.</i>	28
Figura 8: <i>Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-alta.</i>	28
Figura 9: <i>Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-baixa.</i>	29
Figura 10: <i>Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda baixa.</i>	29
Figura 11: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	32
Figura 12: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	34
Figura 13: <i>Potencial de redução de exploração dos recursos hídricos pelo uso de sistemas de reúso de águas cinzas em residências de renda alta.</i>	38
Figura 14: <i>Potencial de redução de exploração dos recursos hídricos pelo uso de sistemas de reúso de águas cinzas em residências de renda média-alta</i>	39
Figura 15: <i>Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-baixa e renda baixa com o uso de tonel e balde.</i>	41
Figura 16: <i>Economia gerada pelos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	47
Figura 17: <i>Economia na exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.</i>	48
Figura 21: <i>Economia na exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.</i>	56
Figura 22: <i>Redução do consumo de água potável pelo uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais</i>	64
Figura 23: <i>Relação entre o volume de esgoto tratado, faturado e as despesas de exploração no DF</i>	64

1. Apresentação

Aproveitar a água da chuva de telhados ou até mesmo reutilizar água do enxague de máquinas de lavar roupa para molhar jardins e lavar pisos, é uma prática comum que vem sendo realizada há anos em muitas residências brasileiras de maneira rústica, como alternativa para reduzir os gastos com a conta de água. No desenrolar das últimas duas décadas, houve um aumento na procura e na oferta de sistemas hidráulicos que facilitem o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em diversos usos não-potáveis nas mais variadas tipologias de edificações. No Brasil, a comercialização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas iniciou-se no começo dos anos 2000 e, mesmo com uma viabilidade ainda não-comprovada, observamos, a cada ano, edificações implementando estes sistemas prediais de água não-potável em prol da sustentabilidade.

Dessa maneira, surge um novo modelo de abastecimento descentralizado no país, que faz uso de fontes alternativas de água em usos não-potáveis. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas são capazes de promover reduções significativas no consumo predial e de garantir um abastecimento contínuo nas principais atividades consumidoras de água em caso de cortes no abastecimento público - como foi observado na crise hídrica de 2014 que assolou a região sudeste do país. Esta medida, tomada em larga escala, é capaz de reduzir os impactos gerados pela exploração de recursos hídricos. Se de um lado, a prática do aproveitamento e do reúso de água é impulsionada por questões relativas à baixa disponibilidade hídrica e pelo constante aumento na demanda por água, de outro lado, seus custos de investimento podem gerar uma barreira para sua implementação.

Apesar da ausência de incentivos fiscais e econômicos para subsidiar uma rápida disseminação destas tecnologias, o poder legislativo e os órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) vêm apresentando uma série de leis e resoluções que estimulam, direta ou indiretamente, o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de água em edificações. Como por exemplo, a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que oferece um respaldo legal para a prática do reúso de água no ambiente construído. Ou no caso do Distrito Federal, com Leis Distritais que tornam obrigatório a captação, armazenamento e utilização das águas pluviais em novas construções urbanas para a concessão de habite-se.

Com isso, gestores públicos vêm direcionando sua atenção a essa nova realidade com o intuito de avaliar o nível de contribuição que estas tecnologias são capazes de promover nos serviços de saneamento e na gestão sustentável de recursos hídricos. O sucesso destes sistemas depende, não apenas de fatores econômicos, mas também da saúde e bem-estar de usuários, que está diretamente ligada aos critérios de segurança e qualidade de água, operação e manutenção do sistema hidráulico. Em prática, observa-se que proprietários, empreiteiros, projetistas e gestores prediais têm tido relativamente pouca orientação sobre os cuidados necessários para o aproveitamento de águas pluviais e para o reúso de águas cinzas em edificações, o que dificulta a tomada de decisões sobre a seleção e concepção dos sistemas, podendo levar, à sua rejeição ou a uma instalação predial inadequada.

Este documento é o segundo de uma série de relatórios resultantes do projeto de pesquisa *Reúso-DF*, fruto de um convênio entre a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal – ADASA e a Universidade de Brasília – UnB, que busca verificar a viabilidade de sistemas prediais voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias edilícias do Distrito Federal. O projeto de pesquisa *Reúso-DF* está dividido em duas fases para uma análise de viabilidade de diferentes sistemas prediais de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em diversas tipologias de edificações urbanas, categorizadas de acordo com sua função:

- **Fase I: Edificações Residenciais**
 - Edificações Residenciais Unifamiliares
 - Edificações Residenciais Multifamiliares

- **Fase II: Edificações Não-Residenciais**
 - Edificações Hoteleiras
 - Edificações Comerciais
 - Edificações de Escritórios
 - Edificações de Ensino
 - Edificações de Saúde
 - Edificações de Transporte
 - Edificações Industriais

Os resultados desta pesquisa servirão de respaldo para regulamentação e uma possível normatização desta prática, apresentando subsídios técnicos para a construção de uma política pública voltada à gestão da demanda urbana de água, desenvolvimento de um guia de boas-práticas e ferramentas *online* que possam auxiliar a população geral na tomada de decisões para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

Dentro deste contexto, este relatório técnico apresenta resultados parciais da primeira fase do projeto *Reúso-DF*, que tem como objetivo analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e de reúso de águas cinzas (RAC) em edificações residenciais do Distrito Federal.

Água pluvial, ou água de chuva, é um recurso renovável que abastece, direta ou indiretamente, reservatórios, rios e aquíferos com água doce. O aproveitamento de águas pluviais é um conceito simples, que, ao invés de deixar escoar, a água da chuva captada por uma superfície impermeável é armazenada e utilizada como fonte alternativa de abastecimento. O termo ‘reúso’ ou ‘reutilização’ é popularmente usado para expressar o aproveitamento de águas pluviais em edificações. Porém, é importante ressaltar que águas pluviais não são submetidas ao reúso, pois ainda não foram utilizadas. Em função da qualidade da água, este projeto tem foco na captação de águas pluviais de coberturas para aproveitamento em usos não-potáveis.

Águas cinzas são efluentes gerados nos processos de limpeza e lavagem. O reúso de águas cinzas é um conceito que está relacionado ao reaproveitamento de efluentes domésticos com baixo grau de contaminação, provenientes de chuveiros, lavatórios e lavanderia. Efluentes de pias de cozinha e máquinas de lavar louças contém um alto índice de carga orgânica de restos de comida e de gordura,

o que exige um tratamento elevado para seu reúso – o mesmo tipo de tratamento voltado para o reúso de águas residuárias. Portanto, os efluentes dessas fontes foram desconsiderados para análise, por fugir do escopo da pesquisa. Este relatório não contém informações relativas ao tratamento de águas residuárias para reúso não-potável.

O estudo tem como foco para análise, sistemas AAP e RAC descentralizados, que realizam o aproveitamento de águas pluviais ou de reúso de águas cinzas a nível da edificação, e desconsidera sistemas centralizados de grande escala – estações de tratamento para abastecimento público. Vale a pena ressaltar que águas pluviais e águas cinzas, podem passar por processos de tratamento de água capazes de alcançar níveis de potabilidade para consumo humano segundo critérios estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Porém, dadas as restrições estabelecidas pela Lei Federal nº 11.445/2007, que proíbe a ligação de fontes alternativas de abastecimento de água em instalações prediais urbanas conectadas à rede pública, este relatório não aborda esta temática.

Esta investigação, de caráter imparcial, não pretende recomendar ou desacreditar qualquer tipo de sistema em particular, mas sim, de fornecer informações e orientações gerais para apoiar na tomada de decisões voltadas para a regulamentação da prática do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de águas cinzas.

2. Introdução

O Distrito Federal vivenciou uma crise hídrica sem precedentes em sua história. A seca de 2016 reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios do Distrito Federal, fazendo com que a Barragem do Descoberto, que abastece cerca de 65% da região, chegasse a menos de 20% de sua capacidade (ADASA, 2016). Como uma medida emergencial, iniciou-se um regime de racionamento por rodízio de abastecimento em algumas regiões do Distrito Federal e de reestruturação tarifária por contingência fiscal até que se alcance um nível satisfatório de água nos reservatórios para garantir a segurança hídrica da região (CAESB, 2016). Estas medidas de curto prazo, são paliativas ao verdadeiro problema sendo enfrentado. A realidade, é que o Distrito Federal apresenta uma disponibilidade hídrica limitada para sua crescente demanda por água.

Nos últimos anos, a concessionária vem operando no limite de sua capacidade de produção, sem margem de segurança. Evidentemente, qualquer aumento drástico no consumo de água ou redução significativa no regime de chuva, pode gerar um colapso em partes do sistema público de abastecimento. Ao atingir níveis preocupantes, grandes investimentos estão sendo realizados para a construção de novos sistemas produtores de água, elevando cada vez mais o volume de extração de água dos recursos hídricos locais. Para atender às necessidades da crescente demanda urbana, a concessionária local está promovendo a construção de novos sistemas produtores para captação de água no Ribeirão Bananal, Lago Paranoá e na Usina Hidroelétrica Corumbá IV (CAESB, 2014).

Observa-se, entretanto, que a gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal está focada em uma abordagem voltada para a oferta de água. Ou seja, na medida em que a demanda cresce, novas fontes hídricas são exploradas para suprir o consumo urbano de água. Está comprovado que a gestão focada apenas na exploração de fontes hídricas pode resultar em sérios danos ambientais e desperdício econômico de custo capital e operacional de novos sistemas produtores de água (HERRINGTON, 2006). Além de agredir o meio ambiente, a exploração de novas mananciais, cada vez mais distantes para atender demandas crescentes, geram custos adicionais à sociedade e às empresas de saneamento, elevando o volume de captação, tratamento e distribuição de água e pressionando o sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Torna-se imprescindível, neste momento, apresentar novas definições regulatórias para estimular a conservação de água pelo emprego de medidas que auxiliem o controle da demanda de água. Além de reduzir os impactos ambientais causados pela exploração de recursos naturais, estratégias conservadoras de água são capazes de minimizar a pressão em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além de gerar economias relativas aos seus custos operacionais. Porém, com o intuito de subsidiar o processo de tomada de decisão regulatória, torna-se necessário analisar os prováveis benefícios, custos e efeitos de diferentes estratégias de conservação de água.

Segundo Vickers (2001, p.5), estratégias de conservação de água são compostas por “*ferramentas específicas (tecnologias) e práticas (alteração do comportamento) que resultam no uso mais eficiente da água*”. A autora argumenta que o emprego de tecnologias voltadas a conservação de água geralmente são mais confiáveis para a obtenção de economia e controle sobre a demanda de água. Experiências internacionais demonstram que tecnologias voltadas ao uso não potável de água são

capazes de promover reduções significativas no consumo de água em edificações, atuando como ferramentas de gestão no controle da demanda urbana de água (DIXON *et al.*, 1999; YANG e ABBASPOUR, 2007).

Sistemas prediais de água não potável fazem uso de fontes alternativas de água promovendo um abastecimento alternativo em usos que não oferecem riscos à saúde humana em edificações. Dentre diferentes fontes alternativas para abastecimento não potável, destacam-se as águas pluviais e as águas cinzas. Em geral, o aproveitamento de água pluvial é um conceito simples, que envolve a coleta, o armazenamento e o uso da água de chuva como uma fonte complementar de abastecimento predial. Já o reúso de águas cinzas, é um conceito que está relacionado à reutilização de efluentes domésticos com baixo grau de contaminação, como uma alternativa conservacionista para a redução do consumo de água potável em edificações.

Porém, segundo De Oreo *et al.* (1996), a avaliação do desempenho de diferentes estratégias de conservação de água é dependente da compreensão dos usos finais do consumo de água. Embora uma variedade de estudos foi realizada em relação ao consumo doméstico de água e sua conservação nas edificações residenciais (LOH *et al.*, 2002; THACKRAY *et al.*, 1978; WEBSTER, 1972; ZHANG & BROWN, 2005), nenhum deles incorporou uma análise socioeconômica dos usos-finais do consumo doméstico de água entre as diferentes tipologias residenciais. No Brasil, a caracterização dos usos-finais do consumo doméstico de água ainda está na sua infância e dados generalizáveis ainda não foram produzidos. Um estudo analisou um apartamento de baixa renda em São Paulo (ROCHA *et al.*, 1998), outro estimou os usos-finais do consumo de água para duas casas (GHISI e FERREIRA, 2007) e três prédios residenciais (GHISI e OLIVEIRA, 2007) no sul do país, e Barreto (2008) realizou medições em sete residências em São Paulo com faixa de consumo mensal entre 15-20m³/mês.

Observa-se uma carência de dados específicos para os usos-finais do consumo doméstico de água para residências de baixa, média e alta renda para as diferentes tipologias residências brasileiras. Existe também, uma falta de informação em relação ao consumo doméstico de água e as características tipológicas residenciais brasileiras. Segundo Vieira *et al.* (2007, p. 193), usos-finais do consumo de água podem variar de “*país para país, de uma região para outra região e até mesmo de uma residência para outra*”. Para tanto, torna-se imprescindível buscar dados referentes à realidade local, especialmente das tipologias residenciais atípicas encontradas em Brasília.

Internacionalmente, a caracterização dos usos-finais do consumo doméstico de água possibilitou uma série de investigações sobre o potencial de redução do consumo de água de uma série de estratégias conservadoras de água e os custos-benefícios envolvidos (MADDAUS, 1984; GRIGGS *et al.*, 1998; ENVIRONMENT AGENCY, 2000). No Brasil, os estudos realizados até hoje têm sido limitados à economia de água gerada utilizando sistemas de aproveitamento de águas pluviais (GHISI, 2006; JÚNIOR *et al.*, 2008) e de águas cinzas (GHISI & FERREIRA, 2007; GHISI & OLIVEIRA, 2007) no setor residencial.

Ao considerar a possibilidade de adaptar o estoque de edificações residenciais existentes em Brasília para o aproveitamento de água pluvial ou o reúso de águas cinzas como fonte alternativa de abastecimento de água não potável, torna-se imprescindível uma avaliação técnica, econômica e

ambiental para averiguar sua viabilidade. Diferentes estudos em países desenvolvidos avaliaram os custos e benefícios para diferentes sistemas prediais de água não potável (ex. MUSTOW *et al.*, 1997; BREWER *et al.*, 2001; ROEBUCK *et al.*, 2010). No entanto, esses países contêm uma realidade econômica favorável, diferente a de países em desenvolvimento. No Brasil, estudos verificaram o período de retorno de investimento (*payback*) de sistemas voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para duas casas e três edifícios residenciais no Sul do país. Outro estudo realizou uma análise custo-benefício usando valor presente líquido para casas em João Pessoa (JÚNIOR *et al.*, 2008). No entanto, há uma carência de informações referentes à viabilidade econômica no que se diz respeito às possíveis adaptações hidráulicas de edifícios residenciais existentes para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, especialmente no que se refere à tipologia residencial típica de Brasília.

A instalação de um sistema predial de água não potável exige um determinado nível de investimento por parte do proprietário do imóvel. Evidentemente, sistemas viáveis promoverão um retorno financeiro do investimento por meio das economias geradas pelas contas de água e esgoto. Mesmo assim, um alto custo de investimento pode desestimular proprietários, mesmo se o sistema for capaz de promover economias significativas pela conservação de água. Em prol da preservação dos recursos hídricos em busca de um desenvolvimento sustentável, ou até mesmo em situações de estresse hídrico, faz sentido promover ações que estimulem a conservação de água em edificações.

Por um lado, incentivos fiscais e financeiros aos proprietários que utilizam sistemas prediais de água não potável podem subsidiar uma rápida disseminação destas tecnologias. Por outro lado, uma cobrança adicional relativa ao tratamento dos efluentes gerados pelos sistemas, pode gerar uma barreira para implementação, ao desestimular proprietários a investirem nessas tecnologias. Como exemplo, o lançamento de efluentes não contabilizados pelo hidrômetro da unidade, como no caso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em descarga sanitárias ou lavagem de roupas, pode gerar um custo adicional para a concessionária.

Mas, se realizado em larga escala, o aproveitamento de águas pluviais ou o reúso de águas cinzas em edificações pode ser capaz de promover reduções significativas na demanda urbana de água e, conseqüentemente, nas despesas de exploração de recursos hídricos. Em outras palavras, as economias geradas pelas reduções na demanda de água podem servir de subsídio para políticas tarifárias voltadas à conservação de água.

Tendo essas questões em mente, o principal objetivo desta pesquisa foi de analisar, em diferentes escalas, a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em edificações residenciais no Distrito Federal e, com isso, propor diretrizes de regulamentação e política pública voltada à preservação de recursos hídricos.

Para tanto, este estudo apresenta-se em duas etapas. A primeira etapa, presente neste Relatório 1/2017, tem o objetivo de apresentar recomendações de padrões de qualidade de água para usos não potáveis em edificações, critérios de instalação hidráulica e cuidados de manutenção de sistemas prediais voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para garantir a saúde e bem-estar de usuários.

A segunda etapa (Relatório 2/2017), tem o objetivo de analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, verificando o potencial de redução do consumo de água e as economias geradas nas despesas de exploração de recursos hídricos, apresentando alguns princípios de políticas tarifárias voltadas ao incentivo fiscal para estimular o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações residenciais no Distrito Federal.

3. Metodologia

Com o intuito de atingir os objetivos traçados, esta pesquisa incorporou metodologias quantitativas e qualitativas para a coleta de dados primários das principais tipologias residenciais do Distrito Federal e, com isso, compor modelos representativos baseados em médias estatísticas para as análises de viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas.

3.1. Composição de modelos representativos

A fim de explorar a relação entre consumo doméstico de água, tipologia residencial e renda familiar, essa pesquisa incorporou abordagens metodológicas quantitativas e qualitativas para coleta de dados primários. A primeira abordagem fez uso de questionários capaz de reunir variáveis tipológicas, socioeconômicas e do consumo de água ao longo de uma amostragem aleatória estratificada de 481 residências. Dados relativos ao número de moradores, renda familiar, área construída, área verde, área de cobertura, instalações hidráulicas, amenidades de água, consumo predial, hábitos de consumo e equipamentos usados, auxiliaram na primeira etapa para a composição de modelos representativos das principais tipologias residenciais do DF. A segunda abordagem se apropriou de técnicas de auditoria hidráulica para realizar medições específicas dos usos finais de água em 125 residências. Um período de monitoramento de sete dias foi escolhido principalmente porque determinados hábitos de consumo de água tendem a ter um ciclo semanal com atividades relacionadas à faxina, como lavagem de roupas, lavagem de pisos e limpeza em geral.

Além de compor quatro modelos representativos para residências de renda alta, média-alta, média-baixa e baixa, o levantamento possibilitou um *benchmarking* do consumo doméstico de água, assim como a compreensão dos hábitos de consumo dos moradores e a identificação dos usos-finais do consumo doméstico de água para as diferentes faixas de renda do Distrito Federal e suas tipologias residenciais. Uma análise de correlação e regressão múltipla foi realizada, a fim de estimar a demanda do consumo interno de água em função do número de moradores, renda familiar, custo da água e área construída. Foi estimada também, a demanda do consumo externo de água como uma função do custo de água e área de jardim.

3.2. Análise de viabilidade técnica

Para a análise de viabilidade técnica, foi examinado diferentes possibilidades de adaptação predial voltada ao aproveitamento de águas pluviais e ao reúso de águas cinzas em casas e prédios de apartamentos. Com as informações coletadas referentes às diferentes composições hidráulicas das instalações prediais existentes de água fria, águas pluviais e esgoto sanitário, foram avaliadas diferentes possibilidades de adaptação predial para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas. Esta análise buscou soluções simples e eficazes, evitando grandes reformas prediais na instalação de sistemas isolados e sistemas integrados.

A avaliação para adaptação predial focou em examinar a composição hidráulica das redes coletoras de águas pluviais e esgoto sanitários, e das redes de distribuição de água existentes. No caso de sistemas isolados, que focam na distribuição de água não potável em usos externos (irrigação e

lavagem de pisos), uma nova rede de tubulações pode ser facilmente instalada. Porém, sistemas integrados, que fazem a distribuição de água não potável em usos externos e internos (descarga sanitária e lavagem de roupas) podem exigir níveis elevados de reforma predial na rede de água fria. Para tanto, averiguou-se a possibilidade de adaptação predial por intervenções pontuais em nível de barrilete ou, no caso de prédios residenciais, em *shafts* da rede de água fria.

Para avaliar a adaptação predial de sistemas de aproveitamento de águas pluviais averiguou-se a existência de rede coletora de águas pluviais e possíveis adaptações para o desvio das águas captadas pela cobertura para tratamento e armazenagem. Para sistemas de reúso de águas cinzas, foi realizado uma vistoria da rede de esgoto sanitário, buscando identificar possíveis pontos de segregação de águas cinzas, trechos distintos e, no caso de prédios residenciais, tubos de queda de esgoto secundário de lavanderia. Ambos os sistemas prediais necessitam de um espaço mínimo destinado à instalação de reservatórios e unidades de tratamento. Para tanto, averigou-se a existência de um espaço mínimo que pudesse abrigar essas condições, mais especificamente, espaço voltado a cisternas de sistemas AAP e leitos cultivados de sistemas RAC.

As características típicas das instalações hidráulicas prediais foram agregadas em um modelo representativo para servir de base na avaliação dos custos e benefícios financeiros de diferentes sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

3.3. Análise de viabilidade ambiental

A análise de viabilidade ambiental desta pesquisa está dividida em duas etapas. A primeira etapa, faz uma análise do potencial de redução do consumo de água predial baseada nos modelos representativos, na escala da edificação. A segunda etapa, verifica o potencial de redução da demanda por água os benefícios ambientais gerados pela redução da exploração de recursos hídricos.

Com os dados primários referentes a número de moradores, área construída, área verde, área de cobertura e indicadores de usos finais internos e externos presentes nos modelos representativos de cada tipologia residencial, o potencial de redução do consumo de água dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas puderam ser estimados baseados em simulações de oferta e demanda de água.

