



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Paulo Alan Mattos Monteiro

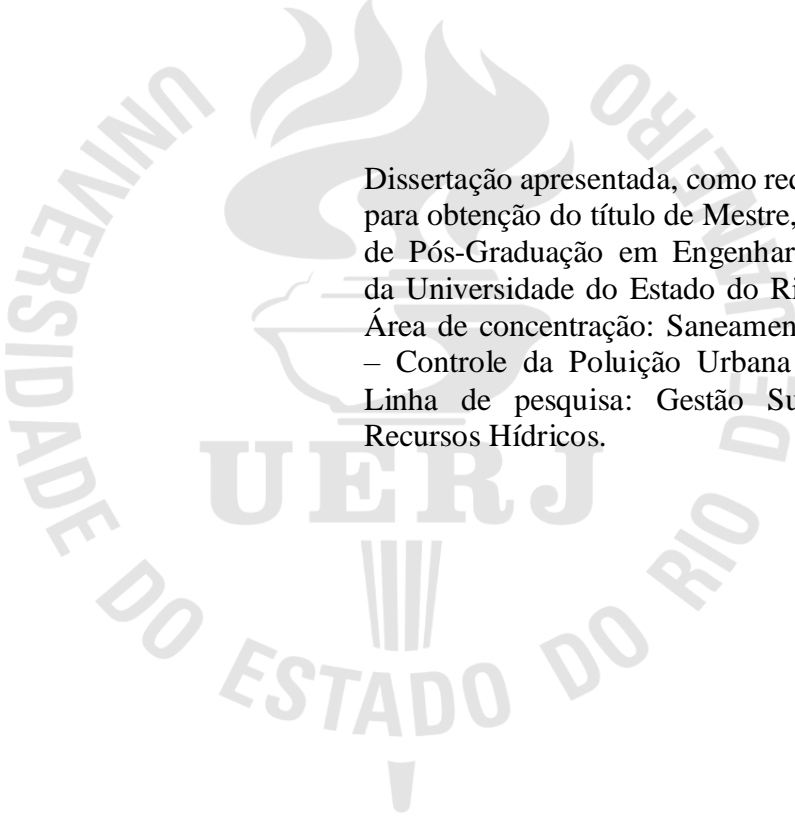
**Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em
residências unifamiliares a luz dos parâmetros técnicos e requisitos
legais no Brasil**

Rio de Janeiro

2023

Paulo Alan Mattos Monteiro

Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em residências unifamiliares a luz dos parâmetros técnicos e requisitos legais no Brasil



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial. Linha de pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Orientador (a): Prof.º Dr. Marcelo Obraczka

Coorientador (a): Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M775 Monteiro, Paulo Alan Mattos.
Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em residências unifamiliares a luz dos parâmetros técnicos e requisitos legais no Brasil / Paulo Alan Mattos Monteiro. – 2023.
164 f.

Orientador: Marcelo Obraczka.

Coorientador: Alfredo Akira Ohnuma Júnior.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Reuso - Teses. 3. Água - Qualidade - Teses. 4. Direito ambiental - Teses. I. Obraczka, Marcelo. II. Ohnuma Júnior, Alfredo Akira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.1.034

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Paulo Alan Mattos Monteiro

Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em residências unifamiliares a luz dos parâmetros técnicos e requisitos legais no Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial. Linha de pesquisa: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Aprovado em 16 de janeiro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Obraczka, (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr (Coorientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr^a. Marília Carvalho de Melo

Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações - UNICOR

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças para superar todos os efeitos danosos causados pela pandemia da Covid-19, por me guiar durante a minha caminhada até aqui e pelas pessoas incríveis e especiais que me acolheram e apoiaram nos momentos difíceis surgidos.

À minha supervisora dos CORREIOS Selma que sempre me incentivou a continuar estudando e pelas liberações durante o turno da manhã para assistir às aulas das disciplinas do mestrado.

Ao professor Júlio (*in memoriam*) pelos incentivos de cursar o mestrado na época do curso de Especialização de Engenharia Sanitária e Ambiental da UERJ.

À minha filha Alana por acreditar no meu potencial, pela compreensão de minha ausência como pai e por afirmar me ter como pai e espelho na vida.

Ao meu amigo dos CORREIOS Rafael pela parceria profissional e apoio nas minhas tarefas profissionais para eu poder estudar.

Ao meu querido colega André Vidal que conheci durante o mestrado e onde passamos a nos apoiarmos nos estudos.

Ao querido colega Flávio, que me auxiliou na montagem do filtro dando dicas valiosas de suas experiências e que foram fundamentais no decorrer deste trabalho.

Aos meus professores orientadores Akira e Marcelo pelo auxílio e cooperação durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. Gratidão por compartilharem um pouco do vasto conhecimento que possuem, pelas orientações, conselhos e por não desacreditarem no êxito deste trabalho mesmo eu tendo por inúmeras vezes dúvidas sobre tal.

Aos meus docentes que compartilharam seus conhecimentos acadêmicos e profissionais e pela doação e gosto de ensinar.