Em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o volume de armazenamento do reservatório de retenção (cisterna) tem um papel fundamental nos custos e no potencial de redução do consumo de água. Para tanto, foram realizadas simulações baseadas em intervalos de tempo diários usando um modelo comportamental (Equação 1) com a regra operacional ‘uso após extravasão’ (*yield after spillage*) da Equação 2 para identificar as economias geradas por diferentes capacidades de reservatórios.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (1)$$

Sujeito a $0 \leq V_{t-1} \leq C$

V_t = Água pluvial armazenada no intervalo de tempo, t

V_{t-1} = Água pluvial armazenada no intervalo de tempo, $t-1$

Q_t = Oferta de água pluvial no intervalo de tempo, t

D_t = Demanda de água pluvial no intervalo de tempo, t
 C = Capacidade de armazenamento

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad (2)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ C \end{array} \right.$$

Y_t = Coleta de água pluvial no intervalo de tempo, t

No que se diz respeito ao potencial de redução do consumo de água pelo reúso de águas cinzas, um balanço entre a oferta e a demanda de águas cinzas foi realizado conforme resultados obtidos no levantamento dos usos-finais do consumo predial de água. Para sistemas comercialmente disponíveis, as unidades de tratamento foram determinadas de acordo com a estimativa do volume diário de águas cinzas a serem tratadas. Em sistemas de reúso por leitos cultivados, as dimensões do tanque têm um papel fundamental nos custos e no potencial de redução do consumo de água. Para o dimensionamento dos leitos cultivados, estimou-se a vazão de entrada em m³/dia das águas cinzas utilizou a Equação 3.

$$\bar{Q} = \frac{p \times q \times r}{1000} \quad (3)$$

Onde:

\bar{Q} = Vazão média do efluente doméstico (m³/dia)

p = Número de contribuintes (pessoa)

q = Cota per capita de água (litro/pessoa/dia)

r = Coeficiente de retorno

Para obtenção dos valores de coeficiente de retorno ($r = 80\%$) do consumo local de água, utilizou-se a norma técnica NBR 7229/1993 (ABNT, 1993). Para se obter o volume demandado do sistema considerou-se o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 3 dias. Utilizando como substrato brita e areia grossa, a porosidade média aplicada na equação 2 foi de 0,45%. (DNIT, 2006; METCALF & EDDY, 2003).

$$V_s = \frac{TDH \times \bar{Q}}{\alpha} \quad (4)$$

Onde:

V_s = Volume mínimo de substrato (m³)

TDH = Tempo de detenção hidráulica (dia)

\bar{Q} = Vazão média diária de esgoto (m³/dia)

α = Porosidade média do meio suporte

A profundidade aplicada para se obter a área superficial foi de 0,80 m, intercalando camadas de 0,30 m de brita, com 0,15 de área, finalizando com 0,15 de brita (MANJATE *et al.*, 2014). Sezerino e Philippi (2003) obtiveram remoção de DBO de 87%, DQO de 76% e 94% para nitrogênio. Utilizando areia e brita Sezerino, (2006) obteve 94% para sólidos suspensos, 80% para DBO, 72% para DQO e 73% para amônia. No sistema, foram considerados 2 tanques, no qual um deve ficar em repouso com o outro em funcionamento. Essa medida é recomendada para que o sistema aguente os picos de carga de poluentes lançados no horários de maior consumo de água nas residências, e também, é uma forma de evitar a colmatação (PLATZER *et al.*, 2016).

Por fim, a vegetação sugerida foram as nativas locais devido à maior facilidade de adaptação e crescimento nas condições climáticas existentes, por isso, a escolha das espécies macrófitas baseou-se nas espécies citadas nos trabalhos pesquisados, procurando a distribuição geográfica das mesmas pelo site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>, ao qual estão reunidas todas as informações registradas das espécies coletadas e catalogadas nos herbários de todo o país. As espécies sugeridas são *Cyperus sp*, *Elocharis sp*, *Typha domingensis*, *Canna indica* e *Heliconia hirsuta*.

Sistemas com tratamento por uso de leitos cultivados apresentam perdas de volume hidráulico por evapotranspiração que são dependentes do volume pluviométrico e temperatura da região. No período seco foram consideradas perdas em torno de 32%, conforme sugere Filho (2013). No período chuvoso não foram consideradas perdas, pois a vazão de saída por evapotranspiração é correspondente a de entrada por precipitação. Essa vazão pode ser obtida pela Equação 5:

$$Q_a - Q_e + P - ET = \frac{dV}{dt} \quad (5)$$

Onde:

Q_a = Vazão afluyente (m³)

Q_e = Vazão do efluente (m³)

P = precipitação (mm)

ET = evapotranspiração (mm)

$dV/dt = 0$; $dV/dL \neq 0$: entrada e saída do efluente permanente, gradualmente acelerado

Com base nos modelos representativos, o potencial de redução do consumo de água para cada estratégia analisada foi projetado para a escala urbana. Como ponto de partida, os modelos representativos foram enquadrados dentro de cada Região Administrativa (RA) do Distrito Federal em função de renda familiar e tipologia predominante. Dados estatísticos de renda familiar, nº de residências e tipologia predominante de cada RA foram extraídos do PDAD (2016).

Em seguida, dados referentes a demanda de água do ano de 2016 para cada Região Administrativa foram obtidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Com isso, foi possível verificar o consumo-base (*baseline*) médio das residências de cada RA em metro cúbico de água consumida por residência por ano (m³/res/ano). A Tabela 1 apresenta um resumo deste enquadramento e demanda de água por Região Administrativa. Por último, para averiguar os benefícios ambientais gerados pelos diferentes sistemas analisados, foi estimado o potencial de redução de exploração de recursos hídricos para cada RA, baseando-se nos resultados das simulações obtidos para cada modelo representativo.

Neste caso, foram averiguados o potencial de reduções de exploração de recursos hídricos em um cenário bastante otimista e utópico, averiguando qual seria o maior valor obtido para cada sistema caso fossem implementados em larga escala, em todas as residências existentes. Evidentemente que, para um planejamento estratégico, esses dados podem ser utilizados para diferentes cenários, traçando um plano de metas realistas a serem alcançados. Todavia, é importante ressaltar que, para a concessionária local, haveria uma queda na arrecadação de sua receita bruta pela redução do consumo predial de água caso ocorresse a disseminação destes sistemas em larga escala. Nesse caso, vale a

pena averiguar quais seriam os impactos mais agravantes na receita da concessionária, de modo a traçar políticas tarifárias viáveis economicamente, sem gerar prejuízos a empresa.

Tabela 1: Enquadramento de modelos representativos e demanda de água por Região Administrativa

Região Administrativa	Nº Salário Mínimo*	Faixa de Renda	Nº de Residências*	Tipologia Predominante*	Demanda de Água	
					(m ³ /res/ano)	(x10 ³ .m ³ /ano)
Brasília	15,73	RMA	79.485	multifamiliar	198	15.708
Gama	5,76	RMB	41.176	unifamiliar	137	5.660
Taguatinga	7,28	RMB	64.810	unifamiliar	159	10.336
Brazlândia	4,34	RB	15.376	unifamiliar	119	1.835
Sobradinho	7,20	RMB	19.143	unifamiliar	137	2.622
Planaltina	4,26	RB	54.596	unifamiliar	123	6.717
Paranoá	3,51	RB	12.502	unifamiliar	126	1.579
Núcleo Bandeirante	6,58	RMB	7.828	multifamiliar	140	1.098
Ceilândia	3,90	RB	139.395	unifamiliar	118	16.413
Guará	9,41	RMB	46.437	multifamiliar	161	7.463
Cruzeiro	9,31	RMB	9.633	multifamiliar	171	1.647
Samambaia	4,40	RB	69.647	unifamiliar	130	9.055
Santa Maria	4,15	RB	34.685	unifamiliar	136	4.714
São Sebastião	3,92	RB	28.830	unifamiliar	120	3.462
Recanto das Emas	3,68	RB	41.890	unifamiliar	107	4.475
Lago Sul	27,53	RA	9.373	unifamiliar	425	3.986
Riacho Fundo I	6,18	RMB	12.994	unifamiliar	138	1.798
Lago Norte	14,83	RA	11.816	unifamiliar	253	2.984
Candangolândia	5,68	RMB	4.801	unifamiliar	148	709
Águas claras	10,93	RMA	48.745	multifamiliar	211	10.284
Riacho Fundo II	3,96	RB	15.032	unifamiliar	139	2.085
Sudoeste/Octogonal	17,71	RMA	22.556	multifamiliar	169	3.822
Varjão	2,88	RB	2.292	unifamiliar	132	301
Park Way	19,89	RA	5.914	unifamiliar	342	2.025
Estrutural	2,50	RB	9.813	unifamiliar	89	875
Sobradinho II	7,36	RMB	29.042	unifamiliar	124	3.609
Jardim Botânico	15,07	RMA	8.027	unifamiliar	221	1.775
Itapoã	3,24	RB	17.583	unifamiliar	120	2.105
SIA	7,43	RMB	549	unifamiliar	148	81
Vicente Pires	10,92	RMA	20.206	unifamiliar	190	3.841
Fercal	2,89	RB	2.218	unifamiliar	98	217

Fonte: *PDAD (2015)

3.4. Análise de viabilidade econômica

Baseado nas redes hidráulicas características encontradas durante levantamento *in-loco*, buscou-se alternativas de simples intervenção e baixo custo de reforma para adaptação predial voltada ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias residenciais do DF. O modelo representativo serviu como base para a composição hidráulica de diferentes sistemas AAP e RAC e para o dimensionamento de tubulações, reservatórios e demais equipamentos hidráulicos. Com isso, foi possível quantificar o material hidráulico e orçar os custos de capital relativos a cada sistema, reforma e mão de obra. Custos operacionais foram determinados conforme o consumo de energia, manutenção e troca de componentes do sistema, conforme sua vida útil (Tabela 2).

Tabela 2: *Vida útil de componentes hidráulicos.*

Componente Hidráulico	Vida Útil Indicada*	Vida Útil Estimada
Tubulações em PVC	> 20 anos	30 anos
Bombas de Recalque	5-10 anos	7,5 anos
Filtros Pluviais	10-15 anos	12,5 anos
Válvulas Solenóide	5-10 anos	7,5 anos
Torneiras Bóia	10-15 anos	12,5 anos
Chaves Bóia	10-15 anos	12,5 anos
Reservatórios	> 20 anos	30 anos
Unidade de Tratamento	10-50 anos	30 anos

*Fonte: Leggett *et al.* (2001)

Considerando o potencial de redução do consumo de água encontrado para cada sistema, sua viabilidade econômica foi identificada por meio de três métodos de análise custo-benefício diferentes: (i) *payback* simples, (ii) valor presente líquido e (iii) custo incremental médio.

Supondo que para o público geral, o principal incentivo para investir em tecnologias de conservação de água seja para gerar economias financeiras e poupar dinheiro, uma análise do período de retorno financeiro foi realizada a fim de verificar quais sistemas AAP e RAC eram mais propensos a ser investido pelo público geral. A principal vantagem do método de análise por *payback* simples, é que ele fornece uma estimativa de fácil compreensão dos benefícios gerados por um sistema a partir do ponto de vista do cliente. O *payback* simples identifica o período de tempo (geralmente medido em anos), que leva para um investimento gerar benefícios financeiros suficientes para se pagar (Equação 6). Nesse caso, o menor período de retorno é considerado o melhor investimento, e períodos de retorno acima da vida útil do sistema são considerados opções inviáveis para investimento.

$$PBS = \frac{K}{[\sum_1^{12}(E_a \times C_a)] - C_o} \quad (6)$$

PBS = *Payback* simples (anos)

K = Custo capital de investimento (R\$)

E_a = Economia de água mensal (m³)

C_a = Custo de água mensal (R\$/m³)

C_o = Custo operacional anual (R\$)

Porém, o método de análise de *payback* simples não leva em conta a distribuição de custos e benefícios ao longo do tempo e ignora a economia financeira total gerada durante a vida útil de uma tecnologia de conservação de água. Contudo, uma análise do valor presente líquido do ciclo de vida de sistemas AAP e RAC foi realizada a fim de levar em conta todos os custos e benefícios relevantes durante sua vida útil ($t = 30$ anos), incluindo os ajustes do valor no tempo, t . A análise do valor presente do ciclo de vida permitiu uma comparação dos benefícios financeiros adquiridos ao longo da vida útil dos sistemas AAP e RAC, usando uma taxa de juros de 3% (Equação 7). Os valores referentes aos benefícios anuais (R\$/ano) foram calculados a partir do potencial de redução de consumo de água, encontrado na primeira parte do estudo, multiplicado pela alíquota cobrada em blocos tarifários por faixa de consumo pela concessionária local.

$$VPL = -K_0 + \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (7)$$

VPL = Valor presente líquido (R\$)
 K_0 = Custo capital no ano zero (R\$)
 B_t = Benefícios no ano, t (R\$/ano)
 C_t = Custos no ano, t (R\$/ano)
 i = Taxa de juro anual (%)
 n = Vida útil (anos)

Certamente, ao verificar resultados do valor presente líquido do ciclo de vida, quanto maior o valor presente líquido, maior será o benefício financeiro gerado pelo sistema ao longo de sua vida útil. Porém, esse método pode apresentar limitações ao comparar diferentes tecnologias de diferentes escalas, ou até mesmo de acrescentar benefícios ambientais gerados direta ou indiretamente. Portanto, uma análise de custo incremental médio foi realizada para comparar a rentabilidade de tecnologias de diferentes grandezas, nivelando resultados em um parâmetro de comparação de benefício financeiro por volume de água economizada, dentro do mesmo horizonte de tempo ($t = 30$ anos). Com isso, indicadores do valor econômico da conservação de água, em R\$/m³ foram gerados para ambos os sistemas AAP e RAC. O custo incremental médio pode ser identificado como o valor presente líquido de uma série de custos futuros de capital e de operação para uma determinada tecnologia que esteja gerando benefícios financeiros, dividido pela economia de água total para um determinado horizonte de tempo (Equação 8).

$$CIM = - \left[\frac{K - B + C_o}{E_a} \right] \quad (8)$$

CIM = Custo incremental médio (R\$/m³)
 K = VPL do custo capital (R\$)
 B = VPL dos benefícios (R\$)
 C_o = VPL dos custos operacionais (R\$)
 E_a = Economia de água total (m³)

Ao projetar a aplicação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em larga escala, podemos nos deparar com um cenário em que as reduções no volume de extração de água podem promover economias relativas às despesas no tratamento de água potável e esgoto sanitário. Com isso em mente, averiguou-se as economias geradas em função das reduções das despesas de exploração de água. Segundo a CAESB (2016, p.155), a Despesa de Exploração (DEX) é um indicador equivalente ao valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica, entre outros. Com isso, foi possível estimar as economias geradas pelas reduções nos volumes de exploração de água promovido pelos diferentes sistemas analisados utilizando o indicador DEX equivalente a R\$4,68 (CAESB, 2016).

Sistemas que aproveitam as águas pluviais em usos internos, como descarga sanitária e lavanderia, lançam no sistema de esgotamento sanitário um volume de água que não foi contabilizado pelo hidrômetro da unidade. Nesses casos, o valor de DEX não foi aplicado ao volume sendo lançado na rede de esgoto, apenas no volume de água potável sendo economizada. Baseado nos resultados obtidos, princípios de políticas tarifárias como ferramenta de incentivo fiscal voltada à sociedade e à preservação dos recursos hídricos são propostas.

4. Composição de Modelos Representativos

Para a análise de viabilidade técnica, foi realizado um levantamento quantitativo e qualitativo em oito Regiões Administrativas (RA's) do Distrito Federal para coleta de dados primários das principais características tipológicas de edificações residenciais de acordo com sua faixa de renda familiar. Com isso, foi possível identificar as principais configurações hidráulicas existentes e apresentar possíveis soluções para adaptação predial pela instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações existentes.

A abordagem adotada para avaliar o consumo doméstico de água foi através da seleção de Regiões Administrativas (RA's) estatisticamente representativas em termos do consumo de água, tipologia residencial e faixa de renda familiar. Com isso em mente, foram selecionadas duas RA's por faixas de renda em salários mínimos (s.m.): i) renda baixa - 1 a 5 s.m.; ii) renda média baixa - 5 a 10 s.m.; iii) renda média alta - 10 a 20 s.m.; e iv) renda alta - acima de 20 s.m.

As RA's Lago Norte e Lago Sul foram selecionadas para análise devido aos seus aspectos semelhantes (casas que variam de 220 m² a 400 m²), índice elevado de consumo de água (12,9 - 20,4 m³/mês/pessoa), e renda alta entre ~ 21,7 e ~ 26,5 salários mínimos, respectivamente. Brasília e Águas Claras foram selecionados para análise em função de sua tipologia residencial composta por prédios de apartamentos (de 60 m² a 120 m²) com rendimento mensal de ~ 12.05 s.m. As RA's Taguatinga e Candangolândia foram selecionados principalmente em função de sua tipologia dominante de casas, com áreas construídas que variam entre 60 m² e 120 m², e renda familiar entre ~ 8,3 e ~ 9,6 salários mínimos. Ceilândia e Samambaia detém o maior número de habitantes do DF e são, portanto, capaz de fornecer uma amostra representativa significativa para análise, contendo, predominantemente, casas com áreas construídas abaixo de 60 m² e uma baixa renda de ~ 2,41 e ~ 2,89 s.m, respectivamente.

4.1. Renda familiar

Durante a entrevista, moradores foram perguntados sobre a renda bruta de sua residência. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos por meio do levantamento quantitativo. No total, 12% dos entrevistados não sabiam ou se recusaram a fornecer sua renda mensal bruta. Dos que responderam, 2% das residências foram classificados como pobres (menos de R\$ 800 mensais), 23% apresentaram uma renda baixa (entre R\$ 800 e R\$ 4,000 por mês), 20% dos entrevistados tinham uma renda média baixa (entre R\$ 4,001 e R\$ 8,000), 18% uma renda média alta (entre R\$ 8,001 e R \$ 16.000) e 26% das habitações tinham uma renda alta (acima de R\$ 16.000 por mês).

Tabela 3: Renda média por Região Administrativa

Região Administrativa	Renda Familiar Média			Renda Per Capita Média		
	s.m.	R\$/mês	σ	s.m.	R\$/mês	σ
Lago Sul / Lago Norte	27,45	21.630	1,8	7,46	5.878	1,2
Brasília / Águas Claras	20,28	15.980	3,4	6,86	5.405	2,0
Taguatinga / Candangolândia	11,78	9.283	3,1	3,19	2.514	1,3
Ceilândia / Samambaia	4,35	3.428	2,1	2,27	1.788	1,9

s.m. - salário mínimo; σ - desvio padrão

4.2. Número de Moradores

No geral, observou-se um número médio de moradores equivalente a 4 pessoas por residência. Casas de renda alta, renda média baixa e renda baixa apresentaram uma média de 5 moradores por residência, enquanto apartamentos de renda média alta apresentaram, em média, 3 moradores por residência. Observou-se que a maioria das residências de renda alta e média alta tem empregadas para auxiliar nos serviços domésticos da moradia. Em alguns casos, as empregadas dormem na residência, em outros casos, elas retornam ao seu lar todos os dias. Em ambos os casos, as empregadas foram contabilizadas como moradores da residência, por contribuírem significativamente no consumo doméstico de água. Em residências de renda alta, foi comum encontrar caseiros ou jardineiros prestando serviços de manutenção e jardinagem. Em geral, a grande maioria prestava serviços com uma frequência aleatória e, portanto, não foram contabilizados na população da edificação. Poucas residências de renda média baixa tinham empregadas domésticas e nenhuma habitação de baixa renda apresentou uma empregada.

4.3. Tipologia residencial

Em geral, as residências das RA's Lago Sul e Lago Norte apresentaram características de construções térreas (65%) ou sobrados de dois pavimentos (35%) com uma área construída média equivalente a 427m². Em média, os lotes das RA's Lago Sul e Lago Norte contém uma área equivalentes a 1738m² com áreas verdes jardinadas de 1.364m² e projeções de 373m². Quase todas as casas possuem uma edícula com uma churrasqueira ou espaço gourmet próxima a uma piscina (volume médio de 53m³).

Todas as residências analisadas nas RA's Brasília e Águas Clara eram apartamentos, com uma área construída média de 91m². Brasília e Águas Claras possuem diferentes regras urbanísticas e, por isso, seus blocos residenciais diferem em tamanho e forma. Devido ao planejamento urbano de Brasília, o estoque de edifícios residenciais consistiu em edifícios predominantemente horizontais com 4 ou 6 andares elevados a *pilotis*. Com uma área média de telhado de 1095m², o número de apartamentos por andar varia de 8 a 16 unidades. O estoque de edifícios residenciais de Águas Claras, por outro lado, era predominantemente vertical variando entre 12 a 25 andares de altura. A maioria dos edifícios residenciais contém 4 apartamentos por andar, com uma área de cobertura média de 434m². Os prédios de apartamentos de Brasília e Águas Claras contém pisos e jardins comuns em seu nível térreo.

A maioria das residências de Taguatinga e Candangolândia analisadas eram casas térreas (86%); os restantes eram sobrados de dois pavimentos (14%). Em Candangolândia, todas as casas analisadas eram geminadas. Com uma área construída média de 141 m², as casas tinham uma área de cobertura média equivalente a 130m². A grande maioria das casas não apresentavam jardins em seu quintal, e sim pátios com pisos impermeabilizados com área média de 80m². Poucas residências de Taguatinga e Candangolândia continham uma piscina (3,5%), com um volume médio de 35m³. A maioria das residências analisadas em Ceilândia e Samambaia eram casas térreas (85%) com uma área construída média de 110m². Tendo uma área de cobertura média de 97 m², a maioria dos lotes apresentavam quintais com uma área impermeabilizada de 74m². Nenhuma piscina foi encontrada nessas Regiões.

A Tabela 4 apresenta os resultados do levantamento, apresentando um resumo das principais tipologias residências do Distrito Federal.

Tabela 4: *Tipologias residenciais por faixas de renda.*

Residências de renda alta		Residências de renda média alta	
			
Fonte: Google™ Earth		Fonte: Google™ Earth	
Região Administrativa	<i>Lago Norte</i> <i>Lago Sul</i>	Região Administrativa	<i>Brasília</i> <i>Águas Claras</i>
Tipologia residencial	Casas de alto padrão	Tipologia residencial	Edifício em alturas
Número de moradores	4.6 moradores	Número de moradores	3.2 moradores
Renda média familiar	R\$ 9.600	Renda média familiar	R\$ 7.600
Número de banheiros	6	Número de banheiros	3
Área construída média	427 m ²	Área construída média	91 m ²
Área de cobertura média	373 m ²	Área de cobertura média	765 m ²
Área de jardim/quintal	1,364 m ²	Área de jardim/quintal	---
Volume de piscina	53 m ³	Volume de piscina	---
Residências de renda média baixa		Residências de renda baixa	
			
Fonte: Google™ Earth		Fonte: Google™ Earth	
Região Administrativa	<i>Taguatinga</i> <i>Candangolândia</i>	Região Administrativa	<i>Ceilândia</i> <i>Samambaia</i>
Tipologia residencial	Casa	Tipologia residencial	Casa de baixo padrão
Número de moradores	4.6 moradores	Número de moradores	4.5 moradores
Renda média familiar	R\$ 4.000	Renda média familiar	R\$ 3.200
Número de banheiros	3	Número de banheiros	2
Área construída média	141 m ²	Área construída média	110 m ²
Área de cobertura média	130 m ²	Área de cobertura média	97 m ²
Área de jardim/quintal	80 m ²	Área de jardim/quintal	74 m ²
Volume de piscina	35 m ³	Volume de piscina	---

4.4. Demanda de água

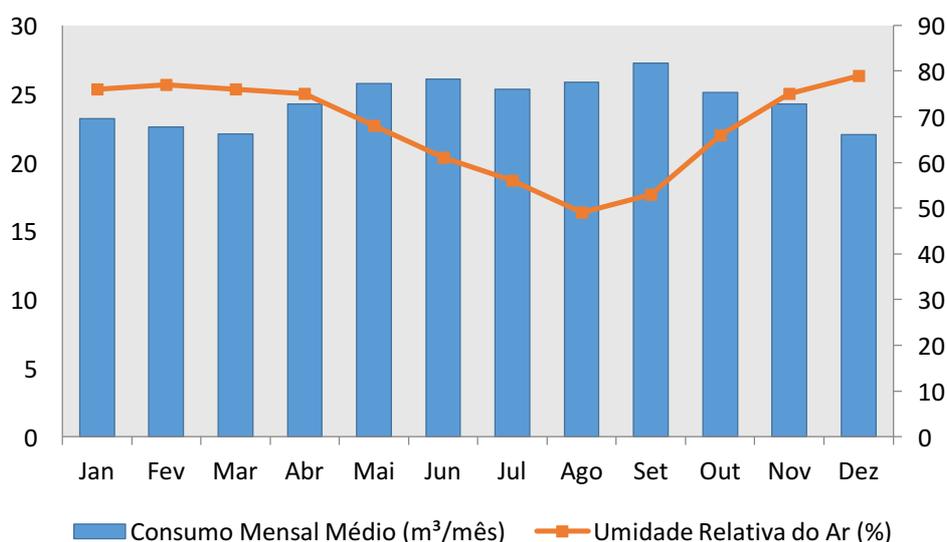
Foram coletados dados primários do consumo de água para residências de renda alta, média-alta, média-baixa e baixa por meio de uma técnica desenvolvida para medir, durante sete dias o consumo predial, e os usos-finais de água para 117 residências e, com base no histórico do consumo de água presentes em contas d'água, dados relativos ao consumo predial foram analisados e comparados.