Aos responsáveis e demais colaboradores do Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ, em especial à professora Daniele e ao técnico Sidnei, por disponibilizarem o filtro de membrana de ultrafiltração e o filtro de carvão ativado e mídia de vidro para viabilizar os experimentos deste trabalho.

Agradeço aos membros da banca pelo aceite e disponibilidade em ler e apontar correções da minha pesquisa com o intuito de aprimorá-la.

Ao Departamento de Engenharia Ambiental e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UERJ.

RESUMO

MONTEIRO, Paulo Alan Mattos. *Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em residências unifamiliares a luz dos parâmetros técnicos e requisitos legais no Brasil*. 2023. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2023.

A disponibilidade de água em regiões distintas do planeta e, em especial do Brasil, tem sofrido com as estiagens prolongadas e os rodízios no fornecimento de água para consumo humano, bem como pela degradação da bacia hidrográfica dos mananciais hídricos. A distribuição de água urbana desproporcional em localidades mais afastadas dos grandes centros e bairros nobres, na medida em que limitam o acesso à água potável aos bairros. Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de reúso de águas cinzas geradas em uma residência unifamiliar para usos domésticos não potáveis, em especial nos acionamentos de descargas em bacias sanitárias. A metodologia consiste nas análises dos requisitos técnicos e nos parâmetros legais existentes no Brasil, na caracterização das demandas potáveis e não potáveis de água em residências. O desenvolvimento do sistema de tratamento de águas cinzas para reúso na descarga sanitária não foi diretamente ligado ao sistema hidrossanitário da moradia urbana por questões limitantes existentes, todavia os cálculos e resultados alcançados foram considerados como sendo para o ciclo completo do projeto, com foco em reduzir o consumo de água potável fornecida por fontes tradicionais e a geração de esgoto. Os resultados alcançados de qualidade das águas cinzas oriundas da máquina de lavar roupas com o sistema de tratamento empregado apresentam-se como alternativa de reúso de água para fins não potáveis alcançados 0,79 mg/L de média de cloro residual, 33,33% de turbidez abaixo do limite máximo normatizado, pH médio com 7,0, coliformes totais com 66,67% e coliformes termotolerantes com 88,89% com ausência desses parâmetros microbiológicos nas águas de reúso tratadas. Com consumo diário de 30 litros por pessoa e total anual de 32,96 m³, por todos os residentes, de água potável em descarga na bacia sanitária, uma geração anual de água cinza através da máquina de lavar roupas de 12,46 m³ e um consumo total de 67,91 m³ de água potável, observou-se uma economia total de 18,34% com o reúso da água cinza em 13 meses. O sistema apresentou um tempo de retorno de 13 anos e 6 meses devida à intermitência no fornecimento de água na localidade, todavia o sistema apresentou-se viável em cenário de abastecimento de água contínuo e de maior escala de consumo de água potável em edificações com maior número de pessoas como conjuntos habitacionais além de garantir a manutenção dos mananciais, lençóis freáticos e recuperação de áreas verdes degradadas com o aproveitamento do lodo gerado pelo esgoto sanitário doméstico.

Palavras-chave: Águas cinzas. Descarga em bacia sanitária. Edificação unifamiliar. Qualidade das águas cinzas. Reutilização de águas cinza.

ABSTRACT

MONTEIRO, Paulo Alan Mattos. *Feasibility of reuse of gray water for non-potable purposes in single-family residences in light of technical parameters and legal requirements in Brazil*. 2023. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2023.

The availability of water in different regions of the planet, and especially in Brazil, has suffered from prolonged droughts and rotations in the supply of water for human consumption, as well as from the degradation of the hydrographic basin of water sources. The disproportionate distribution of urban water in locations further away from large centers and upscale neighborhoods, as they limit access to drinking water to neighborhoods. This work aims to evaluate the feasibility of reusing gray water generated in a single-family residence for non-potable domestic uses, especially in flushing toilets. The methodology consists in analyzing the technical requirements and legal parameters existing in Brazil, characterizing the potable and non-potable demands for water in homes. The development of the gray water treatment system for reuse in the sanitary discharge was not directly linked to the hydrosanitary system of the urban housing due to existing limiting issues, however the calculations and results achieved were considered as being for the complete cycle of the project, with a focus on reducing the consumption of potable water provided by traditional sources and the generation of sewage. The results achieved in the quality of the gray water coming from the washing machine with the treatment system employed are presented as an alternative for the reuse of water for non-potable purposes, reaching 0.79 mg/L of average residual chlorine, 33.33% of turbidity below the standardized maximum limit, average pH 7.0, total coliforms with 66.67% and thermotolerant coliforms with 88.89% with absence of these microbiological parameters in treated reuse water. With daily consumption 30 liters per person and an annual total 32.96 m³, by all residents, of potable water flushed in the sanitary basin, an annual generation of gray water through the washing machine 12.46 m³ and a total consumption 67.91 m³ of drinking water, there was a total saving 18.34% with the reuse of gray water in 13 months. The system had a payback time of 13 years and 6 months due to the intermittent supply of water in the locality, however the system was viable in a scenario of continuous water supply and a larger scale of consumption of potable water in buildings with greater number of people as housing developments, in addition to guaranteeing the maintenance of springs, groundwater and recovery of degraded green areas with the use of the sludge generated by domestic sanitary sewage.

Keywords: Graywaters. Toilet flushing. Single-family building. Graywater quality. Graywater reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	- Disponibilidade hídrica per capita	21
Figura 02	- Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHS)	22
Figura 03	- Relação entre vazões mínimas e médias nas UGRHS	23
Figura 04	- Classificação do IQA	24
Figura 05	- Índice de qualidade das águas no Brasil	25
Figura 06	- Classificação quanto à quantidade de chuvas em 2019	30
Figura 07	- Reservatórios do sistema Cantareira, região metropolitana de São Paulo	31
Figura 08	- Situação dos mananciais do sistema Cantareira, em 15 de março de 2015	31
Figura 09	- Barragem de Santa Cecília onde ocorre a transposição de parte da água do Rio Paraíba do Sul para o Rio Guandu	32
Figura 10	- Vazões naturais do Rio Paraíba do Sul	33
Figura 11	- Evolução histórica do armazenamento do Rio Paraíba do Sul	33
Figura 12	- Consumo total de água em residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro com aproveitamento de água pluvial	39
Figura 13	- Dessalinização e cogeração de energia elétrica	40
Figura 14	- Potenciais destinações de água de reúso	43
Figura 15	- Reúso de água cinza para descarga em bacia sanitária	49
Figura 16	- Volume de reutilização e taxa de reutilização na China, em 2012	51
Figura 17	- Tipos de caixas d'água	54
Figura 18	- Bombona plástica	54
Figura 19	- Filtro de múltiplas camadas utilizado para tratamento de águas cinzas destinadas ao reúso	56
Figura 20	- Sistema de raízes para tratamento de águas cinzas domésticas	57
Figura 21	- Sistema de tratamento de águas cinzas por terra úmida	58
Figura 22	- Sistema de tratamento de águas cinzas por fitorremediação	58
Figura 23	- Sistema de tratamento de águas com membranas de ultrafiltração	59
Figura 24	- ETEC automatizada da TIGRE para tratamento de águas cinzas	59
Figura 25	- Etapas de tratamento para a produção da NEWater	60
Figura 26	- Fluxograma	77

Figura 27	- Localidade do estudo	79
Figura 28	- Esquema geral do protótipo de tratamento do sistema de tratamento (STAC)	81
Figura 29	- Esquema geral do protótipo de tratamento de água cinza	81
Figura 30	- Fluxograma do processo de tratamento do STAC	82
Figura 31	- Lavadora de roupas ELECTROLUX LTC 10	83
Figura 32	- Hidrômetro medidor de vazão de água	84
Figura 33	- Hidrômetro (HID-MLR) para registrar o volume de água utilizada por acionamento da máquina de lavar roupas	85
Figura 34	- Modelo da bacia sanitária do banheiro da residência	86
Figura 35	- Formulário de controle dos acionamentos diários da descarga sanitária	87
Figura 36	- Bombonas plásticas utilizadas no processo de tratamento de água cinza	91
Figura 37	- Gradeamento com tela mosquiteiro	91
Figura 38	- Componentes filtrantes e adsorventes utilizados no processo de filtração	92
Figura 39	- Pré-filtros do sistema de tratamento	92
Figura 40	- Pré-filtro com diâmetro de 60 mm	93
Figura 41	- Pré-filtro com diâmetro de 150 mm	94
Figura 42	- Purificador de água com membrana por ultrafiltração para uso comunitário	95
Figura 43	- Pastilha de cloro utilizada para a desinfecção pós tratamento	95
Figura 44	- Configuração e posicionamento das unidades do projeto experimental do sistema de tratamento de águas cinzas após sua montagem	96
Figura 45	- Ponto de captação e descarte da água cinza oriunda da máquina de lavar roupas	97
Figura 46	- Processo de tratamento entre o pré-filtro 2 (PF2) e o filtro com membrana e posterior desinfecção com pastilha de cloro	99
Figura 47	- Pontos de coleta das amostras de água cinza no sistema STAC	100
Figura 48	- HID-G: consumos médios mensais pelo período de 13 meses e a média mensal de consumo de água potável na edificação	106
Figura 49	- Número mensal e individual de acionamentos na bacia sanitária com o volume de água potável exigido para descarga sanitária	108
Figura 50	- Consumo de água pela máquina de lavar roupas registrados pelo HID-MLR, por ciclo e mensal	111
Figura 51	- Total de água cinza gerada pela máquina de lavar roupas e o volume mensal de água potável utilizada na descarga sanitária	113