4.4.1. Consumo predial

Dados de consumo anual para 117 residências foram coletadas a partir de contas de água. Observou-se uma variação de 36m³/ano por residência a um máximo de 732 m³/ano, com uma média equivalente a 282 m³/ano. Observou-se que quanto maior a renda, maior o consumo médio anual de água. No geral, as residências de alta renda, como as do Lago Norte e do Lago Sul apresentaram a maior taxa de consumo anual, com uma média de 481 m³/ano. As moradias de renda média-alta de Brasília e Águas Claras apresentaram uma média de consumo de água de 243 m³/ano, moradias de renda média-baixa de Taguatinga e Candangolândia 216 m³/ano e moradias de baixa renda de Ceilândia e Samambaia 180 m³/ano.

As variações mensais do consumo médio de água ao longo do ano foram analisadas através de referências cruzadas dos dados climáticos de precipitação mensal e umidade relativa (INMET) com os dados históricos de faturamento das 117 residências estudadas. Observou-se que o consumo mensal de água tem relação direta com umidade relativa do ar. Na medida em que a umidade relativa abaixa, aumenta o consumo de água e, quando a umidade relativa do ar sobe, há uma queda no consumo mensal de água (Figura 1). Esta tendência pode ser explicada devido à intensa estação seca do Distrito Federal (de abril a setembro), o que aumenta a demanda de água para irrigação de jardins.

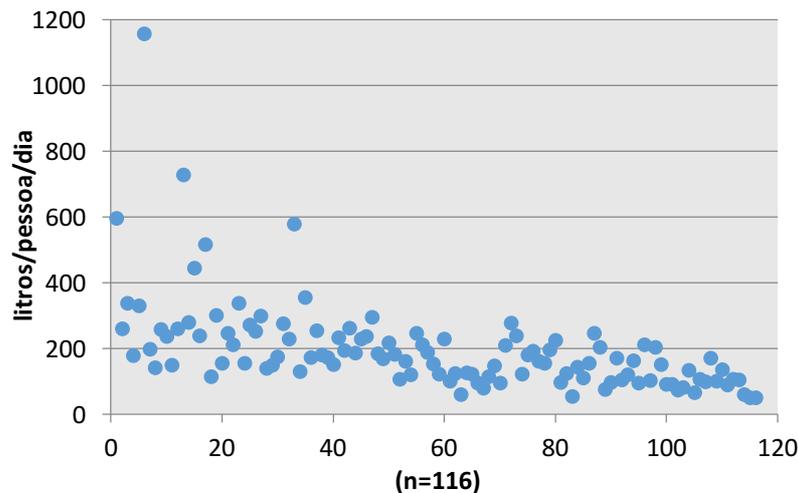
Figura 1: Consumo médio mensal de água e umidade relativa



Dados de consumo de água ao longo da semana puderam ser obtidos por leituras diárias dos hidrômetros das residências. Observou-se um consumo semanal médio equivalente a 5,191 litros por residência por semana. Valores chegaram a um máximo de 32.393 litros por residência por semana e um mínimo de 854 litros por residência por semana.

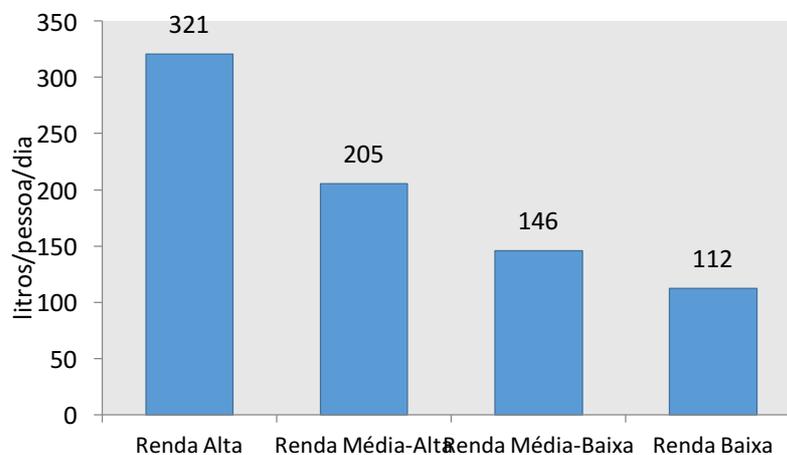
As residências de alta renda do Lago Norte e Lago Sul apresentaram grandes variações no consumo diário de água durante a semana em comparação com outras faixas de renda, com padrões de consumo mais altos durante a semana (média de 1.403 litros/dia) e menor consumo durante o fim de semana (média de 981 litros/dia). Esta tendência pode ser explicada pelo número oscilante de moradores na residência durante a semana e fim de semana. É importante lembrar que a maioria das habitações de alta renda tinha jardineiros e donas de casa vivendo na casa durante a semana. Nos fins de semana, esses trabalhadores voltariam para suas próprias casas, portanto, desempenhando uma grande influência sobre o consumo de água.

Figura 2: Diagrama de dispersão do consumo per capita



A Figura 2 mostra um diagrama de dispersão do consumo de água por pessoa e por dia para as 117 residências analisadas. Com um consumo médio de 196 litros por pessoa por dia (l/p/d), a maioria das habitações consumia menos de 200 l/p/d. O consumo médio de água per capita na maioria das habitações analisadas variou entre 101 e 200 l/p/d (45,7%), enquanto uma pequena parte das habitações consumiu acima de 300 l/p/d (8,6%), 18,1% consumidos até 100 l/p/d, e o consumo médio per capita para 27,6% das habitações variou entre 201 - 300 litros.

Figura 3: Consumo per capita médio por faixa de renda familiar

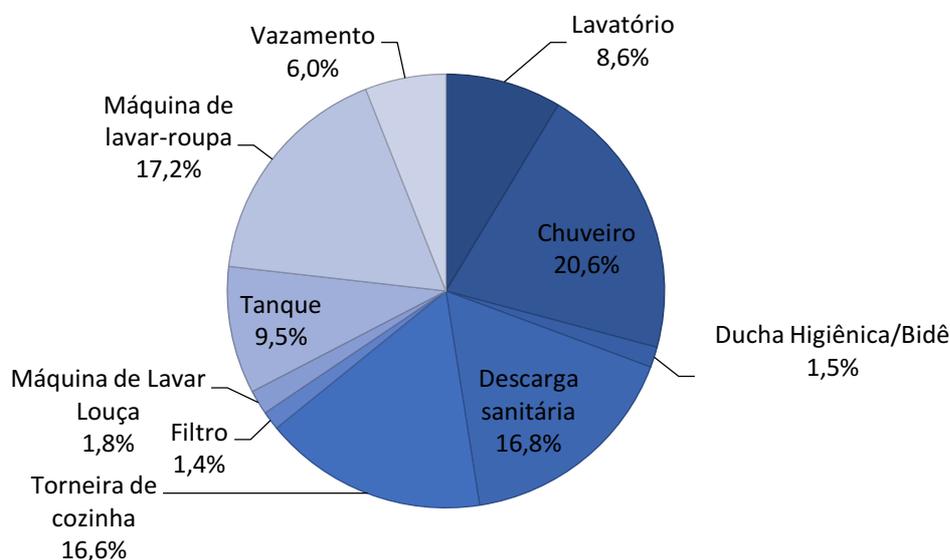


A Figura 3 demonstra claramente a relação direta entre o consumo de água e renda. Com o maior consumo de água per capita, as residências de alta renda do Lago Norte e Lago Sul consumiram em média 321 l/p/d, a média do consumo per capita das residências de renda média-alta de Brasília e Águas Claras foram 205 l/p/d, enquanto que as moradias de baixa renda de Taguatinga e Candangolândia consumiram uma média de 146 l/p/d, e com a menor taxa de consumo, as residências de baixa renda de Ceilândia e Samambaia, utilizaram de 112 l/p/d.

4.4.2. Usos finais de água

Com um consumo médio total de 182 l/p/d, em geral, os usos de água em chuveiros (20,6%), máquinas de lavar roupas (17,2%), descargas sanitárias (16,8%) e torneiras de cozinha (16,6%) apresentaram as maiores taxas de consumo per capita, enquanto que filtros de água (1,4%), duchas higiênicas/bidês (1,4%) e máquinas de lavar louças (1,5%) tiveram as menores taxas de consumo diário por pessoa (Figura 4).

Figura 4: Usos-finais do consumo interno



Embora cada residência tenha demonstrado padrões únicos de usos internos de água, tendências de consumo similares foram observadas entre os grupos de renda e tipologias estudadas. A Tabela 5 faz um resumo dos resultados dos usos internos apresentando indicadores de consumo per capita por uso final de água. Em geral, observou-se uma tendência de consumo elevado em torneiras de cozinha, chuveiros e descarga sanitária, e uma tendência de baixo consumo no filtro de água e em duchas higiênicas / bidê nas residências. Como esperado, residências de renda alta apresentaram os maiores indicadores de consumo de água enquanto residências de baixa renda tinham os menores valores de consumo de água por uso final.

Em geral, o consumo de água em torneiras de jardim consistiu principalmente em atividades de irrigação e lavagem de pisos. A Tabela 6 faz um resumo dos resultados do consumo de externo de água em irrigação e lavagem de pisos. As residências de alto renda do Lago Sul e Lago Norte apresentaram a maior taxa de consumo de água de 2,2 litros por área por dia (l/m²/d), enquanto residências de renda média-baixa e baixa tiveram um consumo médio de 0,7 l/m²/d. Com a menor

taxa de consumo de água equivalente a 0,5 litros por área por dia, os prédios residenciais de Brasília e Águas Claras consumiram 42% menos água do que os domicílios.

Tabela 5: Usos finais do consumo interno por faixa de renda.

Usos Internos	Residências Renda Alta			Residências Renda Média-Alta			Residências Renda Média-Baixa			Residências Renda Baixa		
	<i>l/p/d*</i>	<i>n</i>	%	<i>l/p/d*</i>	<i>n</i>	%	<i>l/p/d*</i>	<i>n</i>	%	<i>l/p/d*</i>	<i>n</i>	%
<i>Lavatório</i>	18	28	8.1	21	35	9.5	10	28	7.1	13	26	10.9
<i>Chuveiro</i>	36	28	15.9	53	35	23.9	33	28	23.0	28	26	23.7
<i>Ducha higiênica / bidê</i>	3	19	1.1	3	23	1.5	4	6	2.8	1	3	0,8
<i>Descarga sanitária</i>	42	28	18.5	35	35	15.8	27	28	18.6	19	26	16.0
<i>Torneira de cozinha</i>	35	28	15.4	34	35	15.5	29	28	20.2	22	26	18.9
<i>Filtro de água</i>	3	22	1.4	3	21	1.3	2	14	1.4	2	8	1.8
<i>Máquina de lavar louças</i>	5	2	2.3	1	5	0.7	---	---	---	---	---	---
<i>Tanque</i>	23	28	10.2	22	33	9.8	14	28	9.7	10	23	8.8
<i>Máquina de lavar louças</i>	34	28	15.1	49	32	22.1	25	22	17.1	17	18	14.7
<i>Vazamentos</i>	27	4	11.9	---	---	---	0.5	1	0.3	5	6	4.3
TOTAL	226		100	221		100	144		100	118		100

*litros por pessoa por dia

Tabela 6: Usos finais do consumo externo por faixa de renda

Usos Externos	Residências Renda Alta		Residências Renda Média-Alta		Residências Renda Média-Baixa		Residências Renda Baixa	
	<i>l/m²/d*</i>	<i>n</i>	<i>l/m²/d*</i>	<i>n</i>	<i>l/m²/d*</i>	<i>n</i>	<i>l/m²/d*</i>	<i>n</i>
<i>Torneira de jardim</i>	2.2	25	0.5	30	0.7	22	0.7	17
<i>Registro da piscina</i>	9	4	---	---	---	---	---	---
<i>Água subterrânea (poço)</i>	0.8	2	---	---	---	---	---	---
<i>Reúso de água</i>	1.3	1	---	---	1.5	11	2.0	13

*litros por área superficial por dia

5. Análise de Viabilidade Técnica

A instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em novas edificações são facilmente executadas de maneira que a rede de distribuição de água não potável esteja separada da rede de água potável e, no caso de sistemas de reúso de águas cinzas, a rede de coleta de águas cinzas seja separada da rede de esgotamento sanitário. Porém, considerando o estoque residencial existente no Distrito Federal, este estudo avalia possíveis soluções voltadas à adaptação predial para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

5.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

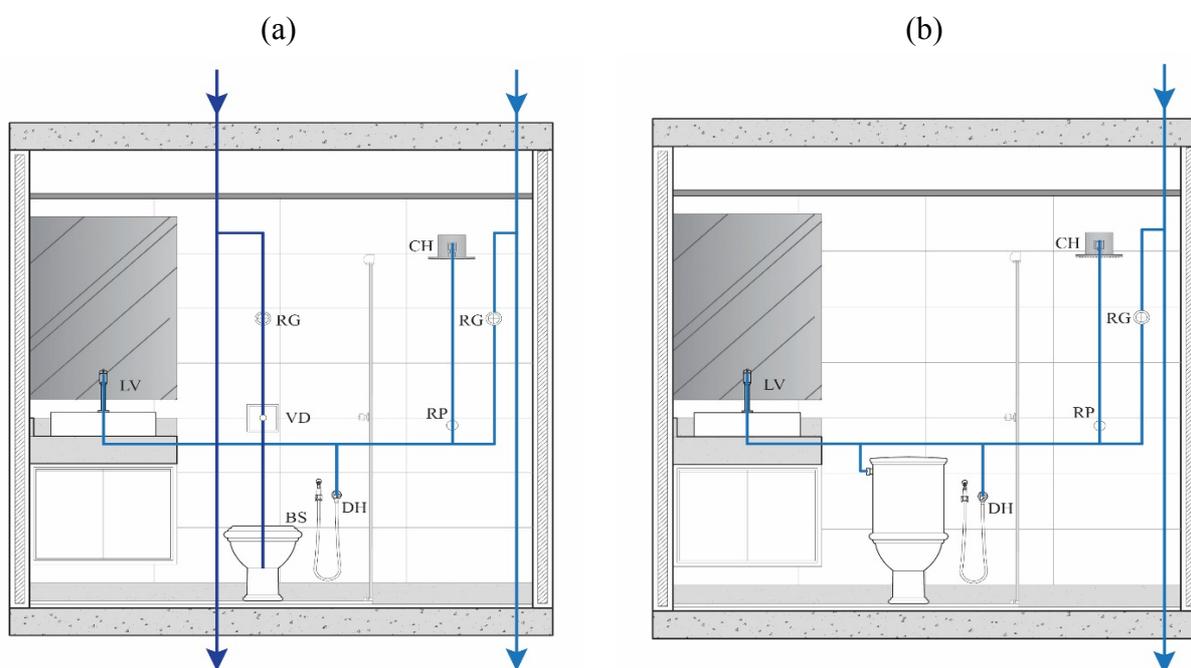
Verifica-se que, por um lado, a grande maioria das residências unifamiliares não contém uma rede de coleta de águas pluviais, por isso, a instalação de calhas, tubos de queda, coletores e rede de drenagem se torna necessário. A composição de cada tubulação de coleta de águas pluviais foi determinada de acordo com a área mínima de captação necessária para suprir a demanda, reduzindo assim os custos de instalação desnecessários e otimizando os sistemas de captação de água da chuva. De modo a simplificar a instalação, os reservatórios de retenção (cisternas) foram planejados para serem localizados em frente da casa, ao lado da rede de coleta de drenagem urbana, reduzindo os custos de instalação das tubulações de drenagem de águas pluviais.

Por outro lado, devido à sua escala de construção, todos os blocos de apartamentos já apresentam, em suas instalações, tubulações de coleta de água pluviais, o que resultaria apenas em pequenas alterações do sistema existente. Neste caso, a tubulação de coleta de águas pluviais foi considerada para captar a água da chuva necessária para suprir a demanda. Hipoteticamente, isto seria feito ao nível do solo, quer por desvio de uma parte dos tubos de coleta existentes, ou através da utilização de uma câmara de desvio, para separar o volume necessário de água pluvial para um reservatório de retenção (cisterna) localizado na proximidade do edifício. O extravasor do reservatório de retenção (cisterna) e o filtro pluvial poderiam ser facilmente adaptadas para a rede de drenagem existente. A maioria dos blocos de apartamentos possuem um reservatório inferior, que armazena a água potável proveniente do cavalete de entrada antes de ser bombeada para o reservatório superior. Porém, foi constatado que existem reservatórios inferiores desativados, não sendo utilizados e, em alguns casos, a alimentação da água potável é feita diretamente ao reservatório superior, sem o uso de bomba de recalque. Neste caso, esses reservatórios desativados poderiam ser adaptados e utilizados como reservatórios de retenção (cisternas) para armazenagem de águas pluviais.

Em ambos os casos (residências unifamiliares e multifamiliares), sistemas de aproveitamento de águas pluviais isolados, de distribuição direta em torneiras de uso geral ou torneiras de jardim para lavagem de pisos e irrigação provaram ser de fácil adaptação predial e necessitando apenas de pequenos investimentos em equipamentos e mão de obra. Resultados indicam que em alguns casos, sistemas de aproveitamento de águas pluviais integrados, de distribuição indireta a pontos de uso interno, em descargas sanitárias ou lavanderias, necessitariam de pouca intervenção predial para

utilizar águas pluviais em descargas sanitárias ou em lavagem de roupas. As edificações que apresentaram em sua rede de distribuição de água, colunas de água independentes alimentando água para a lavanderia (tanque e máquina lavar roupas) ou para válvulas de descargas sanitárias, podem ser facilmente adaptadas para o aproveitamento de águas pluviais. Neste caso, seria possível, instalar (ou aproveitar) um reservatório para a distribuição de águas pluviais, e adaptar, na cobertura, o barrilete de maneira que as colunas de água existentes possam ser utilizadas para distribuição de água pluvial em descarga sanitária ou na lavanderia (Figura 5a). No caso de residências que não apresentaram essa característica, como por exemplo, banheiros com uma única coluna de água, necessitam uma maior intervenção para adaptação predial, podendo inviabilizar o investimento pelo alto grau de reforma necessária (Figura 5b).

Figura 5: Coluna de água independente (a) que permite fácil adaptação predial; e coluna de água ramificada (b) que necessita de reforma predial para o uso não potável de água.



5.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

Foram encontrados três tipos diferentes de configuração hidráulica de esgotamento sanitário em banheiros. A primeira, contém tubos de descarga das águas cinzas provenientes de lavatórios, chuveiros e banheiras separadas da tubulação de águas negras do vaso sanitário que, em um segundo momento, se reúnem em uma caixa de inspeção localizada no exterior do edifício residencial. Neste caso, a adaptação predial para a coleta de águas cinzas pode ser feita de maneira simples, sem grandes investimentos em reforma predial. A Figura 6a apresenta uma possível solução para a adaptação predial para a coleta de águas cinzas.

Os outros dois tipos eram compostos pela conexão do ramal de esgoto secundário (águas cinzas) com o ramal de esgoto primário (águas negras). Em alguns casos, a conexão do ramal de esgoto acontece do lado de fora da residência, o que permite uma intervenção para a coleta de águas cinzas do banheiro (Figura 6b). Quando essa conexão ocorre abaixo do piso, sua adaptação predial fica mais complicada.

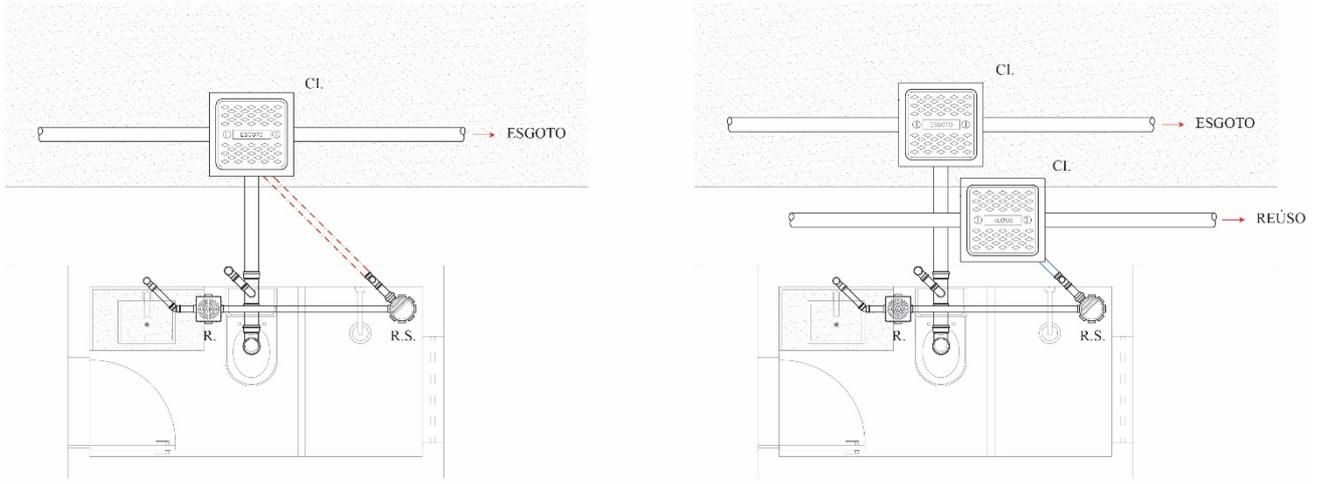
Em residências unifamiliares, as tubulações de esgotamento sanitário estão normalmente localizadas abaixo do piso e, para tanto, seria necessário quebrar parte do contra piso para adaptação predial, o que levaria a grandes custos de investimento. Em residências multifamiliares, essa adaptação seria necessariamente executada no andar inferior, desde que houvesse um *shaft* vertical para adaptação (Figura 6c). Porém, vale a pena ressaltar que esta operação poderia causar um certo grau de inconveniência aos moradores.

Em todas as residências unifamiliares analisadas, a rede de esgotamento da lavanderia é, em um primeiro momento, separada da rede de esgotamento sanitário, facilitando, dessa maneira, a adaptação predial para a coleta de águas cinzas provenientes de máquina de lavar roupa e tanque. Oitenta por cento dos blocos residenciais analisados apresentavam uma configuração hidráulica cuja tubulação de esgoto secundário proveniente da lavanderia era isolada dos demais efluentes. A adaptação das instalações para ambas as residências unifamiliares e edifícios multifamiliares exigiria desconectar a tubulação da área de serviço, da lavanderia e da tubulação da cozinha, desviando a água da lavanderia para uma nova linha de drenagem de coleta de águas cinzas. Esta adaptação das instalações foi considerada uma abordagem simples e eficaz, levando a pouca ou nenhuma inconveniência.