Figura 52	- Relação gráfica entre o total de água cinza gerada, água cinza captada e descartada mensalmente	113
Figura 53	- Volume de água cinza descartada e o volume mensal registrado pelo hidrômetro 2 (HID-MLR)	116
Figura 54	- Relação entre os volumes consumidos de água potável registrados pelos hidrômetros HID-G e HID-MLR	117
Figura 55	- Payback do investimento no sistema STAC para descarga na bacia sanitária no imóvel	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	– Disponibilidade de água doce no mundo, por região	20
Tabela 02	– Composição do indicador de coleta e tratabilidade de esgoto da população urbana no município	26
Tabela 03	– Classificação da qualidade da água	26
Tabela 04	– Disponibilidade de água doce no mundo, por região	37
Tabela 05	- Produção hídrica de superfície da América do Sul	38
Tabela 06	– Disponibilidade hídrica no Brasil, por região	38
Tabela 07	- Padrões e diretrizes para reúso de águas residuais em países diversos	44
Tabela 08	– Características das águas cinzas na Índia	46
Tabela 09	– Classes, parâmetros e limites para águas de reúso	47
Tabela 10	– Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis	47
Tabela 11	– Parâmetros de qualidade para água não potável	48
Tabela 12	– Características dos diferentes tipos de águas cinzas na China e outros países, por procedência distinta	50
Tabela 13	– Limites de parâmetros de qualidade de águas cinzas pós-tratamento para usos não potáveis em diversos países	52
Tabela 14	– Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos conforme reúso	62
Tabela 15	– Padrões microbiológicos para águas de recreação	63
Tabela 16	– Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	65
Tabela 17	– Resumo das legislações de âmbito nacional e normas sobre águas de fontes alternativas para fins não potáveis	68
Tabela 18	– Resumo das legislações estaduais sobre águas de reúso	72
Tabela 19	– Parâmetros especificados para reúsos de águas cinzas no município de Niterói ..	75
Tabela 20	– Resumo das legislações municipais sobre águas de reúso	76
Tabela 21	– Consumo aproximado, por ciclo, de água da lavadora de roupas e suas variações dos níveis d'água	84
Tabela 22	– Ficha de controle mensal do volume de água utilizada no imóvel	85
Tabela 23	– Formulário para registrar o volume de água utilizada por acionamento da máquina de lavar	86

Tabela 24	– Correlações entre os registros de acionamentos da descarga sanitária e o volume geral de água consumida na residência	88
Tabela 25	– Correlações entre o consumo da máquina de lavar roupas e o consumo geral de água na casa	89
Tabela 26	- Tarifa diferenciada aplicada pela CEDAE	89
Tabela 27	- Estrutura tarifária adotada pela CEDAE	90
Tabela 28	- Descrição das conexões e tubulações do sistema de tratamento proposto	96
Tabela 29	- Parâmetros físico-químicos conforme a NBR 15575-1/2013 da ABNT e métodos de análises	101
Tabela 30	- Parâmetros biológicos conforme a NBR 15575-1/2013 da ABNT e métodos de análises	101
Tabela 31	- Descrição orçamentária dos serviços de reforma para adequação do imóvel para reutilizar água cinza na bacia sanitária	104
Tabela 32	- Ficha de controle mensal do volume de água consumida na edificação	106
Tabela 33	- Ficha de controle mensal de acionamento na bacia sanitária	107
Tabela 34	- Número de acionamentos na bacia sanitária e o consumo de água potável	109
Tabela 35	- Ficha de controle de ciclos da máquina de lavar roupa e volume de água potável mensal utilizada	111
Tabela 36	- Volume de água potável consumida de forma geral (HID-G) para descarga na bacia sanitária e lavagem de roupas com uso da máquina de lavar roupas (HID-MLR)	115
Tabela 37	- Resultados consolidados dos parâmetros físico-químicos das amostras nos pontos de água cinza ABF, APF e ATR	118
Tabela 38	- Análise estatística dos resultados consolidados dos parâmetros físico-químicos das amostras nos pontos de coleta ABR, APF e ATR	119
Tabela 39	- Estatística descritiva do parâmetro Cloro Residual de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: pontos de coleta ABF, APF e ATR	120
Tabela 40	- Estatística descritiva do parâmetro Turbidez de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: pontos de coleta ABR, APF e ATR	121
Tabela 41	- Estatística descritiva do parâmetro Cor Aparente de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: pontos de coleta ABR, APF e ATR	122
Tabela 42	- Estatística descritiva do parâmetro pH de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: pontos de coleta ABR, APF e ATR	123