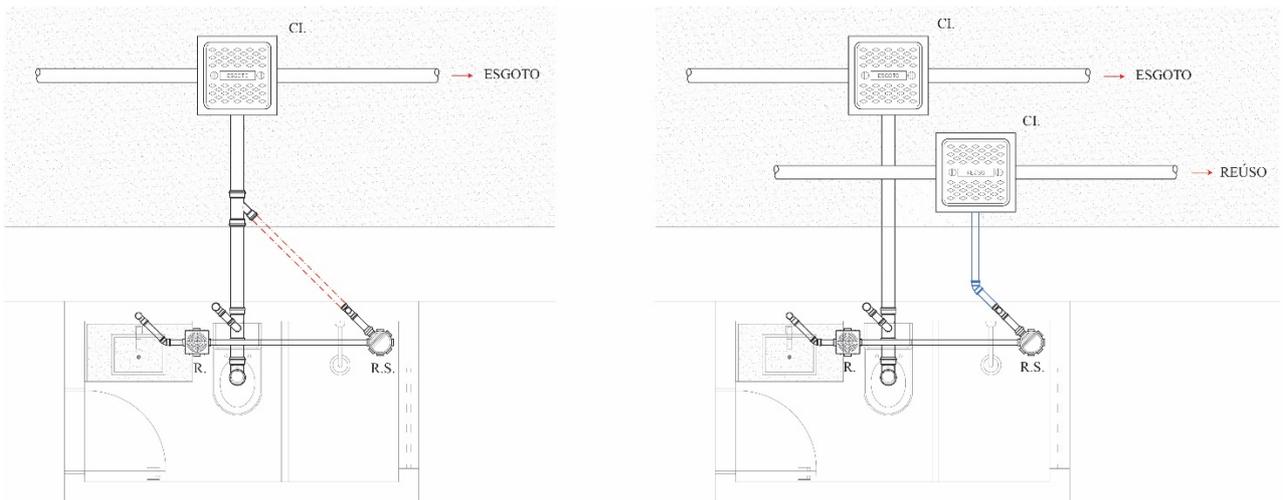
Para se construir um sistema de LC, seja em uma residência, seja em um condomínio com prédios e apartamentos, torna-se necessário a disponibilidade de área verde suficiente para comportar todo o sistema. Antes dos leitos plantados deve haver um tanque de coleta inicial das águas, para depois serem lançados nos leitos. Após os tanques haverá um reservatório para coleta da água tratada e direcionamento para os usos finais pretendidos.

Figura 6: Possíveis adaptações prediais para a coleta de águas cinzas

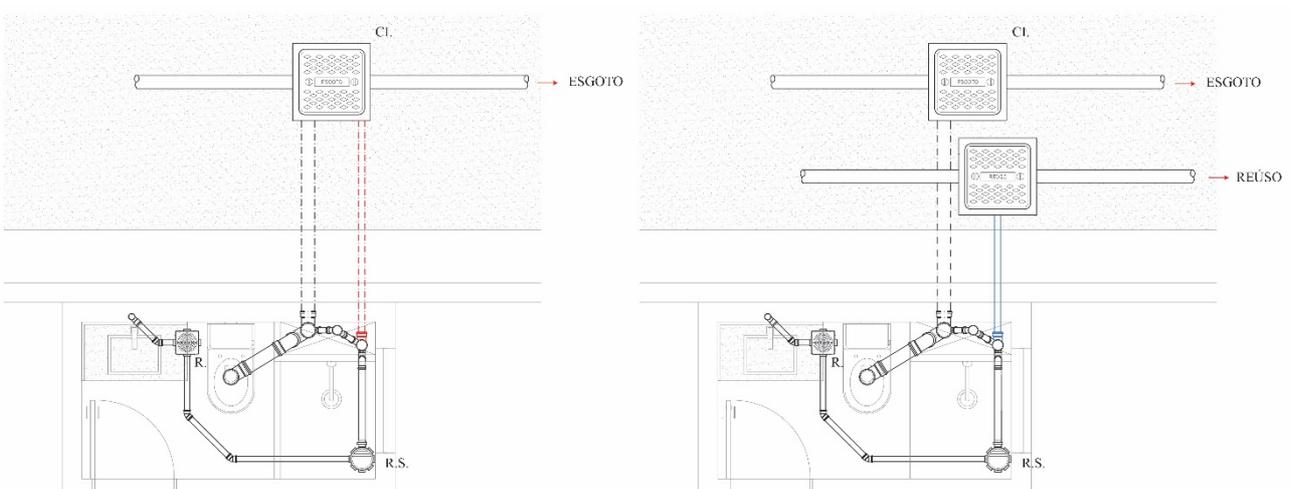
(a)



(b)



(c)



6. Análise de Viabilidade Ambiental

A análise de viabilidade ambiental é dividida em duas etapas. A primeira etapa, presente neste relatório, faz uma análise do desempenho de diferentes sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na escala da edificação. Baseado nos modelos representativos, foram realizadas simulações de oferta e demanda de água para identificar o potencial de redução do consumo de água para as diferentes tipologias residenciais. A segunda etapa, a ser abordada no Relatório Técnico 3, agrega os valores obtidos para a escala urbana, utilizando uma abordagem *bottom-up* para estimar os benefícios ambientais promovidos na exploração de recursos hídricos pela redução da demanda urbana de água.

6.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Para a análise do potencial de redução do consumo de água pelo aproveitamento de águas pluviais nas diferentes tipologias residenciais de rendas alta, média-alta, média-baixa e baixa, foi necessário estimar a oferta de águas pluviais e a demanda de água em usos não potáveis. Baseado nos modelos representativos, dados primários relativos ao número de moradores, área verde e de pisos foram utilizados para estimar a demanda de água utilizando os indicadores de usos finais de água internos e externos. Prédios residenciais foram analisados como um todo, mas resultados os apresentados por apartamento, usando um parâmetro $\text{m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ para fins de comparação com demais tipologias. Três tipos diferentes de demandas de águas pluviais foram considerados para análise:

- **Demanda 1:** *Irrigação e lavagem de pisos*
- **Demanda 2:** *Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária*
- **Demanda 3:** *Irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas*

A oferta de água pluvial foi estimada de acordo com os valores médios da área de cobertura e dados de precipitação média diária do Distrito Federal fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologias - INMET. Devido ao fato de que a maioria das coberturas eram compostas por telhas cerâmicas ou fibrocimento, um coeficiente de 0,9 foi usado para considerar as perdas de água da chuva durante o escoamento. Filtros comercialmente disponíveis com 90% de eficiência também foram considerados como uma base para estimar a oferta de água pluvial.

Para cada cenário, simulações do desempenho de diferentes capacidades de cisternas comercialmente disponíveis foram realizadas para identificar o potencial de redução do consumo de água pelo aproveitamento de águas pluviais em residências de renda alta (Figura 7), média-alta (Figura 8), média-baixa (

Figura 9) e baixa renda (Figura 10). Em geral, podemos observar que, em um primeiro momento, na medida em que há aumento a capacidade de armazenamento da cisterna, as economias geradas pelo aproveitamento de águas pluviais sobem. Porém, em cada caso, existe um ponto em que por mais que aumente o volume da cisterna, as economias geradas pelo sistema ficam estagnadas. Isso é devido ao limite da oferta (área de cobertura disponível) e demanda (usos não potáveis). Com isso, a capacidade

de armazenamento ideal foi definida como o menor volume de armazenamento de água pluvial capaz de promover o maior nível de economia de água.

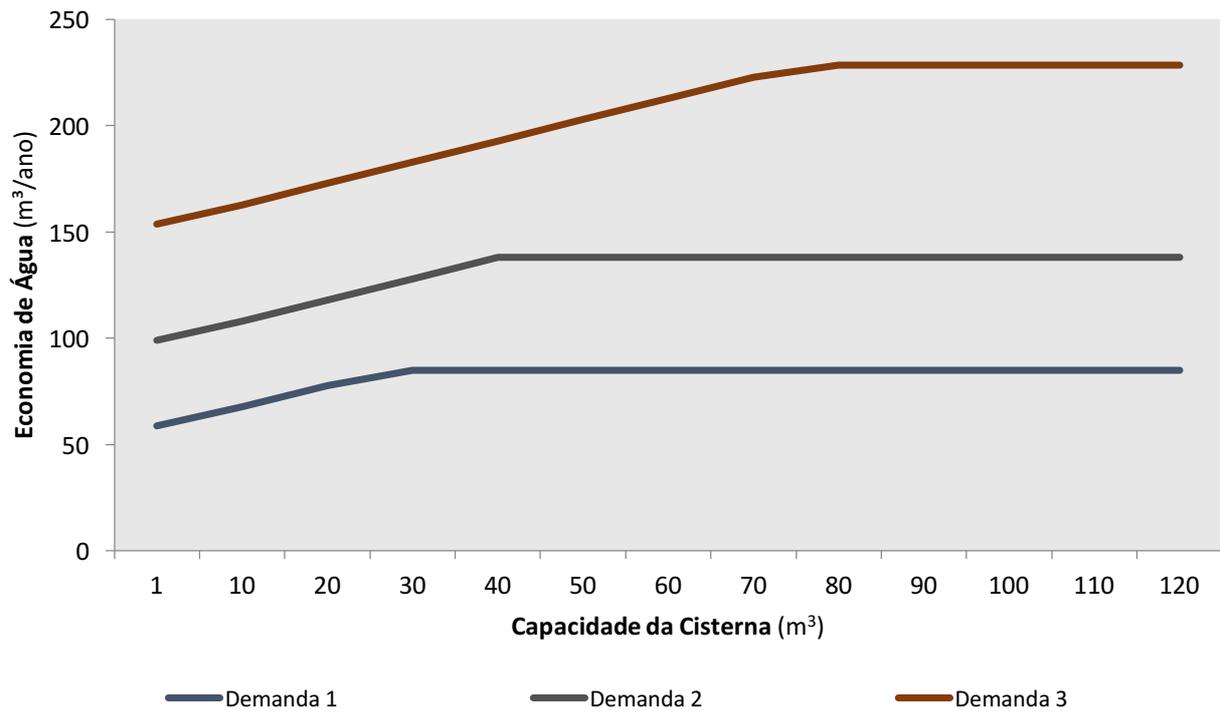
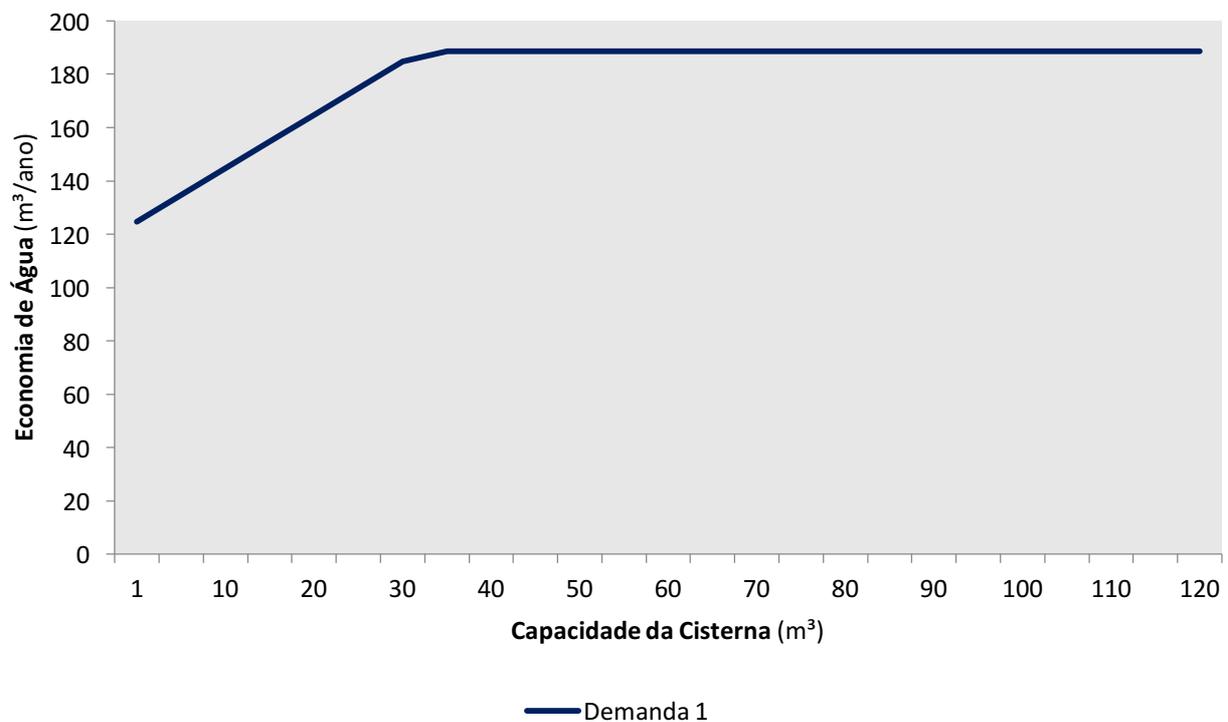
Figura 7: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda alta.**Figura 8:** Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-alta.

Figura 9: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-baixa.

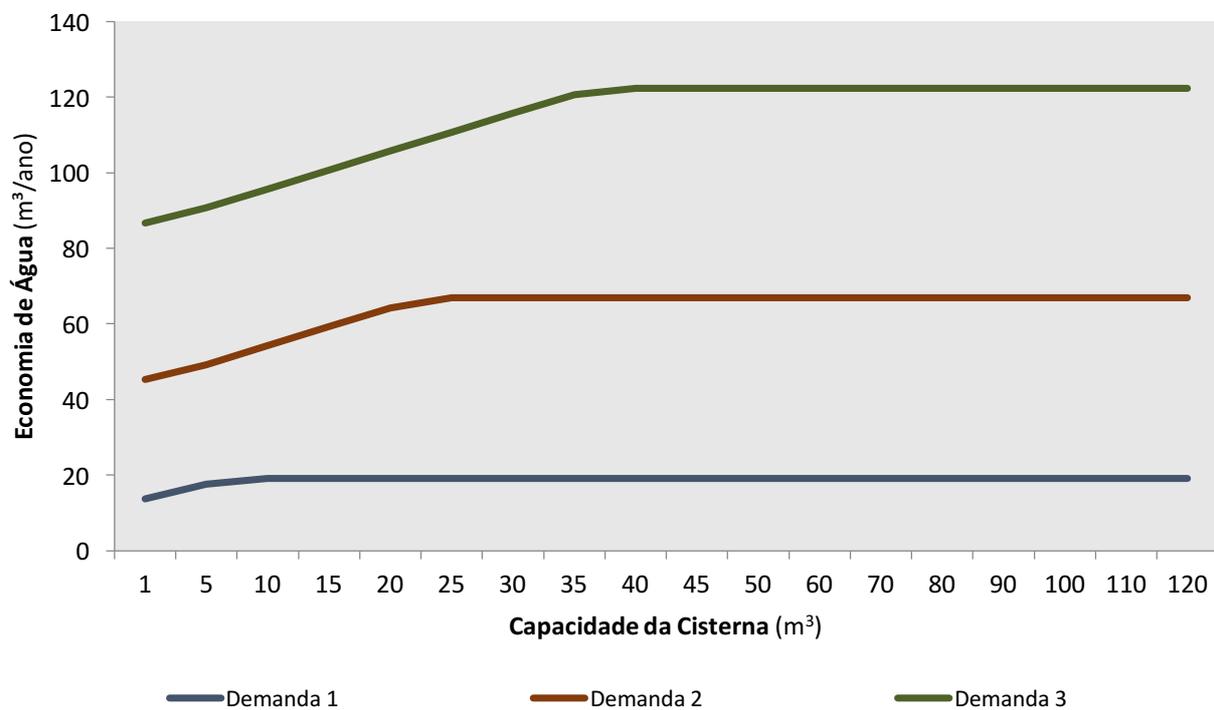


Figura 10: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda baixa.

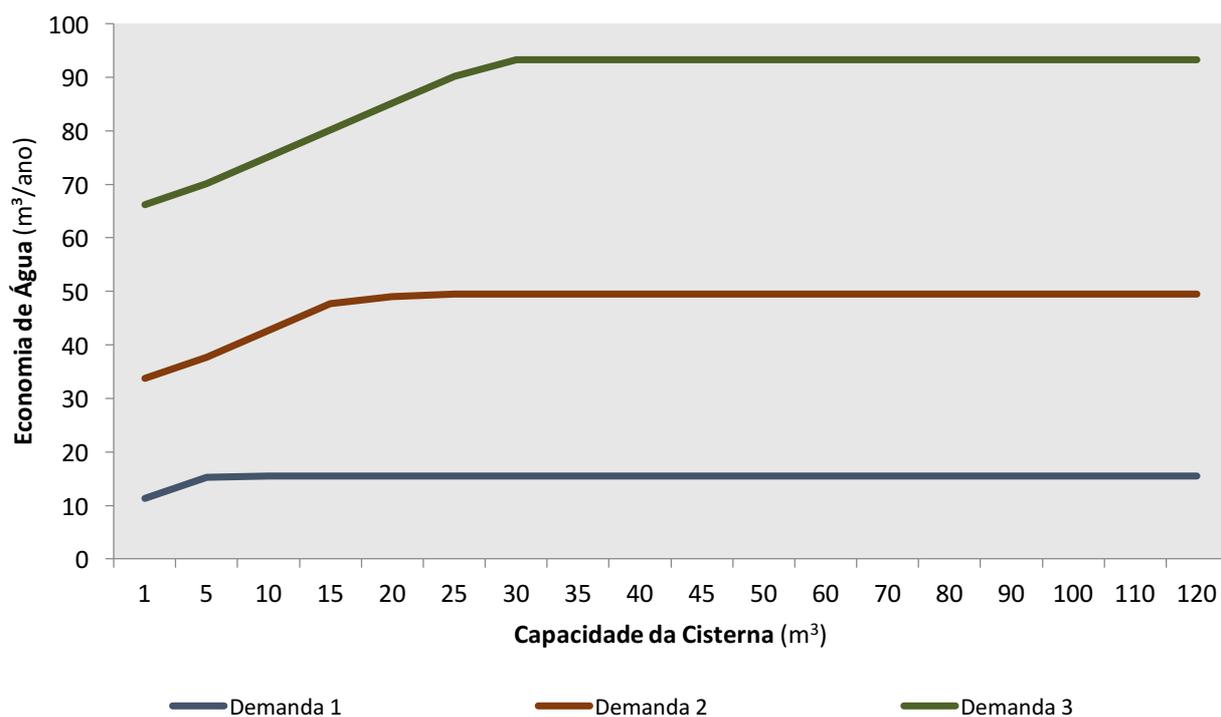


Tabela 7: Potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais.

Capacidade de Reservatório		Residências Renda Alta		Residências Renda Média-Alta		Residências Renda Média-Baixa		Residências Renda Baixa	
		Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)						
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	59	11.0	1.7	0.7	14	4.8	11	4.9
	Cisterna de 5m ³	63	11.8	1.9	0.8	18	6.3	15	6.6
	Cisterna de 10m ³	68	12.7	2.0	0.8	19	6.8	15	6.7
	Cisterna de 15m ³	73	13.7	2.1	0.9	19	6.8	---	---
	Cisterna de 20m ³	78	14.7	2.3	0.9	---	---	---	---
	Cisterna de 25m ³	83	15.6	2.4	1.0	---	---	---	---
	Cisterna de 30m ³	85	16.0	---	---	---	---	---	---
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	103	19.4	---	---	49	17.5	38	16.3
	Cisterna de 10m ³	108	20.3	---	---	54	19.3	43	18.4
	Cisterna de 15m ³	113	21.2	---	---	59	21.1	48	20,6
	Cisterna de 20m ³	118	22.2	---	---	64	22.8	49	21.2
	Cisterna de 25m ³	123	23.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 30m ³	128	24.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 35m ³	133	25.0	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 40m ³	138	25.9	---	---	---	---	---	---
Demanda 3	Cisterna de 10m ³	163	30.6	---	---	96	34.0	76	32.7
	Cisterna de 20m ³	173	32.5	---	---	106	37.6	86	37.1
	Cisterna de 30m ³	183	34.4	---	---	116	41.1	96	41.4
	Cisterna de 40m ³	193	36.2	---	---	122	43.5	---	---
	Cisterna de 50m ³	203	38.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 60m ³	213	40.0	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 70m ³	223	41.9	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 80m ³	229	43.0	---	---	---	---	---	---

A Tabela 7 apresenta os resultados das simulações realizadas para estimar o potencial de redução do consumo de água potável por diferentes capacidades de cisterna. Para residências de alta renda, a economia de água potável variou de 59 m³/residência/ano a 229 m³/residência/ano, dependendo do cenário de demanda e capacidade de cisterna. O aproveitamento de águas pluviais em descarga sanitária e lavagem de roupas provou ser inviável em prédios residenciais de renda média-alta em função de sua elevada demanda de água em relação ao seu baixo índice de oferta de água pluvial. Mesmo assim, sistemas isolados, voltados ao aproveitamento de águas pluviais em irrigação e lavagem de pisos foram capazes de gerar economias entre 1,7 e 2,4 m³ por unidade de apartamento por ano. As economias geradas por sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa variaram entre 14 a 122 m³/residência/ano, enquanto que para residências de baixa renda, as economias foram entre 11 e 96 m³/residência/ano, dependendo dos usos não potáveis e capacidade de cisterna.

Para analisar o potencial de exploração dos recursos hídricos através da utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, relacionou-se o potencial de redução do consumo de água desses sistemas com o consumo de água de cada RA. Com essa análise obteve-se o volume de água que seria reduzido do consumo, logo de exploração, por cada modelo representativo. Percebeu-se que quanto maior o consumo de água da região, maior o potencial de redução de exploração dos recursos hídricos.

Observou-se que para renda alta, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais viáveis considerados viáveis foram aqueles que utilizam cisternas de 1, 5, 10 e 15m³, voltados para atender a Demanda 1; cisternas de 5, 10 e 15m³, voltados para atender a Demanda 2, cisternas de 10, 20, 30, 40 e 50m³, voltados para atender a Demanda 3. Quanto maior a capacidade da cisterna e quanto mais demandas, maior é a redução do potencial de exploração dos recursos hídricos, conforme apresentado na

Figura 9.

Conforme apresentado na Tabela 8, se todas as RA's de renda alta fizessem uso das cisternas de 50m³ para demanda 3, o potencial de redução na exploração atinge 5.556x10³m³/ano. Considerando-se a demanda 1 nessa faixa de renda, as cisternas de 15m³ promove reduções que variam entre 243x10³ m³/ano no Jardim Botânico e 546x10³m³/ano no Lago Sul. Para a demanda 2, os potenciais de redução variam entre 344x10³ m³/ano e 845x10³ m³/ano. Já para demanda 3, os resultados obtidos são os mais altos, independente da região administrativa analisada. Nessa demanda, o potencial mínimo de redução é 543x10³ m³/ano, podendo chegar a 1.519x10³ m³/ano (Figura 11).

O Lago Sul e Vicente Pires apresentaram alto potencial de redução devido ao alto consumo de água presente nas regiões (3.986x10³m³/ano e 3841x10³m³/ano, respectivamente). Por outro lado, o Jardim Botânico apresenta as menores reduções, visto que essa RA possui o menor consumo de água (1.775x10³ m³/ano).

Figura 11: *Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.*

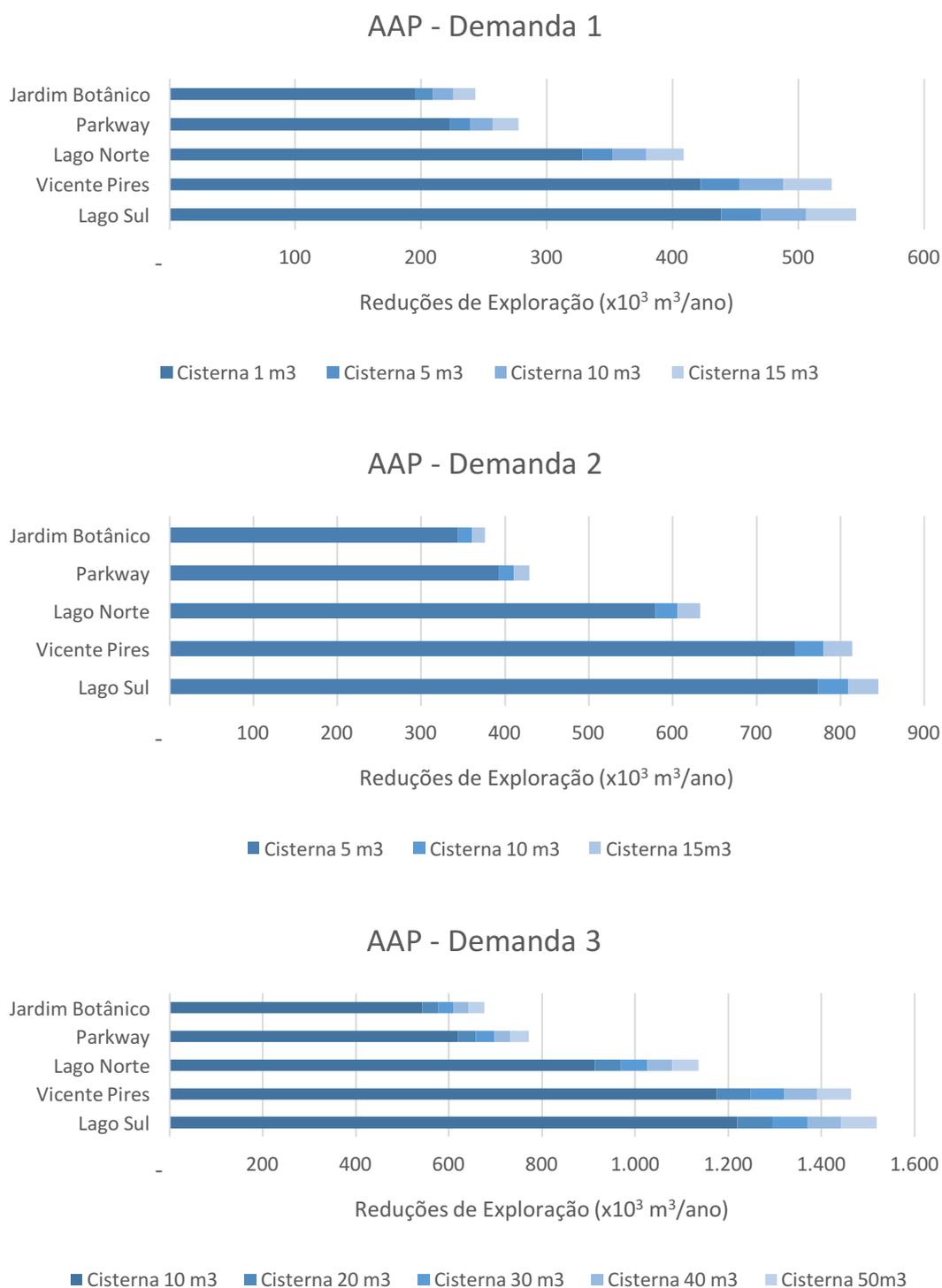


Tabela 8: *Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais*

	POT. REDUÇÃO	LAGO SUL		PARK WAY		LAGO NORTE		JARDIM BOTÂNICO		VICENTE PIRES		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)										
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS													
<i>Cisterna 1m³ - Demanda 1</i>	11,0%	438	14	223	7	328	10	195	6	423	13	1.607	51
<i>Cisterna 5m³ - Demanda 1</i>	11,8%	470	15	239	8	352	11	209	7	453	14	1.724	55
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 1</i>	12,7%	506	16	257	8	379	12	225	7	488	15	1.855	59
<i>Cisterna 15m³ - Demanda 1</i>	13,7%	546	17	277	9	409	13	243	8	526	17	2.002	63
<i>Cisterna 5m³ - Demanda 2</i>	19,4%	773	25	393	12	579	18	344	11	745	24	2.834	90
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 2</i>	20,3%	809	26	411	13	606	19	360	11	780	25	2.966	94
<i>Cisterna 15m³ - Demanda 2</i>	21,2%	845	27	429	14	633	20	376	12	814	26	3.097	98
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 3</i>	30,6%	1.220	39	620	20	913	29	543	17	1.175	37	4.471	142
<i>Cisterna 20m³ - Demanda 3</i>	32,5%	1.295	41	658	21	970	31	577	18	1.248	40	4.748	150
<i>Cisterna 30m³ - Demanda 3</i>	34,4%	1.371	43	697	22	1.026	33	610	19	1.321	42	5.026	159
<i>Cisterna 40m³ - Demanda 3</i>	36,2%	1.443	46	733	23	1.080	34	642	20	1.390	44	5.289	168
<i>Cisterna 50m³ - Demanda 3</i>	38,1%	1.519	48	771	24	1.137	36	676	21	1.463	46	5.566	176

Nas regiões administrativas de renda média-alta, onde se predominam os prédios residenciais, os sistemas aproveitamento de águas pluviais considerados viáveis foram aqueles que utilizam cisternas de 1, 5, 10, 15, 20 e 25 m³ para atender a Demanda 1, conforme demonstra a Tabela 9. A redução na exploração de recursos hídricos utilizando esse tipo de sistema pode chegar a 156x10³m³/ano em Brasília, que obteve os melhores resultados de exploração, uma vez que é a maior consumidora de água nessa faixa de renda (Figura 12). Se considerar que todas residências de todas as regiões administrativas de renda-média alta fizerem uso de cisterna de 25m³ para Demanda 1 – sistema que obteve os maiores potenciais de redução – as reduções podem atingir 396x10³m³/ano. Em residências de renda média-baixa e baixa nenhum sistema de aproveitamento de águas pluviais foi considerado viável.

Figura 12: *Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.*

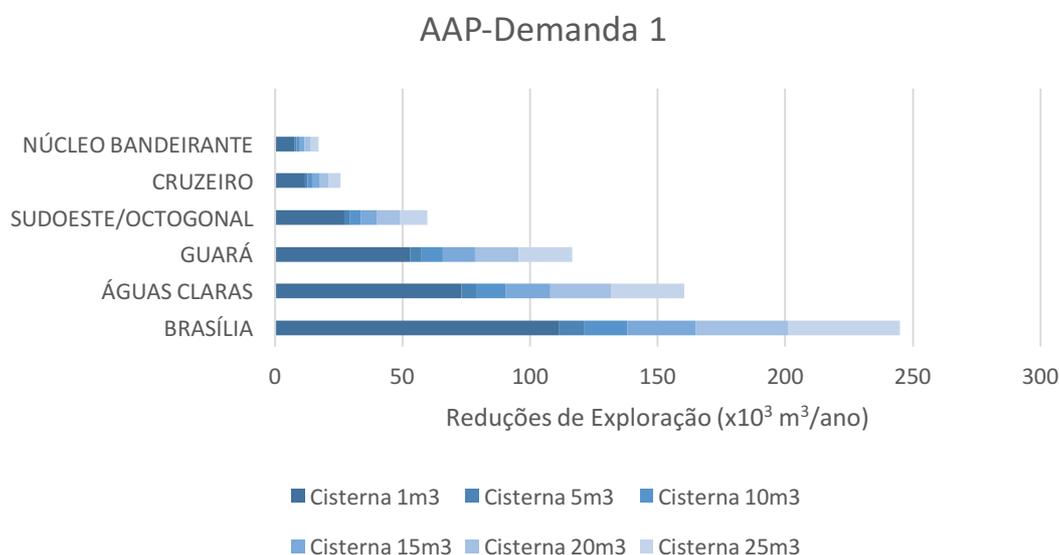


Tabela 9: *Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.*

	POT. REDUÇÃO	BRASÍLIA		ÁGUAS CLARAS		SUDOESTE/ OCTOGONAL		NÚCLEO BANDEIRANTE		GUARÁ		CRUZEIRO		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)												
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS															
Cisterna 1m ³ -															
Demanda 1	0,71%	112	4	73	2,3	27	0,9	8	0,2	53	1,7	12	0,4	284	9
Cisterna 5m ³ -															
Demanda 1	0,77%	121	4	79	2,5	29	0,9	8	0,3	57	1,8	13	0,4	308	10
Cisterna 10m ³ -															
Demanda 1	0,82%	129	4	84	2,7	31	1,0	9	0,3	61	1,9	14	0,4	328	10
Cisterna 15m ³ -															
Demanda 1	0,88%	138	4	91	2,9	34	1,1	10	0,3	66	2,1	14	0,5	352	11
Cisterna 20m ³ -															
Demanda 1	0,94%	148	5	97	3,1	36	1,1	10	0,3	70	2,2	15	0,5	376	12
Cisterna 25m ³ -															
Demanda 1	0,99%	156	5	102	3,2	38	1,2	11	0,3	74	2,3	16	0,5	396	13

6.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

Para a análise do potencial de redução do consumo de água pelo reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias residenciais de rendas alta, média-alta, média-baixa e baixa, dados de oferta e demanda de águas cinzas foram estimadas baseando-se nos indicadores de uso finais de água internos e externos aliados aos dados primários referentes a número de moradores, área verde e de pisos dos modelos representativos. Para a oferta de águas cinzas, foi considerado a média diária do volume de efluentes gerados por chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e tanques. Prédios residenciais foram analisados como um todo, mas resultados os apresentados por apartamento, usando um parâmetro $\text{m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ para fins de comparação com demais tipologias.

Foram analisados quadro tipos diferentes de sistemas de reúso de águas cinzas. O primeiro, consiste em simplesmente armazenar água cinza da máquina de lavar roupas em um tonel (bombona) de 300 litros para irrigação e lavagem do chão de forma manual. O segundo sistema consiste em desviar água cinzas geradas para uma irrigação sub-superficial. O terceiro, consiste no emprego de sistemas de tratamento de águas cinzas comercialmente disponíveis e o último sistemas leitos cultivados que podem ser dimensionados de acordo com a oferta de águas cinzas em cada modelo representativo, para isso foram considerados três tipos diferentes de demandas de água não potável para análise:

- **Demanda 1:** *Irrigação e lavagem de pisos*
- **Demanda 2:** *Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária*
- **Demanda 3:** *Irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas*

A seleção das fontes de águas cinzas foi efetuada levando em conta o nível de reforma necessária para adaptar as a rede coletora de águas cinzas das instalações hidráulicas padrão. As unidades de tratamento de águas cinzas foram selecionadas de acordo com os volumes de água cinza a tratar, uma vez que as unidades de tratamento disponíveis comercialmente são vendidas em dimensões predeterminadas de volume diário de tratamento. Por outro lado, os sistemas leito cultivados (LC) foram dimensionados levando em consideração a DBO_5 exigida em cada umas das demandas de água tratada, o clima do DF e a área verde disponível para instalação do sistema. Por meio dos parâmetros aplicados para cada modelo representativo verificou-se que o sistema LC pode ser aplicado para os modelos de renda alta, média-baixa e baixa. Para prédios residenciais verificou-se que o terreno dos edifícios não dispõe de área suficiente para instalação do sistema.

A Tabela 10 apresenta um resumo do potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas. Pela sua simplicidade, a prática do tonel e balde para reúso de águas cinzas em lavagem de pisos irrigação obteve os menores valores de redução no consumo de água potável equivalentes a $50 \text{ m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ (Renda alta), $19 \text{ m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ (renda média-baixa) e $16 \text{ m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ (renda baixa). A prática do tonel e balde em prédios residenciais, aqui representado como residências de renda média-alta, provou ser inaplicável em apartamentos, ou até mesmo em áreas comuns (jardim e pisos).

A aplicabilidade de sistemas de desvio de águas cinzas para reúso não potável em irrigação subterrânea provou ser limitada a casas de alta renda com jardim. A grande maioria das casas de

média-baixa ou baixa renda contém quintal, com pisos impermeabilizados. Em edifícios residenciais, a área de irrigação encontrada foi muito pequena em contrapartida com o volume de águas cinzas gerados por um tubo de queda de lavanderias ou banheiros.

Sistemas de tratamento de águas cinzas provaram ser capazes de gerar a maior economia de água em todos os modelos representativos analisados. Sistemas de tratamento de águas cinzas em irrigação e lavagem de pisos comunais (Demanda 1) provaram ser viáveis em termos de sua aplicabilidade, apesar do baixo potencial de redução do consumo de água. Apesar de sua relativa complexidade e nível de adaptação predial, sistemas de tratamento de águas cinzas foram capazes de gerar elevados níveis de economias de água chegando a 164 m³/residência/ano (Demanda 3). Sistemas leitos cultivados em residências de renda alta apresentaram reduções no consumo de água de até 21%.

Tabela 10: Potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas.

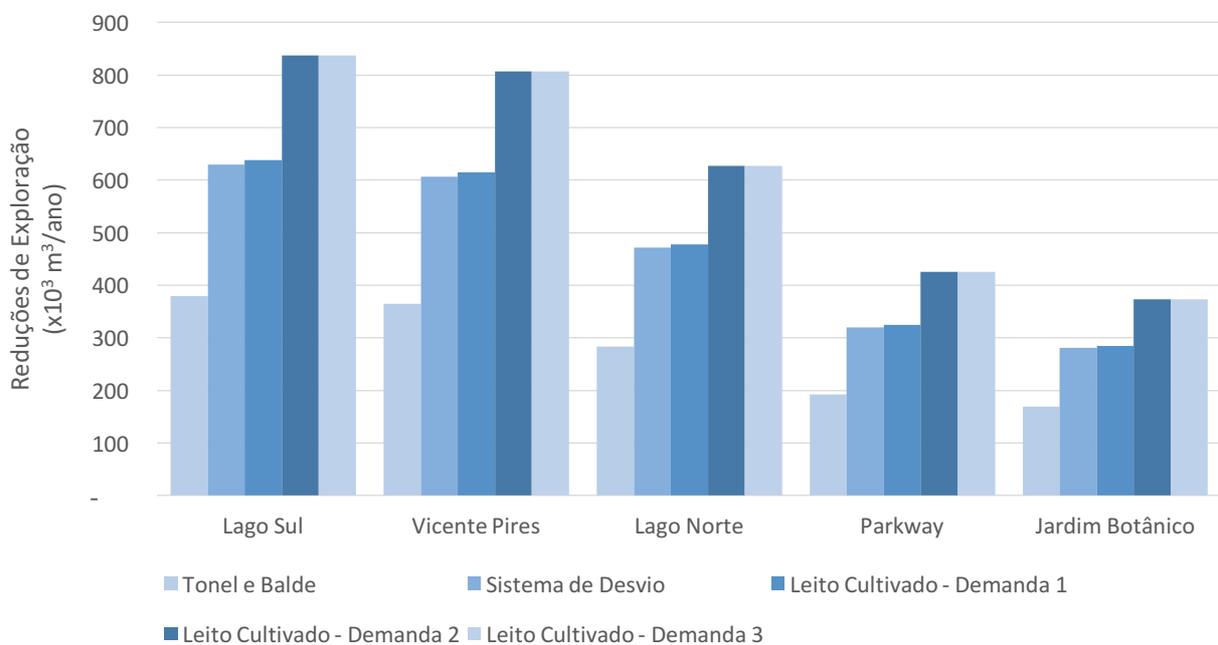
Sistema de Reúso de Águas Cinzas	Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)
Residências Renda Alta		
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	50	9.5
<i>Sistema de Desvio de Águas Cinzas</i>	84	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	84	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	148	27.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	164	30.8
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	86,14	16
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	111,44	21
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	111,44	21
Residências Renda Média-Alta		
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	3	1.1
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	39	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	65	26.7
Residências Renda Baixa		
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	16	6.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	16	6.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	50	21.7
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	126	54.2
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	100,74	43

Para analisar o potencial de exploração dos recursos hídricos através da utilização de sistemas de reúso de águas cinzas, relacionou-se o potencial de redução do consumo de água desses sistemas com o consumo de água de cada RA. Com essa análise obteve-se o volume de água que seria reduzido do

consumo, logo de exploração, por cada modelo representativo. Assim como nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, percebeu-se também que quanto mais o consumo de água da região maior será o potencial de redução de exploração dos recursos hídricos a partir do uso desses sistemas.

Em residências de renda alta, os sistemas de reúso de águas cinzas considerados viáveis foram o sistema tonel e balde, sistemas de desvio e sistemas leito cultivado para demanda 1, 2 e 3, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresentando uma redução máxima de $837 \times 10^3 \text{ m}^3$ para a RA Lago Sul. Considerando que todas as residências dessa faixa de renda façam uso dos sistemas de leito cultivado para demanda 3, as reduções chegam a $3.068 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. Os sistemas tonel e balde, que são de simples implementação em residências unifamiliares, se mostraram capazes de promover uma redução mínima de $169 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, podendo chegar a $379 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Figura 13: Potencial de redução de exploração dos recursos hídricos pelo uso de sistemas de reúso de águas cinzas em residências de renda alta.



Em residências de renda média-alta, os sistemas de reúso de águas cinzas considerados viáveis foram unidades de tratamento de águas cinzas para demandas 2 e 3, como apresentado na Tabela 12. Os sistemas de leitos cultivados não foram considerados viáveis para esse modelo devido a exigência de área necessária para construção do sistema ser maior que a disponível.

As maiores reduções de exploração dos recursos hídricos foram percebidas em Brasília, que apresenta o maior consumo de água em sua faixa de renda, conforme Figura 14. As unidades de tratamento capazes de promover reduções chegaram a $4.194 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, valor superior aos obtidos pelo uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, fazendo com que os sistemas de reúso de águas cinzas sejam uma tecnologia com maior capacidade de redução na exploração dos recursos hídricos.

Figura 14: *Potencial de redução de exploração dos recursos hídricos pelo uso de sistemas de reúso de águas cinzas em residências de renda média-alta*

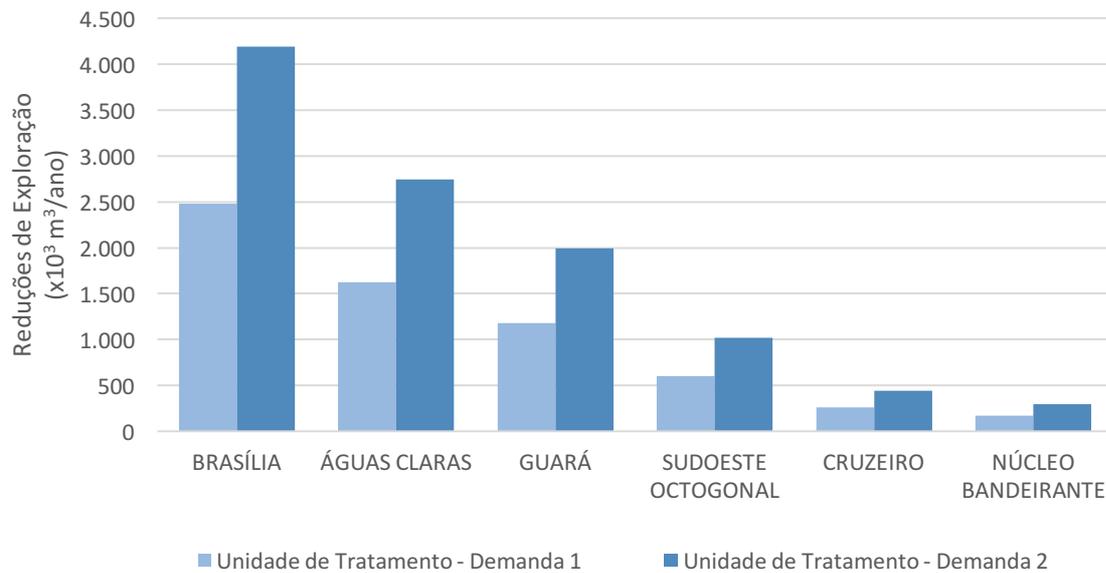


Tabela 11: Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	POT. REDUÇÃO	LAGO SUL		PARK WAY		LAGO NORTE		JARDIM BOTÂNICO		VICENTE PIRES		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)										
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS													
Prática tonel e balde	9,5%	379	12	192	6	283	9	169	5	365	12	1.388	44
Sistema de desvio de águas cinzas	15,8%	630	20	320	10	471	15	280	9	607	19	2.308	73
Sistema Leito Cultivado - Demanda 1	16,0%	638	20	324	10	477	15	284	9	615	19	2.338	74
Sistema Leito Cultivado Demanda 2	21,0%	837	26	425	13	627	19	373	11	807	25	3.068	97

Tabela 12: Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	POT. REDUÇÃO	BRASÍLIA		ÁGUAS CLARAS		SUDOESTE/ OCTOGONAL		NÚCLEO BANDEIRANTE		GUARÁ		CRUZEIRO		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)												
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS															
Tratamento de águas cinzas - Demanda 2	15,8%	2.482	79	1.625	51	604	19,1	173	5,5	1.179	37,4	260	8,2	6.324	200
Tratamento de águas cinzas - Demanda 3	26,7%	4.194	133	2.746	87	1.021	32,3	293	9,3	1.993	63,1	440	13,9	10.686	339

Em residências de renda média-baixa e renda baixa, o sistema de reúso de águas cinzas considerado viável foi o sistema tonel e balde e sistema leito cultivado, conforme Figura 15. Como mostra na Tabela 13, verificou-se uma redução máxima de até $2.273 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ para RA's de renda média-baixa. Para as RA's de renda baixa verificou-se uma redução máxima de $7.058 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, para as RA's de Ceilândia.

Figura 15: Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-baixa e renda baixa com o uso de tonel e balde.