Tabela 43	- Resultados das análises de Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais nos pontos de coleta ABR, APF e ATR	124
Tabela 44	- Resultados médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas cinzas coletadas nos pontos ABR, APF e ATR com outros autores	127
Tabela 45	- Variação percentual das médias dos resultados obtidos de cada parâmetro avaliado em cada ponto de coleta do sistema de tratamento	129
Tabela 46	- Comparativo financeiro na aquisição de materiais para sistema hidráulico residencial	131
Tabela 47	- Comparativo financeiro de mão de obra para materiais distintos de sistema hidráulico residencial	132
Tabela 48	- Orçamento contendo a lista de materiais, quantidades gastas e preços unitários e o gasto total com PEX no sistema hidráulico predial	132
Tabela 49	- Orçamento contendo a lista de itens, quantidades gastas e preços unitários e o gasto total com PVC para o sistema hidráulico predial	133
Tabela 50	- Planilha de custos proposta para montagem do sistema de tratamento STAC, baseada nos índices da SINAPI	134
Tabela 51	- Economia financeira do consumo de água com e sem o sistema de reúso da água cinza oriunda da lavadora de roupas	137
Tabela 52	- Dados considerados para determinação do tempo de retorno do investimento do STAC da edificação	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABR	Água Cinza Bruta
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APF	Água Cinza Pós-filtros
APHA	Associação Americana de Saúde Pública
ATR	Água Cinza Tratada
B1	Bombona Plástica um
B2	Bombona Plástica dois
CAESB	Companhia de Águas e Esgotos do Distrito Federal
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETEC	Estação de Tratamento de Esgoto Compacta
HID-G	Hidrômetro Geral
HID-MLR	Hidrômetro da Máquina de Lavar Roupas
ICTEM	Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IGQA	Índice Geral de Qualidade da Água
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQAD	Índice de Qualidade da água Distribuída
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
LABHIDRO	Laboratório de Hidrologia Aplicada e Hidráulica Experimental
MDS	Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome
ONU	Organização das Nações Unidas

PCA	Programa de Conservação da Água
PF1	Primeiro Pré-filtro
PF2	Segundo Pré-filtro
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAP	Sistema de Águas Pluviais
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
STAC	Sistema de Tratamento de Águas Cinzas
UE	União Europeia
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UGRHS	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
ULF	Ultrafiltração por Membrana
ZOMS	Zona Oeste Mais Saneamento

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
1.1. A importância da água: preservação da água escassez hídrica	23
1.1.1 Qualidade das águas no Brasil	23
1.1.2 Legislação inerente ao emprego de águas cinzas	28
1.1.3 Breve histórico de crises hídricas no Brasil	29
1.2. Coleta e tratamento de esgoto	34
1.3. Fontes alternativas de água	36
1.3.1 Emprego de águas de chuva para abastecimento	38
1.3.2 Águas salinas: dessalinização	39
1.4. Racionalização do uso da água	41
1.4.1 Reúso de águas servidas	41
1.4.2 Águas cinzas	45
1.4.3 Parâmetros de qualidade para fins não potáveis	46
1.5. Utilização de águas cinzas para fins não potáveis	48
1.5.1 Sistemas de reúso de águas cinzas	53
1.6. Riscos à saúde relacionados à reutilização de águas cinzas	54
1.7. Tipos de tratamento para águas cinzas	55
2. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS	61
2.1. Âmbito Federal	61
2.2. Âmbito Estadual	68
2.3. Âmbito Municipal	72
3. METODOLOGIA	77
3.1 Etapa 1: projeto e execução	78
3.1.1 Levantamento de estudos e referências inclusive a legislação e normatização pertinentes	78
3.2. Etapa 2: monitoramento e análise	79
3.2.1 Seleção do local do experimento	79
3.2.2 Desenvolvimento prático do experimento	82

3.2.3	Caracterização da demanda de água potável e geração do efluente	83
3.2.4	Caracterização das vazões de águas cinzas: instalação de hidrômetros	84
3.2.4.1	Aferição da vazão necessária de consumo de águas cinzas: contagem de acionamentos diários da descarga sanitária	86
3.2.4.2	Considerações sobre o preço da água	89
3.2.4.3	Dimensionamento do sistema	90
3.2.5	Caracterização da qualidade das águas cinzas ao longo do experimento	99
3.2.5.1	Parâmetros físico-químicos	100
3.2.5.2	Parâmetros biológicos	101
3.3.	Etapa 3: resultados almejados do sistema	102
3.3.1	Avaliação da viabilidade técnica e econômica	102
3.3.1.1	Custo de implementação	102
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	105
4.1.	Volume de água potável consumida no imóvel	105
4.1.1	Consumo geral	105
4.1.2	Consumo por acionamentos da descarga sanitária	107
4.1.3	Consumo de água pela máquina de lavar roupas	110
4.2.	Volume de efluente gerado para reúso	112
4.2.1	Volume de água cinza descartado	114
4.3.	Qualidade da água cinza captada do sistema de tratamento	117
4.3.1	Parâmetros físico-químicos das amostras coletadas do sistema de tratamento de águas de lavagem de roupas (STAC)	117
4.3.1.1	Cloro residual	119
4.3.1.2	Turbidez	120
4.3.1.3	Cor aparente	121
4.3.1.4	Potencial de hidrogeniônico (pH)	122
4.3.2	Parâmetros microbiológicos de amostras coletadas do STAC	123
4.3.3	Avaliação dos resultados obtidos com os de outros estudos semelhantes ...	126
4.3.4	Avaliação da eficácia do sistema de tratamento	128

4.4.	Avaliação da viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento STAC	130
4.4.1	Análise de custo: imóvel construído x em planta	130
4.4.2	Tempo de retorno do investimento	136
5.	CONCLUSÕES	140
	REFERÊNCIAS	143
	APÊNDICE A – Manual de diretrizes do STAC	162

INTRODUÇÃO

Além dos fatores climáticos, a crescente indisponibilidade da água em grande parte do planeta é resultado da conjugação de vários aspectos. Entre eles, destacam-se o crescimento populacional mundial e suas demandas de água refletindo-se em crescente consumo dos recursos hídricos, da poluição dos mananciais, dos usos ineficientes e dos desperdícios de água (MONTEIRO, 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2017), a população mundial aumenta em 83 milhões anualmente e deve alcançar os 8,6 bilhões em 2030 podendo chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050 com projeção de alcance de 11,2 bilhões até o ano de 2100.

Em virtude desse panorama, cresce a importância de se pesquisar e encontrar alternativas para o aumento do potencial de abastecimento de água, na mudança necessariamente pela busca de novas tecnologias que possam suprir os usos de água requeridos pela sociedade.

As metas mais recentes priorizam a busca por práticas mais racionais e sustentáveis quanto ao uso da água, incluindo programas de conservação, baseados em medidas técnicas e em mudanças de comportamento, destacando-se: programas de educação ambiental, regulamentação de leis, além de sanções a quem usa em demasia ou desperdiça e incentivos econômicos para práticas e usos mais racionais de água.

Além de usos paisagísticos, ecológicos, lazer e para a navegação a água é utilizada pela sociedade de diversas formas, para fins industriais, agrícolas e domésticos.

A água para o consumo humano pode ter dois fins distintos: parte da água que abastece uma residência é utilizada para higiene pessoal, dessedentação, lavagem de utensílios e cocção de alimentos, sendo esses usos designados como usos potáveis; a outra parcela da água é destinada aos usos não potáveis, como lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários.

Estudos mostram que o consumo de água destinado aos usos não potáveis em uma residência varia de 30 a 40% do total de água consumida (TOMAZ, 2013). Essa parcela de água poderia ser atendida por fontes alternativas como águas de chuva e reúso de efluentes (SILVA et al., 2010) visando a um uso mais racional e à conservação da água gerando uma economia para o consumidor. Também ajudaria a reduzir a demanda e a pressão sobre os sistemas convencionais de abastecimento de água em áreas urbanas do país, boa parte deles já sobrecarregados.

Esses serviços de abastecimento funcionam de forma intermitente, por meio de manobras, com trechos de rede sem a devida pressurização sendo que o abastecimento inconstante d'água propicia riscos à saúde da população com aumento de doenças por veiculação hídrica e riscos de contaminação da água potável (MONTEIRO, 2019).

No cenário de maior escassez e dificuldade de abastecimento através das fontes convencionais, o uso de fontes alternativas de suprimento de água vem se tornando uma crescente necessidade.

O reúso de efluentes é uma prática que vem sendo utilizada há décadas em várias realidades e países europeus, asiáticos e da América do Norte como Singapura, Alemanha, Emirados Árabes Unidos, Canadá e Estados Unidos da América (BAJPAI et al., 2019; Oh et al., 2018).

“Reusar água é aproveitar a água residuária coletada, através da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior, e usá-la novamente em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético” (METCALF & EDDY, 2003).

As águas cinzas se constituem em uma parcela das águas residuárias totais por não englobarem os esgotos primários. Dessa forma, a água cinza tem potencial significativo para ser reutilizada em usos não potáveis diversos como sistema de refrigeração de ar condicionado, lavagens de pátios, rega de jardins, irrigações e descarga de bacia sanitária (ABNT NBR 16.783/2019).

No caso de residências, a água cinza se apresenta como uma alternativa não convencional de impacto positivo por reduzir o uso de água potável para finalidades não potáveis (MAY, 2009).

Segundo LEAL (2013), com o reúso haveria uma diminuição na demanda de água potável implicando em menores custos para as concessionárias de saneamento, tanto do ponto de vista das demandas do sistema de abastecimento de água como de esgotos, com a redução do consumo de insumos e de energia, entre outros.

Este trabalho busca pesquisar mais a fundo o reúso de águas cinzas como uma alternativa viável para racionalizar a utilização de água nas residências e contribuir desta forma, para a otimização do uso dos recursos hídricos.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a viabilidade de reúso de águas cinzas geradas em residências para usos domésticos não potáveis, notadamente para

acionamento de descargas em bacias sanitárias, a partir de parâmetros técnicos e requisitos legais existentes no país sobre esse tema. Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar as demandas potáveis e não potáveis de edificações residenciais;
- Monitorar um experimento para caracterização quali-quantitativa de um sistema de águas cinzas para fins não potáveis (descarga sanitária); e
- Analisar a viabilidade de um projeto de reúso de águas cinzas em edificação residencial para fins não potáveis a partir dos resultados alcançados desse experimento.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 A importância da Água: Preservação da água e escassez hídrica

A água doce é vital para todas as espécies vivas e essencial para os humanos. O desenvolvimento de grupos populacionais foi feito às margens ou próximas às localidades com fontes d'água como rio e lagos pela necessidade de sobrevivência desses grupos. A água é também fundamental para o desenvolvimento agroindustrial tendo assumido relevância mundial em todos os seguimentos sociais, econômicos e ambiental (DA LUZ et al., 2016; ONU, 2015).