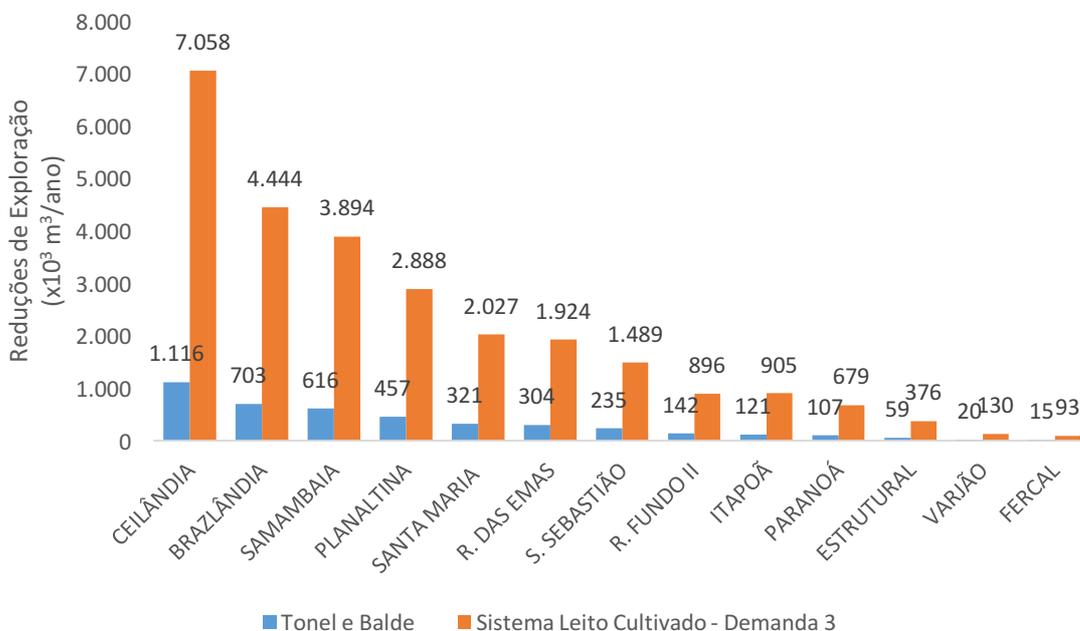
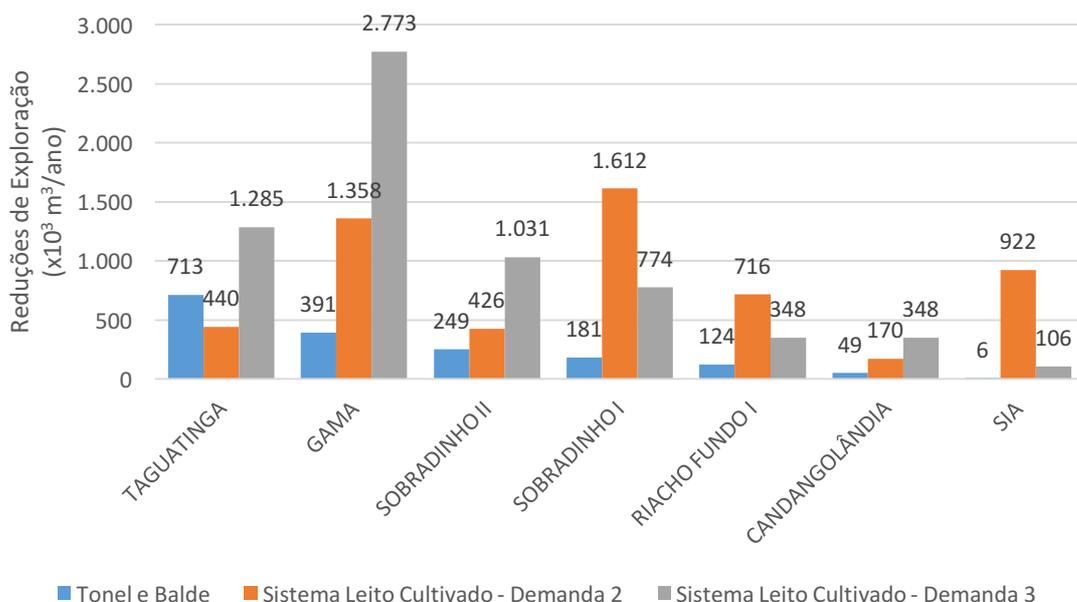


Tabela 13: Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-baixa com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	POT. REDUÇÃO	GAMA		TAGUATINGA		SOBRADINHO		RIACHO FUNDO I		CANDANGOLÂNDIA		SOBRADINHO II		SIA		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)														
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS																	
Prática tonel e balde	6,9%	391	12	713	23	181	6	124	4	49	2	249	8	6	0,2	1.712	54
Sistema Leito Cultivado - Demanda 2	24%	1.358	43	440	14	1.612	51	716	23	170	5	426	14	922	29	5.645	179
Sistema Leito Cultivado - Demanda 3	49%	2.773	88	1.285	41	774	25	348	11	348	11	1.031	33	106	3	6.665	211

Tabela 14: Potencial de redução de exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda baixa com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	POT. REDUÇÃO	BRAZLÂNDIA		PLANALTINA		PARANOÁ		CEILÂNDIA		SAMAMBAIA		SANTA MARIA		SÃO SEBASTIÃO	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)												
Prática tonel e balde	6,8%	703	22	457	14	107	3	1.116	35	616	20	321	10	235	7
Sistema Leito Cultivado - Demanda 3	43%	4.444	141	2.888	92	679	22	7.058	224	3.894	123	2.027	64	1.489	47
		VARJÃO		ESTRUTURAL		ITAPOÁ		FERCAL		R. DAS EMAS		R. FUNDO II		TOTAL	
		(x10 ³ .m ³ /ano)	(L/s)												
Prática tonel e balde	6,8%	20	1	59	2	121	4	15	0,5	304	10	142	4	4.216	134
Sistema Leito Cultivado - Demanda 3	43%	130	4	376	12	905	29	93	3	1.924	61	896	28	26.804	850

7. Análise de Viabilidade Econômica

Assim como a análise de viabilidade ambiental, a análise de viabilidade econômica também está dividida em duas etapas. A primeira etapa, presente neste relatório, faz uma análise custo-benefício utilizando três métodos: (i) período de retorno simples; (ii) análise do ciclo de vida útil; e (iii) custo incremental médio. Baseado nos modelos representativos, custos de capital e custos operacionais são estimados e, baseado nas economias geradas por cada sistema, são estimados os benefícios financeiros gerados pelas economias nas contas de água. Esta primeira etapa avalia os benefícios financeiros para moradores. Já a segunda etapa, a ser abordada no Relatório Técnico 3, se apropria das reduções da demanda urbana de água e agrega, em sua análise de custo incremental médio, os benefícios econômicos relativos aos gastos de exploração de recursos hídricos (abastecimento de água e esgotamento sanitário).

7.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Os custos dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais incluíram os custos unitários dos componentes da rede de coleta, tratamento, armazenamento, rede de distribuição e demais equipamentos de cada sistema. As estimativas de custo para esses equipamentos e componentes foram baseadas no menor preço de pelo menos três cotações obtidas de fornecedores locais. Os custos da instalação dos sistemas de reúso de água foram compostos pela preparação do local e pelo trabalho. Os custos operacionais incluíram consumo de energia e custo de mão-de-obra para a manutenção do sistema. O consumo anual de energia de bombeamento foi estimado pelo produto da potência do equipamento, sua frequência de uso anual e tarifa de energia elétrica. Resultados da análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem ser visualizados nas Tabelas 15 a 18. Considerando uma vida útil de 30 anos, quase todos os sistemas de aproveitamento de águas pluviais provaram ser viável utilizando o método *payback* simples. Apenas os sistemas AAP com cisternas de 5m³ e 10m³ destinados a irrigação e lavagem de pisos em residências de baixa renda provaram ser inviáveis por apresentar um período de retorno do investimento superior a vida útil do sistema - 49 e 54 anos respectivamente.

Porém, ao considerar os resultados obtidos pelo valor presente líquido, observamos que, em geral, sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residências de renda média-baixa e baixa são inviáveis porque o valor de investimento é alto se comparado aos benefícios financeiros. Por outro lado, resultado apontam um limite de investimento rentável em residências de alta renda. O investimento em sistemas de aproveitamento de águas pluviais para irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Demanda 2) deixa de ser viável em volumes de cisternas a partir de 20m³. Para para irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas (Demanda 3), o investimento deixa de ser viável a partir de 60 m³ de cisterna. O aproveitamento de águas pluviais em irrigação e lavagem de pisos (Demanda 1) em prédios residências de renda média-alta provou ser rentável.

Resultados pela análise do custo incremental médio de sistemas de aproveitamento de águas pluviais indicam que os melhores benefícios alcançados foram com volumes baixos de cisterna, chegando a 7,25 R\$/m³ de água economizada em residências de renda alta e 3,30 R\$/m³ em residências de renda média-alta.

Tabela 15: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda alta.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	59	937,28	3.186,72	24,47	2,0	30	12.779,71	7,25
	Cisterna de 5m ³	63	1.001,10	9.527,55	24,47	5,7	30	7.689,85	4,09
	Cisterna de 10m ³	68	1.080,88	10.504,18	24,47	5,8	30	8.276,93	4,07
	Cisterna de 15m ³	73	1.160,66	15.102,61	24,47	7,7	30	5.242,21	2,40
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	103	1.207,04	14.695,63	38,91	7,3	30	5.828,78	1,89
	Cisterna de 10m ³	108	1.286,82	15.672,25	38,91	7,3	30	6.744,86	2,08
	Cisterna de 15m ³	113	1.366,60	20.270,68	38,91	8,8	30	3.710,13	1,09
	Cisterna de 20m ³	118	1.446,38	25.586,58	38,91	10,5	30	-42,05	-0,01
	Cisterna de 25m ³	123	1.526,16	28.469,87	38,91	11,1	30	-1.361,63	-0,37
	Cisterna de 30m ³	128	1.573,91	31.353,16	38,91	11,8	30	-3.309,06	-0,86
	Cisterna de 35m ³	133	1.573,91	36.669,05	38,91	13,8	30	-8.624,95	-2,16
	Cisterna de 40m ³	138	1.573,91	39.552,35	38,91	14,9	30	-11.508,25	-2,78
Demanda 3	Cisterna de 10m ³	163	2.597,19	17.503,37	66,86	4,0	30	29.720,56	6,09
	Cisterna de 20m ³	173	2.756,74	27.417,69	66,86	5,9	30	22.933,66	4,42
	Cisterna de 30m ³	183	2.916,30	33.184,28	66,86	6,7	30	20.294,49	3,70
	Cisterna de 40m ³	193	3.075,86	41.383,47	66,86	8,0	30	15.222,72	2,63
	Cisterna de 50m ³	203	3.235,42	57.098,20	66,86	10,4	30	2.635,40	0,43
	Cisterna de 60m ³	213	3.394,98	66.277,80	66,86	11,5	30	-3.416,79	-0,54
	Cisterna de 70m ³	223	3.554,54	75.457,41	66,86	12,5	30	-9.468,98	-1,42
	Cisterna de 80m ³	229	3.646,52	84.637,02	66,86	13,7	30	-16.845,72	-2,46

Tabela 16: *Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-alta.*

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	1.7	15,16	69,42	0,61	2,8	30	171,47	3,30
	Cisterna de 5m ³	1.9	16,38	142,97	0,61	5,3	30	121,76	2,17
	Cisterna de 10m ³	2.0	17,60	156,53	0,61	5,3	30	132,02	2,19
	Cisterna de 15m ³	2.1	18,81	220,40	0,61	7,0	30	91,98	1,43
	Cisterna de 20m ³	2.3	20,03	294,23	0,61	8,8	30	41,98	0,61
	Cisterna de 25m ³	2.4	21,24	334,28	0,61	9,4	30	25,76	0,35

Tabela 17: *Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa.*

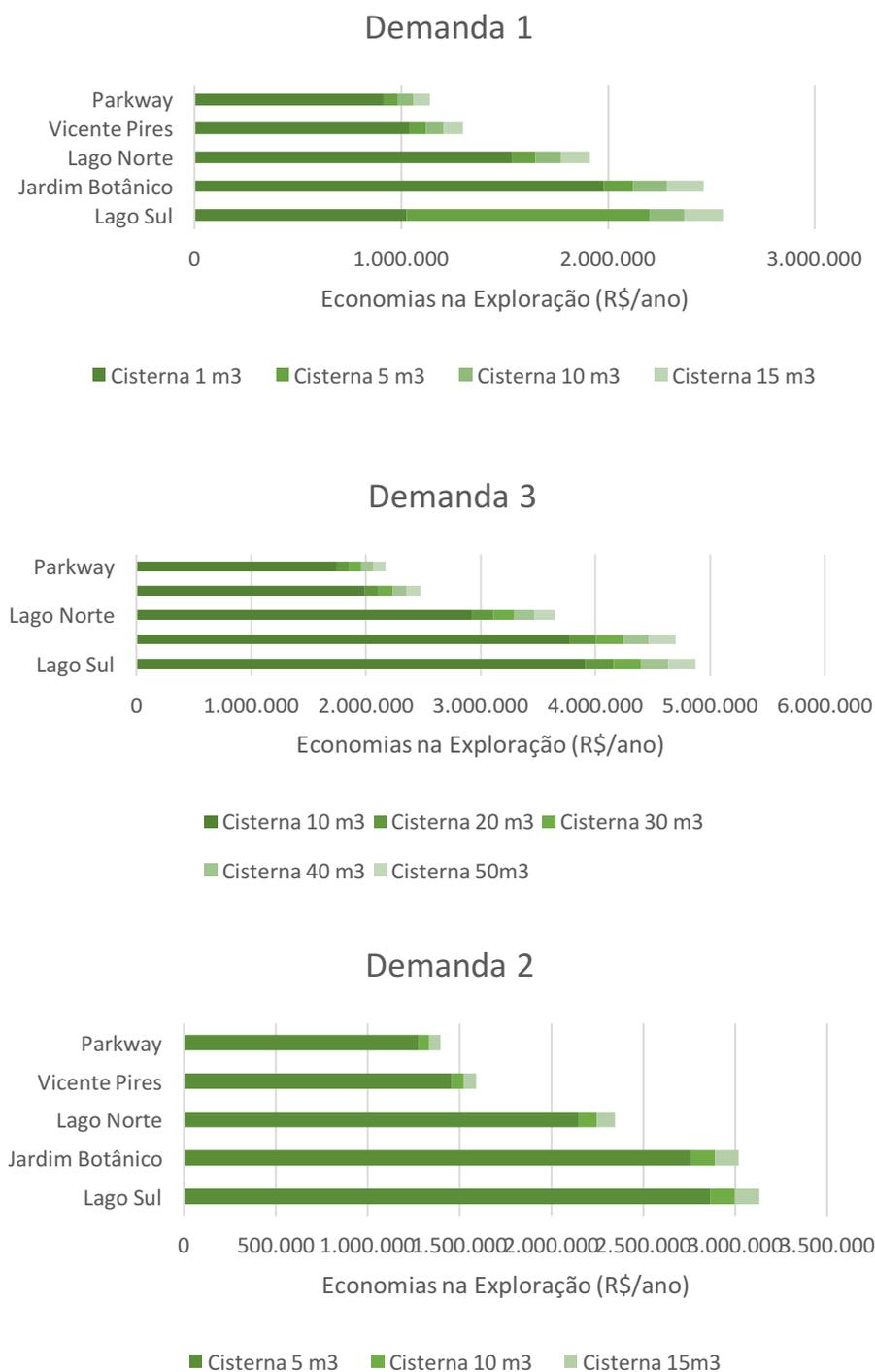
Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	13.6	116,40	2.871,91	8,08	15,4	30	-2.344,61	-5,73
	Cisterna de 5m ³	17.6	150,53	9.060,12	8,08	36,9	30	-7.864,00	-14,86
	Cisterna de 10m ³	19.0	162,29	10.036,75	8,08	37,7	30	-8.610,07	-15,09
	Cisterna de 15m ³	19.0	162,29	14.635,18	8,08	55,0	30	-13.208,50	-23,14
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	49.2	524,86	12.645,23	18,26	14,5	30	-4.758,11	-3,22
	Cisterna de 10m ³	54.2	567,51	13.621,85	18,26	14,4	30	-4.898,72	-3,01
	Cisterna de 15m ³	59.2	610,16	18.220,28	18,26	17,8	30	-8.661,13	-4,87
	Cisterna de 20m ³	64.2	652,82	23.536,18	18,26	21,5	30	-13.141,00	-6,82
Demanda 3	Cisterna de 5m ³	90.7	773,75	12.969,42	34,34	10,2	30	-519,02	-0,19
	Cisterna de 10m ³	95.7	816,41	13.946,04	34,34	10,3	30	-659,63	-0,23
	Cisterna de 15m ³	100.7	859,06	18.544,48	34,34	13,0	30	-4.422,04	-1,46
	Cisterna de 20m ³	105.7	901,71	23.860,37	34,34	15,9	30	-8.901,91	-2,81
	Cisterna de 25m ³	110.7	944,37	26.743,66	34,34	17,0	30	-10.949,18	-3,30
	Cisterna de 30m ³	115.7	987,02	29.626,95	34,34	18,0	30	-12.996,45	-3,74
	Cisterna de 35m ³	120.7	1.029,67	34.942,84	34,34	20,3	30	-17.476,32	-4,83
	Cisterna de 40m ³	122.4	1.043,88	37.826,14	34,34	21,7	30	-20.081,07	-5,47
Cisterna de 45m ³	122.4	1.043,88	40.709,43	34,34	23,4	30	-22.964,36	-6,26	

Tabela 18: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda baixa.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	11.3	83,74	2.759,15	8,25	21,2	30	-3.373,54	-9,97
	Cisterna de 5m ³	15.3	113,42	8.947,36	8,25	49,3	30	-8.979,89	-19,59
	Cisterna de 10m ³	15.5	114,88	9.923,98	8,25	53,9	30	-9.927,88	-21,38
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	37.7	367,57	12.605,11	15,46	20,7	30	-7.746,20	-6,85
	Cisterna de 10m ³	42.7	404,67	13.581,74	15,46	20,2	30	-7.995,51	-6,24
	Cisterna de 15m ³	47.7	440,43	18.180,17	15,46	24,8	30	-11.893,00	-8,31
	Cisterna de 20m ³	49.0	440,43	23.496,06	15,46	32,0	30	-17.208,89	-11,70
Demanda 3	Cisterna de 5m ³	70.8	520,85	13.805,13	23,16	16,1	30	-6.092,54	-2,89
	Cisterna de 10m ³	75.8	557,96	14.781,76	23,16	16,0	30	-6.341,85	-2,81
	Cisterna de 15m ³	80.8	595,07	19.380,19	23,16	19,6	30	-10.212,96	-4,25
	Cisterna de 20m ³	85.8	632,18	24.696,08	23,16	23,5	30	-14.801,54	-5,79
	Cisterna de 25m ³	90.8	669,28	27.579,37	23,16	24,7	30	-16.957,52	-6,27
	Cisterna de 30m ³	95.8	691,88	30.462,67	23,16	26,4	30	-19.397,94	-6,94

Para analisar a economia gerada através da utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, relacionou-se o potencial de redução da exploração dos recursos hídricos através do uso desses sistemas com as despesas de exploração para cada proporção percentual dos modelos representativos. Com essa análise obteve-se o valor em R\$/ano economizado em cada RA.

Figura 16: Economia gerada pelos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.



Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais viáveis para residências de renda alta são capazes de gerar uma economia mínima de R\$ 913.581,46 no Jardim Botânico, mas que pode atingir o valor de R\$ 4.874.532,33 no Lago Sul (Tabela 19). Como pode-se observar na Tabela 20, a economia média mensal obtida através do uso de cisternas de 50m³ para Demanda 3 em cada residência é de R\$ 31,77. Percebeu-se que quanto maior a capacidade da cisterna e quanto mais demandas, maior será a economia gerada (Figura 16). Nessa faixa de renda foi possível observar que para Demanda 1, no Lago Sul, o uso de cisternas de 15m³ apresenta os resultados mais altos, com uma economia de R\$ 2.555.537,11. Para a Demanda 2 a economia varia entre R\$ 1.275.421,73 e R\$ 3.130.364,95. Já para demanda 3, os resultados obtidos são os mais altos. Nessa demanda, a economia mínima é de R\$ 1.743.100,30.

A Tabela 21 demonstra que economia média mensal por residência gerada por sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residências de renda média-alta sendo de R\$ 0,45. Considerando que todas as residências dessa faixa de renda façam uso de cisterna de 25m³, as economias geradas chegam a R\$ 727.784,41 por ano. Na RA Brasília, mesmo considerando a menor cisterna, a economia é de R\$ 521.946,39 (Tabela 22). Nas demais regiões administrativas desta faixa de renda, as economias variam entre R\$ 36.487,38 e R\$ 476.490,94, como pode-se observar na Figura 17..

Figura 17: Economia na exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

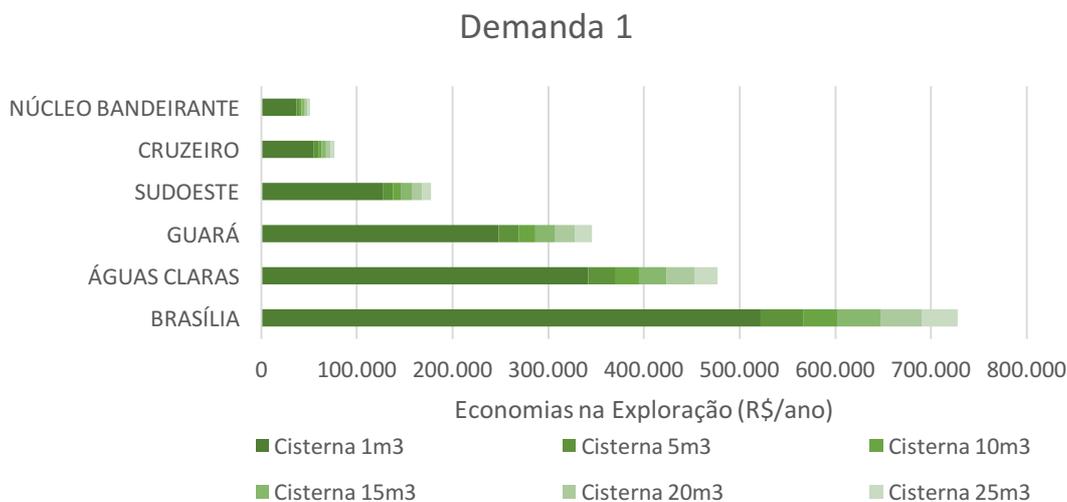


Tabela 19: Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

	LAGO SUL <i>(R\$/res/mês)</i>	PARK WAY <i>(R\$/res/mês)</i>	LAGO NORTE <i>(R\$/res/mês)</i>	JARDIM BOTÂNICO <i>(R\$/res/mês)</i>	VICENTE PIRES <i>(R\$/res/mês)</i>	ECONOMIA MÉDIA <i>(R\$/res/mês)</i>
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
<i>Cisterna 1m3 - Demanda 1</i>	R\$ 18,24	R\$ 9,27	R\$ 13,66	R\$ 8,12	R\$ 17,58	R\$ 13,37
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 1</i>	R\$ 19,57	R\$ 9,94	R\$ 14,65	R\$ 8,71	R\$ 18,86	R\$ 14,35
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 1</i>	R\$ 21,06	R\$ 10,70	R\$ 15,77	R\$ 9,38	R\$ 20,30	R\$ 15,44
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 1</i>	R\$ 22,72	R\$ 11,54	R\$ 17,01	R\$ 10,12	R\$ 21,90	R\$ 16,66
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 2</i>	R\$ 25,47	R\$ 12,94	R\$ 19,06	R\$ 11,34	R\$ 24,54	R\$ 18,67
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 2</i>	R\$ 26,65	R\$ 13,54	R\$ 19,95	R\$ 11,87	R\$ 25,68	R\$ 19,54
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 2</i>	R\$ 27,83	R\$ 14,14	R\$ 20,83	R\$ 12,39	R\$ 26,82	R\$ 20,40
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 3</i>	R\$ 34,81	R\$ 17,68	R\$ 26,06	R\$ 15,50	R\$ 33,54	R\$ 25,52
<i>Cisterna 20m3 - Demanda 3</i>	R\$ 36,97	R\$ 18,78	R\$ 27,67	R\$ 16,46	R\$ 35,63	R\$ 27,10
<i>Cisterna 30m3 - Demanda 3</i>	R\$ 39,13	R\$ 19,88	R\$ 29,29	R\$ 17,42	R\$ 37,71	R\$ 28,69
<i>Cisterna 40m3 - Demanda 3</i>	R\$ 41,18	R\$ 20,92	R\$ 30,82	R\$ 18,33	R\$ 39,68	R\$ 30,19
<i>Cisterna 50m3 - Demanda 3</i>	R\$ 43,34	R\$ 22,02	R\$ 32,44	R\$ 19,30	R\$ 41,76	R\$ 31,77