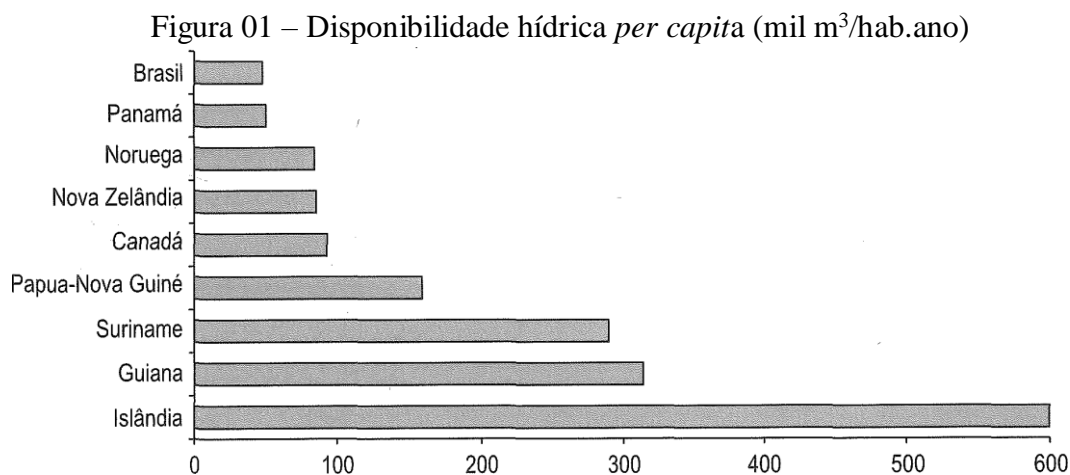
Apenas 2,5% do total de água existente no planeta correspondem à água doce sendo que 68% dessa parcela encontram-se congeladas nas calotas polares do Ártico, Antártida e nas regiões montanhosas (TOMAZ, 2010). Ainda segundo TOMAZ (2010), a maior parte da água doce existente no planeta estão nos lençóis subterrâneos correspondendo a 29,9% do total de volume da água doce na Terra e estando distribuídas pelas regiões do mundo conforme a Tabela 01.

Tabela 01 – Disponibilidade de água doce no mundo, por região

Regiões do Mundo	Vazão média (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18
África	145.000	10
Europa	102.000	7
Antártida	73.000	5
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100,00%

Fonte: TOMAZ, 2010

Apesar do Brasil possui a maior bacia hidrográfica do planeta, na Amazônia, é o último em disponibilidade hídrica *per capita* em um *ranking* de nove países devido a sua magnitude populacional e escassez de mananciais em boas condições (LIBÂNIO 2010), Figura 01.

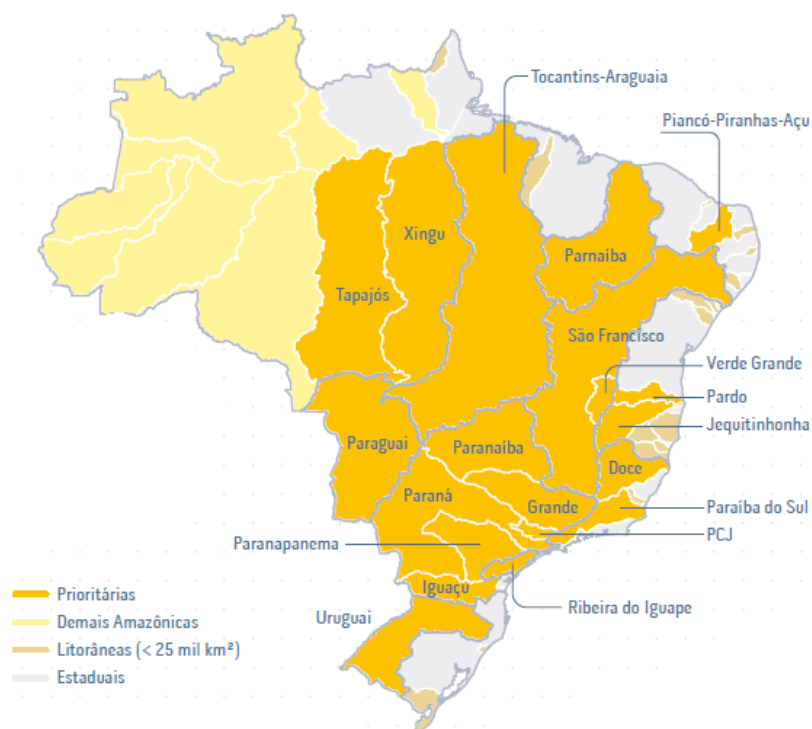


Fonte: LIBÂNIO, 2010

Essa baixa disponibilidade hídrica está associada a uma gestão inadequada de seus recursos hídricos, incluindo a exploração não racional da água e a poluição dos mananciais disponíveis, notadamente em áreas urbanas (FORMIGA-JOHNSON et al., 2015).