Tabela 20: Economia gerada nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

	LAGO SUL (R\$/ano)	PARK WAY (R\$/ano)	LAGO NORTE (R\$/ano)	JARDIM BOTÂNICO (R\$/ano)	VICENTE PIRES (R\$/ano)	TOTAL (R\$/ano)
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
<i>Cisterna 1m3 - Demanda 1</i>	R\$ 2.051.891,11	R\$ 1.042.357,90	R\$ 1.535.979,24	R\$ 913.581,46	R\$ 1.977.346,80	R\$ 7.521.156,51
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 1</i>	R\$ 2.201.119,55	R\$ 1.118.165,75	R\$ 1.647.686,82	R\$ 980.023,75	R\$ 2.121.153,84	R\$ 8.068.149,71
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 1</i>	R\$ 2.369.001,55	R\$ 1.203.449,58	R\$ 1.773.357,85	R\$ 1.054.771,33	R\$ 2.282.936,76	R\$ 8.683.517,06
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 1</i>	R\$ 2.555.537,11	R\$ 1.298.209,39	R\$ 1.912.992,32	R\$ 1.137.824,19	R\$ 2.462.695,56	R\$ 9.367.258,56
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 2</i>	R\$ 2.864.579,25	R\$ 1.455.202,38	R\$ 2.144.331,26	R\$ 1.275.421,73	R\$ 2.760.510,34	R\$ 10.500.044,96
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 2</i>	R\$ 2.997.472,10	R\$ 1.522.711,77	R\$ 2.243.810,55	R\$ 1.334.590,78	R\$ 2.888.575,25	R\$ 10.987.160,45
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 2</i>	R\$ 3.130.364,95	R\$ 1.590.221,16	R\$ 2.343.289,83	R\$ 1.393.759,83	R\$ 3.016.640,16	R\$ 11.474.275,94
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 3</i>	R\$ 3.914.978,72	R\$ 1.988.803,89	R\$ 2.930.626,29	R\$ 1.743.100,30	R\$ 3.772.749,26	R\$ 14.350.258,46
<i>Cisterna 20m3 - Demanda 3</i>	R\$ 4.158.065,64	R\$ 2.112.291,71	R\$ 3.112.593,29	R\$ 1.851.332,01	R\$ 4.007.004,93	R\$ 15.241.287,58
<i>Cisterna 30m3 - Demanda 3</i>	R\$ 4.401.152,55	R\$ 2.235.779,53	R\$ 3.294.560,28	R\$ 1.959.563,73	R\$ 4.241.260,61	R\$ 16.132.316,70
<i>Cisterna 40m3 - Demanda 3</i>	R\$ 4.631.445,42	R\$ 2.352.768,00	R\$ 3.466.950,06	R\$ 2.062.099,04	R\$ 4.463.187,03	R\$ 16.976.449,55
<i>Cisterna 50m3 - Demanda 3</i>	R\$ 4.874.532,33	R\$ 2.476.255,82	R\$ 3.648.917,05	R\$ 2.170.330,76	R\$ 4.697.442,71	R\$ 17.867.478,67

Tabela 21: Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

	BRASÍLIA (R\$/res/ano)	ÁGUAS CLARAS (R\$/res/ano)	SUDOESTE OCTOGONAL (R\$/res/ano)	NÚCLEO BANDEIRANTE (R\$/res/ano)	GUARÁ (R\$/res/ano)	CRUZEIRO (R\$/res/ano)	MÉDIA (R\$/res/ano)
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS							
<i>Cisterna 1m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,55	R\$ 0,58	R\$ 0,22	R\$ 0,06	R\$ 0,42	R\$ 0,09	R\$ 0,32
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,59	R\$ 0,63	R\$ 0,24	R\$ 0,07	R\$ 0,46	R\$ 0,10	R\$ 0,35
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,63	R\$ 0,67	R\$ 0,25	R\$ 0,07	R\$ 0,49	R\$ 0,11	R\$ 0,37
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,68	R\$ 0,72	R\$ 0,27	R\$ 0,08	R\$ 0,53	R\$ 0,12	R\$ 0,40
<i>Cisterna 20m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,72	R\$ 0,77	R\$ 0,29	R\$ 0,08	R\$ 0,56	R\$ 0,12	R\$ 0,43
<i>Cisterna 25m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,76	R\$ 0,81	R\$ 0,30	R\$ 0,09	R\$ 0,59	R\$ 0,13	R\$ 0,45

Tabela 22: Economia gerada nos modelos representativos de renda média-alta com o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

	BRASÍLIA	ÁGUAS CLARAS	SUDOESTE OCTOGONAL	NÚCLEO BANDEIRANTE	GUARÁ	CRUZEIRO	TOTAL
	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS							
<i>Cisterna 1m3 - Demanda 1</i>	R\$ 521.946,39	R\$ 341.725,82	R\$ 127.002,65	R\$ 36.487,38	R\$ 247.993,52	R\$ 54.741,75	R\$ 1.329.897,52
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 1</i>	R\$ 566.054,54	R\$ 370.604,06	R\$ 137.735,27	R\$ 39.570,82	R\$ 268.950,72	R\$ 59.367,81	R\$ 1.442.283,23
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 1</i>	R\$ 602.811,33	R\$ 394.669,26	R\$ 146.679,12	R\$ 42.140,35	R\$ 286.415,06	R\$ 63.222,87	R\$ 1.535.937,98
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 1</i>	R\$ 646.919,48	R\$ 423.547,50	R\$ 157.411,74	R\$ 45.223,79	R\$ 307.372,25	R\$ 67.848,93	R\$ 1.648.323,69
<i>Cisterna 20m3 - Demanda 1</i>	R\$ 691.027,62	R\$ 452.425,74	R\$ 168.144,35	R\$ 48.307,23	R\$ 328.329,45	R\$ 72.474,99	R\$ 1.760.709,39
<i>Cisterna 25m3 - Demanda 1</i>	R\$ 727.784,41	R\$ 476.490,94	R\$ 177.088,20	R\$ 50.876,76	R\$ 345.793,79	R\$ 76.330,05	R\$ 1.854.364,15

7.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

Em geral, os valores estimados dos sistemas de reúso de águas cinzas incluíram os custos unitários dos componentes, da rede de coleta, tratamento, armazenamento, rede de distribuição e demais equipamentos. A prática do tonel e balde considerou apenas o valor de uma bombona de 300L, enquanto que o sistema de desvio de águas cinzas, estimou os custos relativos a rede coletora de águas cinzas, um acumulador e rede de distribuição por irrigação subsuperficial. Para sistemas de reúso de águas cinzas tratadas, o custo da unidade de tratamento foi estimado em função do volume diário de águas cinzas produzido. Para os sistemas leitos cultivados, por ser um sistema praticamente artesanal, o custo do sistema considerou a fabricação dos tanques impermeabilizados com lona, incluindo ainda os custos do meio de suporte e da quantidade estimada de plantas que cada unidade do sistema comportaria, pela área superficial de cada um. As estimativas de custo para todos os equipamentos e componentes foram baseadas no menor preço de pelo menos três cotações obtidas de fornecedores locais.

Os custos da instalação dos sistemas de reúso de água foram compostos pela preparação do local e pela mão de obra. Os custos operacionais incluíram consumo de energia e custo de mão-de-obra para a manutenção do sistema. O consumo anual de energia da bomba de água e de sopradores (tratamento biológico) foi estimado pelo produto da potência do equipamento, sua frequência de uso anual e tarifa de energia elétrica. Resultados da análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas podem ser visualizados nas Tabelas 23 a 26.

Considerando uma vida útil de 30 anos, a prática do tonel e balde e sistemas de desvio de águas cinzas provaram ser opções viáveis, apresentando um período de retorno baixo para investimento em casas. Para prédios de apartamentos, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas provaram ser viável, considerando que o reúso de águas cinzas em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Demanda 2) e em lavagem de roupas (Demanda 3) obtiveram um retorno de aproximadamente 1 ano. Vale a pena ressaltar que os custos de investimento de sistemas de reúso de águas cinzas em prédios residenciais são divididos entre os moradores, o que acaba viabilizando seu alto custo de investimento. Em geral, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas em casas provou ser inviável em função do seu elevado custo capital e operacional, levando a períodos de retorno superiores a vida útil do sistema e, em residências de renda média-baixa e baixa, os custos operacionais superam os benefícios gerados.

Para os sistemas leito cultivados, a instalação mostrou ser viável para casas de renda alta, renda média-baixa e renda baixa. Considerando o *Pay-back* simples, a demanda 2 e 3 mostrou-se mais vantajosa para residências de renda alta. Ao considerar o valor presente líquido dos investimentos em tonel e balde, a rentabilidade em casas pode chegar a R\$15.561,38 em residências de renda alta, R\$3.130,43 em residências de renda média-baixa e R\$2.188,34 em residências de renda baixa. No caso de casas com jardim, sistemas de desvio de águas cinzas são soluções que geram uma boa rentabilidade, em média, R\$17.146,35 em 30 anos de uso.

A rentabilidade de sistemas de tratamento de águas cinzas em prédios residenciais de renda média-alta chegam a R\$ 5.293,77 (Demanda 2) e R\$9.858,69 (Demanda 3). Sistemas LC mostraram-se

viáveis para todas as demandas de residências de renda alta, chegando a R\$ 19.967,92. Para residências de renda média-alta apresentou rentabilidade de até R\$ 11.675,23, enquanto que em residências de renda baixa, apresentou rentabilidade para a demanda 3 de R\$ 6.284,49.

O custo incremental médio foi calculado num prazo de 30 anos. Em termos globais, os benefícios econômicos gerados pela prática do tonel e balde foram equivalentes a 10,32 R\$/m³ de água economizada em residências de renda alta, 5,41 R\$/m³ para residências de renda média-alta e 4,65 R\$/m³ para residências de renda baixa. Em residências de renda média-alta, os benefícios gerados por sistemas de tratamento de águas cinzas chegam a 5,04 R\$/m³ de água economizada. Para leitos cultivados observa-se benefícios máximo gerados de até 5,97 R\$/m³.

Tabela 23: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda alta.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Prática do Tonel e Balde	50	802,27	163,40	0,00	0,2	30	15.561,38	10,32
Sistema de Desvio de Águas Cinzas	84	1340,33	9124,62	0,00	7,9	30	17.146,35	6,80
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1	84	1340,33	9451,29	790,93	25,9	30	-67,40	-0,03
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2	148	2.356,84	36680,13	1.571,84	80	30	-22.678,23	-5,12
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3	164	2.613,59	36789,61	1.599,79	56	30	-18.303,11	-3,72
Sistema Leito cultivado – Demanda 1	86,14	1.041,43	2.924,84	400,00	4,56	30	R\$ 13.497,21	5,22
Sistema Leito cultivado – Demanda 2	111,44	1.347,33	3.399,81	400,00	3,59	30	R\$ 19.967,92	5,97
Sistema Leito cultivado – Demanda 3	111,44	1.347,33	3.399,81	400,00	3,59	30	R\$ 19.967,92	5,97

Tabela 24: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-alta.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1	2,7	23,24	458,42	13,66	27,7	30	-276,10	-3,47
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2	38,5	337,40	624,39	34,34	1,2	30	5.293,77	4,58
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3	65,2	571,04	638,95	34,34	0,7	30	9.858,69	5,04

Tabela 25: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-baixa.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	19,3	164,54	163,40	0,00	0,6	30	3.130,43	5,41
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	19,3	164,54	7287,87	704,66	*	30	---	---
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	67,8	578,41	35338,56	1.599,79	*	30	---	---
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	148,8	1.269,29	35448,04	1.599,79	*	30	---	---
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	67,89	460,29	3.131,93	400,00	51,94	30	R\$ 2.313,73	1,14
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	138,34	937,91	3.131,93	400,00	5,82	30	R\$ 11.675,23	2,81

* Custos operacionais superam benefícios financeiros.

Tabela 26: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda baixa.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	15,7	116,48	163,40	0,00	0,8	30	2.188,34	4,65
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	15,7	116,48	6.495,69	1.360,88	*	30	---	---
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	50,2	372,36	34.067,47	1.540,64	*	30	---	---
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	125,5	931,63	34.178,51	1.548,33	*	30	---	---
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	100,74	683,02	2.737,22	400,00	9,67	30	R\$ 6.284,49	2,08

* Custos operacionais superam benefícios financeiros.

Para analisar a economia gerada através da utilização de sistemas de reúso de águas cinzas, relacionou-se o potencial de redução da exploração dos recursos hídricos através do uso desses sistemas com as despesas de exploração para cada proporção percentual dos modelos representativos. Com essa análise obteve-se o valor em R\$/ano economizado em cada RA.

Os sistemas de reúso de águas cinzas considerados viáveis para residências de renda alta são capazes de gerar uma economia mínima de R\$ 789.002,17 para sistemas tonel e balde no Jardim Botânico, podendo chegar a R\$ 3.917.246,66 considerando sistemas leito cultivado no Lago Sul, conforme pode-se observar na Figura 18. Os sistemas leito cultivado para demanda 2 são capazes de promover as maiores economias, variando entre R\$ 3.917.246,66 e R\$ 1.744.110,07, gerando uma economia média mensal de R\$25,50 por residência (Tabela 28). Os sistemas leito cultivado promovem economias financeiras similares, variando entre R\$ 1.328.845,77 e R\$ 3.917.246,66. Já os sistemas de reúso pela prática tonel e balde, apesar dos baixos valores comparados aos demais, geraram economias muito significativas considerando sua facilidade de implementação, com uma economia que chega a R\$ 1.772.087,77.

Figura 18: Economia na exploração de recursos hídricos para modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

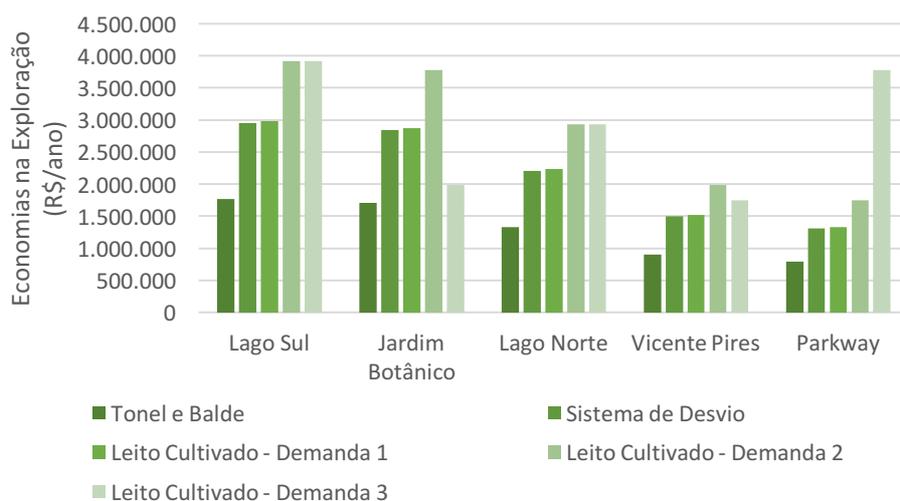


Tabela 27: Economia gerada por residência nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	LAGO SUL (R\$/res/mês)	PARK WAY (R\$/res/mês)	LAGO NORTE (R\$/res/mês)	JARDIM BOTÂNICO (R\$/res/mês)	VICENTE PIRES (R\$/res/mês)	ECONOMIA MÉDIA (R\$/res/mês)
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS						
<i>Prática tonel e balde</i>	R\$ 15,76	R\$ 11,12	R\$ 9,36	R\$ 17,73	R\$ 3,71	R\$ 11,55
<i>Sistema de desvio de águas cinzas</i>	R\$ 26,20	R\$ 18,49	R\$ 15,56	R\$ 29,49	R\$ 6,17	R\$ 19,18
<i>Sistema Leito Cultivado - Demanda 1</i>	R\$ 26,54	R\$ 18,72	R\$ 15,76	R\$ 29,86	R\$ 6,25	R\$ 19,43
<i>Sistema Leito Cultivado Demanda 2</i>	R\$ 34,83	R\$ 24,58	R\$ 20,68	R\$ 39,19	R\$ 8,21	R\$ 25,50
<i>Sistema Leito Cultivado Demanda 3</i>	R\$ 34,83	R\$ 24,58	R\$ 20,68	R\$ 39,19	R\$ 8,21	R\$ 25,50

Tabela 28: Economia gerada nos modelos representativos de renda alta com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas.

	LAGO SUL (R\$/ano)	PARK WAY (R\$/ano)	LAGO NORTE (R\$/ano)	JARDIM BOTÂNICO (R\$/ano)	VICENTE PIRES (R\$/ano)	TOTAL (R\$/ano)
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS						
<i>Prática tonel e balde</i>	R\$ 1.772.087,77	R\$ 900.218,19	R\$ 1.326.527,52	R\$ 789.002,17	R\$ 1.707.708,60	R\$ 6.495.544,26
<i>Sistema de desvio de águas cinzas</i>	R\$ 2.947.261,77	R\$ 1.497.204,99	R\$ 2.206.224,72	R\$ 1.312.235,19	R\$ 2.840.189,04	R\$ 10.803.115,71
<i>Sistema Leito Cultivado - Demanda 1</i>	R\$ 2.984.568,88	R\$ 1.516.156,95	R\$ 2.234.151,62	R\$ 1.328.845,77	R\$ 2.876.140,80	R\$ 10.939.864,01
<i>Sistema Leito Cultivado Demanda 2</i>	R\$ 3.917.246,66	R\$ 1.989.956,00	R\$ 2.932.324,00	R\$ 1.744.110,07	R\$ 3.774.934,80	R\$ 14.358.571,52
<i>Sistema Leito Cultivado Demanda 3</i>	R\$ 3.917.246,66	R\$ 1.989.956,00	R\$ 2.932.324,00	R\$ 1.744.110,07	R\$ 3.774.934,80	R\$ 14.358.571,52

8. Propostas de Políticas Tarifárias

A política tarifária vigente no Brasil de cobrança de água e esgoto segue a CF/1988, art. 21 e 23. Lei n. 8.987/1995, art. 13, e a Lei n. 11.445/2007. Essa tarifa é cobrada para atender os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, visando atender às despesas de operação, manutenção, ampliação e melhoria dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. No Distrito Federal, esses serviços são prestados pela CAESB, cuja política tarifária busca garantir o abastecimento de água para toda a população, ao mesmo tempo em que procura coibir consumos abusivos e garantir, a todos os moradores do DF, independentemente da condição econômica, o acesso aos serviços de saneamento básico. Desta forma, quanto menor o consumo, menor o valor da alíquota cobrada por metro cúbico. Essa política de tarifas é regulamentada pela ADASA e obedece a Lei n° 11.445/2007. O bloco tarifário por faixa de válido para o período de 1º de junho de 2016 a 31 de maio de 2017, conforme a Resolução ADASA n° 5, de 28/04/2016, estão sumarizadas na Tabela 29 abaixo:

Tabela 29: Estrutura tarifária residencial por faixa de consumo.

Faixa (m ³)	Vol. Faixa	Alíquota (R\$/m ³)
1) 0 a 10	10	2,86
2) 11 a 15	5	5,31
3) 16 a 25	10	6,78
4) 26 a 35	10	10,96
5) 36 a 50	15	12,09
6) > 50		13,25

Os resultados obtidos pela análise de viabilidade econômica nos permitem estimar o valor economizado nas despesas de exploração de recursos hídricos em residências de alta renda (Tabela 30) e média-alta renda (Tabela 31). Em média, sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem gerar economias equivalentes a R\$14,95 (Demanda 1), R\$ 19,54 (Demanda 2) e R\$28,65 (Demanda 3) por residência de alta renda por ano, enquanto sistemas de reúso de águas cinzas podem promover, em média, economias de R\$19,21 (Desvio de Águas Cinzas), R\$19,45 (Leito Cultivado – Demanda 1) e R\$34,02 (Leito Cultivado – Demanda 2) em residências de renda alta por ano. Em residências de renda média-alta, as economias voltadas ao aproveitamento de águas pluviais em usos externos (Demanda 1) chegam, em média, R\$0,45 por ano e pelo reúso de águas cinzas, chegam a R\$7,15 (Demanda 2) e R\$12,09 (Demanda 3) em residências de renda média-alta por ano.

Uma tarifa diferenciada (Tarifa-Prêmio) aos proprietários que possuem um sistema predial voltado ao aproveitamento de águas pluviais ou reúso de águas cinzas registrado junto à ADASA poderia ser proposto, subtraindo esses valores economizados pelas reduções nas despesas de exploração na conta mensal de água e esgoto. Esta Tarifa-Prêmio poderia ser fixa, seguindo correções de acordo com o aumento nos custos de exploração, ou poderia servir como um mecanismo temporário com o intuito

de estimular proprietários a investir nesses sistemas. Outra proposta para uma Tarifa-Prêmio, seria na elevação dos valores das últimas faixas tarifárias permitindo que os grandes consumidores subsidiem aqueles que fazem uso de fontes alternativas de água.

Tabela 30: Valor médio economizado nas despesas de exploração de recursos hídricos por residência de alta renda.

	LAGO SUL (R\$/res/mês)	PARK WAY (R\$/res/mês)	LAGO NORTE (R\$/res/mês)	JARDIM BOTÂNICO (R\$/res/mês)	VICENTE PIRES (R\$/res/mês)	ECONOMIA MÉDIA (R\$/res/mês)
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
<i>Cisterna 1m³ - Demanda 1</i>	R\$ 18,24	R\$ 9,27	R\$ 13,66	R\$ 8,12	R\$ 17,58	R\$ 13,37
<i>Cisterna 5m³ - Demanda 1</i>	R\$ 19,57	R\$ 9,94	R\$ 14,65	R\$ 8,71	R\$ 18,86	R\$ 14,35
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 1</i>	R\$ 21,06	R\$ 10,70	R\$ 15,77	R\$ 9,38	R\$ 20,30	R\$ 15,44
<i>Cisterna 15m³ - Demanda 1</i>	R\$ 22,72	R\$ 11,54	R\$ 17,01	R\$ 10,12	R\$ 21,90	R\$ 16,66
<i>Cisterna 5m³ - Demanda 2</i>	R\$ 25,47	R\$ 12,94	R\$ 19,06	R\$ 11,34	R\$ 24,54	R\$ 18,67
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 2</i>	R\$ 26,65	R\$ 13,54	R\$ 19,95	R\$ 11,87	R\$ 25,68	R\$ 19,54
<i>Cisterna 15m³ - Demanda 2</i>	R\$ 27,83	R\$ 14,14	R\$ 20,83	R\$ 12,39	R\$ 26,82	R\$ 20,40
<i>Cisterna 10m³ - Demanda 3</i>	R\$ 34,81	R\$ 17,68	R\$ 26,06	R\$ 15,50	R\$ 33,54	R\$ 25,52
<i>Cisterna 20m³ - Demanda 3</i>	R\$ 36,97	R\$ 18,78	R\$ 27,67	R\$ 16,46	R\$ 35,63	R\$ 27,10
<i>Cisterna 30m³ - Demanda 3</i>	R\$ 39,13	R\$ 19,88	R\$ 29,29	R\$ 17,42	R\$ 37,71	R\$ 28,69
<i>Cisterna 40m³ - Demanda 3</i>	R\$ 41,18	R\$ 20,92	R\$ 30,82	R\$ 18,33	R\$ 39,68	R\$ 30,19
<i>Cisterna 50m³ - Demanda 3</i>	R\$ 43,34	R\$ 22,02	R\$ 32,44	R\$ 19,30	R\$ 41,76	R\$ 31,77
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS						
<i>Sistema de Desvio de Águas Cinzas</i>	R\$ 26,20	R\$ 18,49	R\$ 15,56	R\$ 29,49	R\$ 6,17	R\$ 19,18
<i>Sistema Leito Cultivado - Demanda 1</i>	R\$ 26,54	R\$ 18,72	R\$ 15,76	R\$ 29,86	R\$ 6,25	R\$ 19,43
<i>Sistema Leito Cultivado - Demanda 2</i>	R\$ 34,83	R\$ 39,19	R\$ 20,68	R\$ 8,21	R\$ 24,58	R\$ 25,50
<i>Sistema Leito Cultivado - Demanda 3</i>	R\$ 34,83	R\$ 39,19	R\$ 20,68	R\$ 8,21	R\$ 24,58	R\$ 25,50

Tabela 31: Valor médio economizado nas despesas de exploração de recursos hídricos por residência de média-alta renda.

	BRASÍLIA (R\$/res/ano)	ÁGUAS CLARAS (R\$/res/ano)	SUDOESTE OCTOGONAL (R\$/res/ano)	NÚCLEO BANDEIRANTE (R\$/res/ano)	GUARÁ (R\$/res/ano)	CRUZEIRO (R\$/res/ano)	MÉDIA (R\$/res/ano)
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS							
<i>Cisterna 1m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,55	R\$ 0,58	R\$ 0,22	R\$ 0,06	R\$ 0,42	R\$ 0,09	R\$ 0,32
<i>Cisterna 5m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,59	R\$ 0,63	R\$ 0,24	R\$ 0,07	R\$ 0,46	R\$ 0,10	R\$ 0,35
<i>Cisterna 10m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,63	R\$ 0,67	R\$ 0,25	R\$ 0,07	R\$ 0,49	R\$ 0,11	R\$ 0,37
<i>Cisterna 15m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,68	R\$ 0,72	R\$ 0,27	R\$ 0,08	R\$ 0,53	R\$ 0,12	R\$ 0,40
<i>Cisterna 20m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,72	R\$ 0,77	R\$ 0,29	R\$ 0,08	R\$ 0,56	R\$ 0,12	R\$ 0,43
<i>Cisterna 25m3 - Demanda 1</i>	R\$ 0,76	R\$ 0,81	R\$ 0,30	R\$ 0,09	R\$ 0,59	R\$ 0,13	R\$ 0,45
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS							
<i>Tratamento de águas cinzas - Demanda 2</i>	R\$ 12,18	R\$ 13,00	R\$ 4,83	R\$ 1,39	R\$ 9,43	R\$ 2,08	R\$ 7,15
<i>Tratamento de águas cinzas - Demanda 3</i>	R\$ 20,58	R\$ 21,97	R\$ 8,16	R\$ 2,35	R\$ 15,94	R\$ 3,52	R\$ 12,09

Verifica-se, entretanto, um obstáculo enfrentado pela ADASA quando é preciso: i) averiguar qual o nível da estrutura dos preços que vai proteger os consumidores e a empresa; e ii) fornecer incentivos para o fornecimento de água de qualidade de forma eficiente. Com isso, é necessário estabelecer uma receita de equilíbrio para o Regulado e uma tarifa justa para os consumidores. Segundo ADASA (2008), os preços da água têm uma função específica no quadro regulatório. Para os prestadores de serviço eles proporcionam um sinal sobre a quantidade de água necessária para abastecimento. Para os usuários esses mesmos preços proporcionam um sinal sobre a forma de como consumir.

Os preços também são usados como instrumentos de eficiência. Nesse sentido, a água deve ser considerada como um produto diferente dependendo: i) do local onde ela é produzida e consumida; ii) da sua qualidade, incluindo os efeitos que a qualidade da água tem naqueles que não a consomem; e iii) do período do dia ou do ano quando ela é fornecida e consumida. Em resumo, os custos de fornecimento de água dependem obviamente da qualidade desejada de água, dos custos de transporte e do volume a ser transportado, em determinado momento, contudo, se considerar que o morador estará atuando como produtor de água em sua própria residência, ao utilizar fontes alternativas, seja com águas pluviais, seja com águas cinzas, a preocupação principal estará na qualidade da água produzida.

A Lei Federal nº 5.027/96 institui o Código Sanitário do Distrito Federal, e no que se refere à água, o art. 17, estabelece: “*Compete ao órgão de administração do abastecimento de água o exame periódico das suas redes e demais instalações, com o objetivo de constatar a possível existência de condições que possam prejudicar a saúde da comunidade*”. Em todo caso, se a CAESB for responsável pela tarifação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais ou reúso de águas cinzas devesse periodicamente atestar a qualidade do recurso, contudo, essa nova atribuição excederia suas atribuições estabelecidas previamente em seu contrato de concessão, que foi celebrado em 23 de fevereiro de 2006 com a ADASA.

Esse contrato tem por objeto a regulação da exploração do serviço público de saneamento básico, constituído pelo abastecimento de água e pelo esgotamento sanitário, objeto de que é titular a CAESB no Distrito Federal, consoante estabelece a Lei do Distrito Federal no 2.954, de 22 de abril de 2002. O contrato também estabelece em sua Cláusula Sétima - Tarifas Aplicáveis na Comercialização do Serviço Público de Saneamento Básico - a responsabilidade da ADASA na realização dos reajustes tarifários anuais, nas revisões tarifárias periódicas e nas eventuais revisões tarifárias extraordinárias. O regime tarifário aplicado pela CAESB estabelecido pelo contrato de concessão é o por preço-teto (*price cap*) num contexto de regulação por incentivo.

Tradicionalmente, no Brasil, as águas pluviais e as águas de reúso não são taxadas. Com relação a águas pluviais o Artigo 36 da Lei de Saneamento Básico diz:

Art. 36. A cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, bem como poderá considerar:

I - o nível de renda da população da área atendida;

II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas.

Contudo, nada é mencionado acerca da captação, armazenamento e aproveitamento dessas águas em domicílios residenciais para usos não potáveis. A CAESB na Lei 442/1993, que regulamenta e classifica as tarifas dos serviços de água e esgoto no Distrito Federal, estabelece para ‘Ligações indevidas de águas pluviais à rede domiciliar de esgotos’ um fator de 60 a ser aplicado ao valor de 10 m³ de consumo de água da categoria na qual se enquadra o imóvel, contudo uso dessa fonte para descarga sanitária produziria esgoto convencional que iria direto para a rede de esgotamento como esgoto convencional.

No setor residencial os benefícios ligados à conservação e economia de água são facilmente entendidos pelo consumidor quando afeta seu lado financeiro. Incentivos econômicos diretos através da cobrança sempre resultam em bons resultados em relação à conservação de água, principalmente em edificações residenciais. No âmbito internacional o reúso de águas cinzas é o principal foco no desenvolvimento de tecnologias, sobretudo para edificações residenciais. O Brasil começa a despertar para a realidade da crise hídrica e políticas públicas que incentivem uso de fontes alternativas como, águas pluviais e águas cinzas precisam ser implementadas de forma que a prática do aproveitamento e do reúso sejam hábitos diários na vida das pessoas.

De acordo com as análises realizadas para medir a capacidade de redução de exploração de recursos hídricos e ainda, a redução das despesas de exploração por meio do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais ou reúso de águas cinzas em nas edificações do DF, pode-se concluir que as economias nas despesas de tratamento e distribuição de água potável geradas pelo aproveitamento de águas pluviais em usos internos (descarga sanitária e lavagem de roupas) é capaz de subsidiar as despesas relacionadas na coleta e tratamento do esgoto lançado na rede da concessionária.

O uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais mostrou-se viável em residências de renda alta e média-alta. Com isso, o consumo de água potável seria reduzido em no mínimo 2.834×10^3 m³/ano e no máximo 5.566×10^3 m³/ano, conforme Figura 19, contudo haverá produção de esgoto de 2.019×10^3 m³/ano. Com o volume de água economizado, a Caesb reduzirá sua despesa em R\$10.500.045 no mínimo com o tratamento, esse valor poderá financiar as despesas com o tratamento de esgoto, que serão de R\$ 4.726.247,76. Portanto, recomenda-se que não haja cobrança adicional de taxas por geração de esgoto proveniente do uso de águas pluviais.

O uso de sistemas de reúso de águas cinzas se mostrou viável apenas para residências de renda alta. Nesse caso, o consumo de água potável seria reduzido em no mínimo 1.388×10^3 m³/ano e no máximo 4.091×10^3 m³/ano, contudo haverá produção de esgoto de no mínimo 848.301×10^3 m³/ano. Com o volume de água economizado, a Caesb reduzirá sua despesa em até R\$19.144.762 por ano com o tratamento, esse valor, também, poderá financiar as despesas com o tratamento de esgoto, que serão de no máximo R\$1.985.024 por ano.

Portanto, recomenda-se que não haja cobrança adicional de taxas por geração de esgoto proveniente do reúso de águas cinzas. O esgoto gerado a partir dessa fonte, também não conterá produtos químicos adicionais, uma vez que, essa água deverá obedecer aos critérios de qualidade estabelecidos para cada uso final. Atualmente, o volume de esgoto tratado é inferior ao volume de esgoto faturado pela Caesb. A **Figura 20** mostra essa relação com o valor total de despesas para o tratamento do efluente.

Figura 19: *Redução do consumo de água potável pelo uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais*

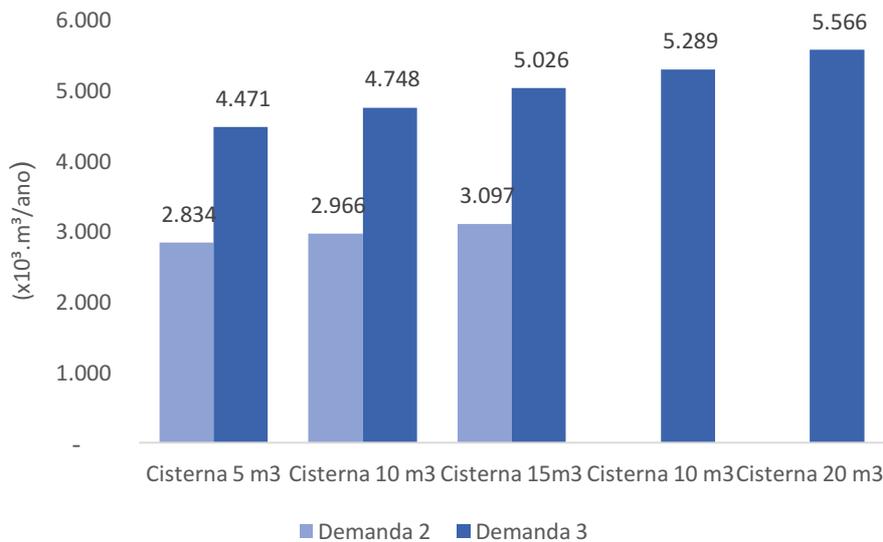
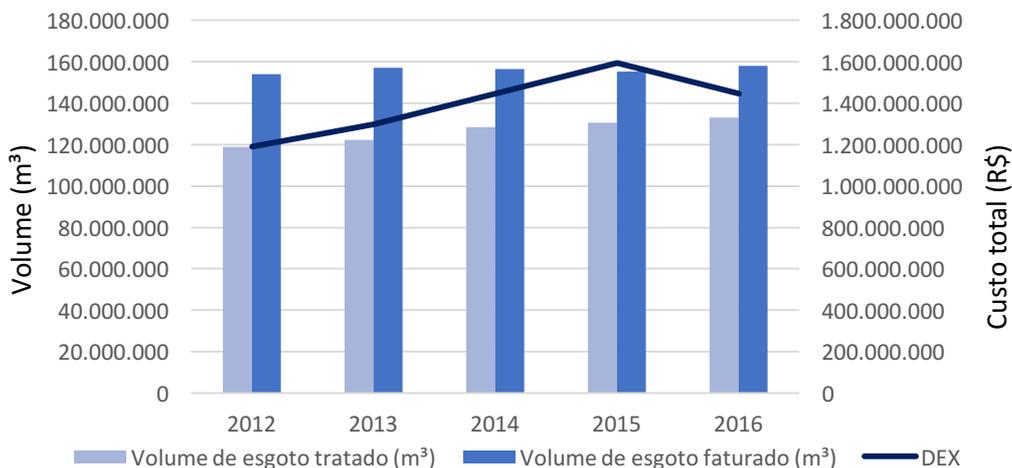


Figura 20: *Relação entre o volume de esgoto tratado, faturado e as despesas de exploração no DF*



Em resumo, fazer aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas suplementa a demanda por água potável para fins não potáveis com o uso de uma fonte confiável e alternativa. Promove economia financeira e ainda dispensa o uso de quantidades consideráveis de água que servirão para aumentar o fluxo de água nos ecossistemas vitais. Em tempos de baixa pluviosidade, disponibilizará água para atender uma maior quantidade de habitantes, no qual, na mesma época ocorre diminuição

do volume de água disponível nos reservatórios, e as famílias são submetidas a racionamento e tarifas de contingência.

Nesse cenário, recomenda-se que as residências que instalarem um sistema de aproveitamento de águas pluviais ou reúso de águas cinzas, deverão se cadastrar junto a Caesb e poderão ficar isentas da tarifa de contingência.

9. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em termos de adaptação predial, economia de água, relação custo-benefício e adaptação predial em diferentes tipologias residenciais de diferentes faixas de renda familiar no Distrito Federal. Com o intuito de atingir os objetivos traçados, esta pesquisa incorporou metodologias quantitativas e qualitativas para a coleta de dados primários das principais tipologias residenciais do Distrito Federal e, com isso, compôs quatro modelos representativos baseados em médias estatísticas para as análises de viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas. Os resultados de ambas abordagens metodológicas foram agrupados de acordo com sua tipologia residencial e faixa de renda, em salários mínimos (s.m.): renda alta (acima de 20 s.m.) renda média-alta (10-20 s.m.), renda média-baixa (5-10 s.m.) e baixa renda (1-5 s.m.).

Uma das principais conclusões extraídas desse estudo é que características tipológicas, renda familiar e comportamento de usuários afetam os padrões de consumo doméstico de água e, portanto, devem ser consideradas em previsões de demanda de água, no dimensionamento e na avaliação de estratégias conservadoras de água. Em geral, os resultados sugerem que há uma relação direta entre renda familiar e consumo doméstico de água, onde, quanto maior o nível de renda, maior o consumo de água per capita. Apesar de cada residência apresentar padrões de usos-finais do consumo de água distintos, em geral, chuveiros, máquinas de lavar roupa, lavatórios e torneiras de cozinha apresentaram as maiores taxas de consumo interno de água. Os usos-finais do consumo externo de água em irrigação e lavagem de pisos representam 13% do consumo total. Os resultados indicam que o consumo de água em irrigação é inversamente proporcional à umidade relativa do ar, onde, quanto menor a umidade relativa do ar, maior é o consumo em irrigação.

Para a análise de viabilidade técnica, foi realizado um levantamento quantitativo e qualitativo em oito Regiões Administrativas do Distrito Federal para coleta de dados primários das principais características tipológicas de edificações residenciais de acordo com sua faixa de renda familiar. Com isso, foi possível identificar as principais configurações hidráulicas existentes e apresentar possíveis soluções para adaptação predial pela instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações existentes. Em geral, observou-se que a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em novas edificações são facilmente executadas. Porém, considerando a adaptação predial das edificações residenciais existentes no Distrito Federal, verificou-se que sistemas isolados voltados ao aproveitamento de águas pluviais ou ao reúso de águas cinzas exigem pequenas modificações da rede hidráulica existente em pontos de uso externos. Em alguns casos, a adaptação predial para o aproveitamento de águas pluviais em descargas sanitárias não exige grandes reformas prediais. A adaptação predial para o reúso de águas cinzas já exige uma análise mais aprofundada, pois pode variar entre as diferentes composições hidráulicas existentes.

Os resultados também apontam soluções ótimas para cada bolso, segundo nível de renda familiar e tipologia residencial, demonstrando os benefícios gerados em R\$/m³ de água economizada. Para residências de renda alta, a melhor opção é o emprego de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, pela sua simplicidade e economias chegando a 229 m³/residência/ano (redução de 43% da demanda predial). Investimentos em sistemas com cisternas de 10m³ voltados ao aproveitamento de águas pluviais em irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas (Demanda 3) apresentam uma alta rentabilidade ao longo de sua vida útil estimada (R\$ 29.720,56) com benefícios econômicos chegando a 6,09 R\$/m³ de água economizada.

Em média, a área de cobertura dos prédios residenciais não é grande o suficiente para suprir a elevada demanda de água em descarga sanitária e lavagem de roupas. Contudo, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas provou ser a melhor alternativa para prédios residenciais de renda média-alta, com economias chegando a 65 m³/residência/ano, com um potencial de redução do consumo de água de 27%, rentabilidade equivalente a 9.858,69 R\$/residência ao longo do ano, e benefícios econômicos de 5,04 R\$/m³ de água economizada.

A única medida rentável para casas de renda média-baixa e baixa foi a prática do tonel e balde. Para residências de renda média-baixa, o potencial de redução foi de 6,9%. Já para residências de renda baixa, 6,8%. Benefícios econômicos chegaram a 5,41 R\$/m³ (renda média-baixa) e 4,65% R\$/m³ (renda baixa), e rentabilidade de R\$ 3.130,43 e R\$ 2.188,34 ao longo de sua vida útil.

Em geral, observou-se que sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas são viáveis em edificações de elevado consumo de água. Baseado nas estratégias viáveis, foi averiguado as reduções de exploração de recursos hídricos. Em geral, a redução exploração de recursos hídricos pode chegar a 5.566.000 m³/ano (176 L/s) em residências de renda alta e 10.686.000 m³/ano (339 L/s) em residências de renda média alta. Consequentemente, esses sistemas promovem uma economia financeira para a concessionária pela redução nas Despesas de Exploração de água e esgoto em até R\$19.144.762,02 por ano em casas de alta renda e até R\$50.011.639,18 por ano em prédios de apartamento.

Baseando-se nos resultados da análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica, alguns princípios de políticas tarifárias são sugeridos. A primeira, é de que imóveis que contém um sistema predial de aproveitamento de águas pluviais ou de reúso de águas cinzas devidamente registrado junto à ADASA devem ser dispensadas de tarifa de contingência em períodos de racionamento de água. Outra sugestão é de criar uma Tarifa-Prêmio àquelas edificações que contém um sistema registrado junto à ADASA. Nesse caso, as economias mensais geradas pela redução das despesas de exploração (DEX) sejam utilizadas como desconto ao proprietário (em média R\$18,91 por mês), ou até mesmo elevar a tarifa dos últimos blocos tarifários para que grandes consumidores subsidiem esta Tarifa-Prêmio. A princípio, este mecanismo de incentivo pode ser temporário, mas preferencialmente deveria ser utilizado constantemente com o intuito de preservar os recursos hídricos para futuras gerações.

Por último, vale a pena destacar que não existe a necessidade de cobrar uma tarifa adicional aos imóveis que aproveitam águas pluviais ou fazem o reúso de águas cinzas em usos internos como descargas sanitárias e lavagem de roupas. As economias geradas pela redução nas despesas de

tratamento e distribuição de água neutralizam os custos de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Em outras palavras, as economias geradas pela redução no consumo fornecem um subsídio para a concessionária tratar o efluente não contabilizado pelo hidrômetro da unidade. Sistemas de reúso de águas cinzas em descarga sanitária ou lavagem de roupas necessitam de tratamento do efluente a níveis adequados antes de seu reúso. Para tanto, o efluente a ser lançado na rede de esgoto não se encontra com um nível de contaminação acima do padrão, não gerando custos adicionais em seu tratamento.

Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 13969**: tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. 60p.

ADASA. **Níveis dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto**. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br>>. Acesso em: 10 novembro 2016.

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

BREWER, D.; BROWN, R.; STANFIELD, G. **Rainwater and greywater in buildings**: project report and case studies. Technical Note TN 7/2001. Berkshire: BSRIA, 2001.

CAESB. **Siágua 2014: Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal**. Brasília: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2014

_____. **Seca 2016**: Informações sobre a crise hídrica no Distrito Federal. Brasília: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/>>. Acesso em 07 dezembro 2016.

DE OREO, W. B.; HEANEY, J. P.; MAYER, P. W. Flow trace analysis to assess water use. **American Works Association** v.88 n.1, p.79-90, 1996.

DNIT. **Manual de drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006. 304p.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. **Water Science and Technology** v.39 n.5, p.32, 1999.

ENVIRONMENT AGENCY. **A study of domestic greywater recycling**. National Water Demand Management Centre. Bristol: Environment Agency, 2000.

EPA. **Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment**. Cincinnati, Ohio, 1988.

FILHO, F. J. C. M. **Aspectos hidráulicos e hidrológicos de um sistema combinado de evapotranspiração e wetlands**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2013.

GHSI, E.; OLIVEIRA, S. M. 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, pp.1731-1742. 2007.

GRIGGS, J. C.; SHOULDER, M. C.; HALL, J. Water Conservation and the built environment. In: Roaf, S. and Walker, V. (eds.) **21 AD: Water**. Oxford: Oxford Brookes University and Thames Water, p.3-9, 1998.

HERRINGTON, P. R. The economics of water demand management. In: D. BUTLER e F.A. MEMON (Ed.). **Water demand management**. London: IWA, 2006. The economics of water demand management, p.236-279

JÚNIOR, G. B. A.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 85-98, 2008.

LOH, M. ET AL. Domestic water use study: The next step forward. In: **27th Hydrology and Water Resources Symposium**, Melbourne. 2002.

MADDAUS, W. O. **Residential water conservation projects**: Summary report. Washington: Department of Housing and Urban Development, 1984.

MANJATE, E. S. et al. First stage of the French vertical flow constructed wetland system: experiments with the reduction of surface area and number of units. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, p. 1-7, 2014.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. New York: Mc Graw Hill, 2003. 1219p.

MUSTOW, S.; GREY, R.; SMERDON, T. **Water conservation**: Implications of using recycled greywater and stored rainwater in the UK. Berkshire: BSRIA. 1997.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; MIGLIO, R. M. Experiências de longo prazo com dimensionamento e operação de Wetlands de fluxo vertical na América do Sul. **IWA Specialist Conference on wetland systems for water pollution control**, Poland: IWA Publishing, 2016.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: Secretaria de Política Urbana. 1998.

ROEBUCK, R. M.; OLTEAN-DUMBRAVA, C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. **Water and Environment Journal**, v.25, n.3, p.355-365. 2010.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 171p.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. Filtro plantado com macrófitas (wetlands) como tratamento de esgotos em unidades residenciais: critérios para dimensionamento. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Joinville: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

THACKRAY, J. E.; COCKER, V.; ARCHIBALD, G. The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage. **Water Engineers and Science**, v. 64, p.37-61. 1978.

VICKERS, A. **Handbook of water use and conservation**. Amherst: Water Plow Press, 2001. 426p.

VIEIRA, P.; ALMEIDA, M.C.; BAPTISTA, J.M.; RIBEIRO, R. Household water use: a Portuguese field study. **Water Science and Technology: Water Supply**, v.7, n.5-6, p. 193-202, 2007.

ZHANG, H. H.; BROWN, D. F. Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin. **Habitat International**, v. 29 n. 3, p.469-491. 2005.