Os usos intensivos da água pelas diferentes atividades econômicas e baixa qualidade dos rios em função da poluição hídrica nas bacias hidrográficas brasileiras exigem ações de planejamento e gestão efetivas com base no monitoramento desses recursos hídricos. Para acompanhar de forma sistemática a situação dos recursos hídricos do país foi criada a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020). A importância desse monitoramento reside na geração e disponibilidade de informações ao longo do tempo sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos em todo o território nacional, dividido em Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHS), conforme a Figura 02.

Figura 02 – Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHS)

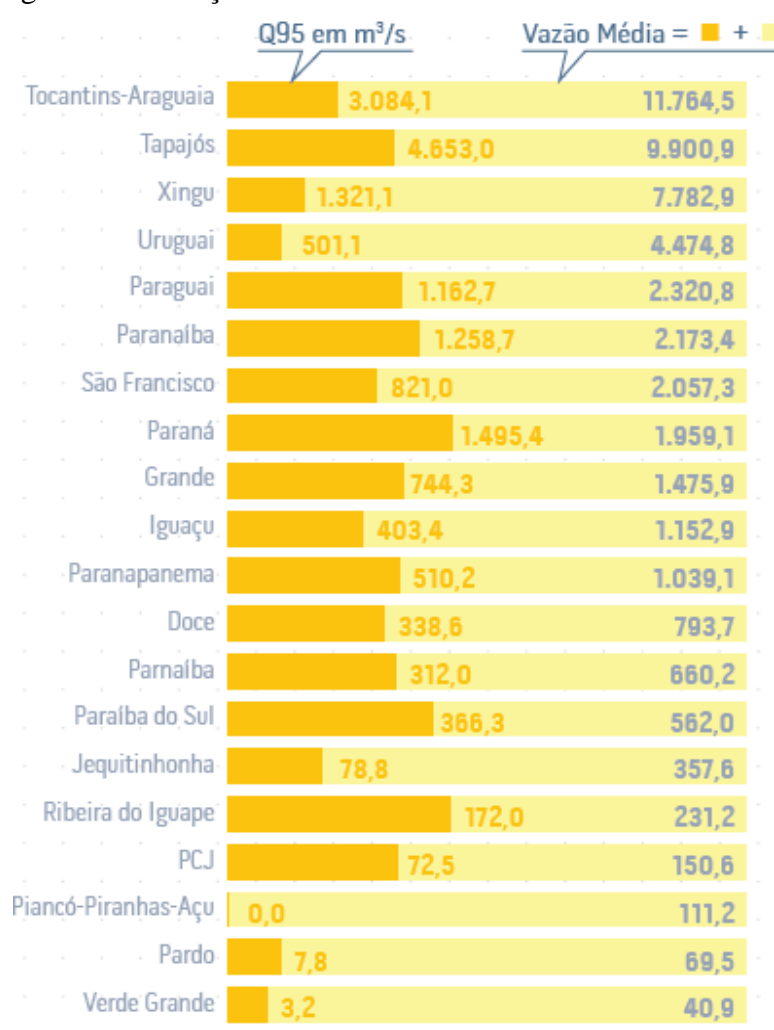


Fonte: ANA, 2020

Escoam pelo território brasileiro cerca de 255 mil m³/s de água, em média, sendo que aproximadamente 80% desse total encontra-se na bacia Amazônica. Cerca de 30% dessa vazão média disponível se encontram nos rios, com 63 mil m³/s na bacia Amazônica e 13 mil m³/s nas demais bacias (ANA, 2020).

A Figura 03 ilustra a disponibilidade hídrica superficial de água ofertável para usos diversos, baseada em vazão mínima ou de estiagem e na Q95 (vazão que passa no rio em pelo menos 95% do tempo) dos rios de domínio da União, a partir das unidades de gestão de recursos hídricos (UGRHs).

Figura 03 – Relação entre vazões mínimas e médias nas UGRHs



Fonte: ANA, 2020

1.1.1 Qualidade das águas no Brasil

A qualidade das águas pode ser verificada por indicadores de qualidade que apontam a presença e a concentração de substâncias de contaminantes nos corpos hídricos, nas águas de abastecimento ou residuárias, com a possibilidade de obtenção de subsídios das intervenções necessárias para sua adequação às distintas finalidades de utilização das águas. Há várias classificações referentes à qualidade de água no Brasil, distintas em função de sua finalidade.

No âmbito federal, uma das mais utilizadas é aquela referente ao enquadramento dos corpos hídricos definido pela CONAMA 357/2005, complementada pela CONAMA 430/2011, que também versa sobre padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores. Essas resoluções destacam a importância do conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água

estabelecida para o corpo receptor através dos enquadramentos e a da sua capacidade de suporte. Sendo assim, os objetivos para a manutenção da qualidade da água estão pautados na Lei Federal 9433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Com o objetivo de avaliar a qualidade das águas para abastecimento público a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA) com base nos seguintes parâmetros: Coliformes Fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido (CETESB, 2017). A quantificação baseada nesses parâmetros e em seus respectivos pesos é medida em uma escala de 0 a 100, e as águas são hierarquizadas por categoria (Figura 04).

Figura 04 – Classificação do IQA

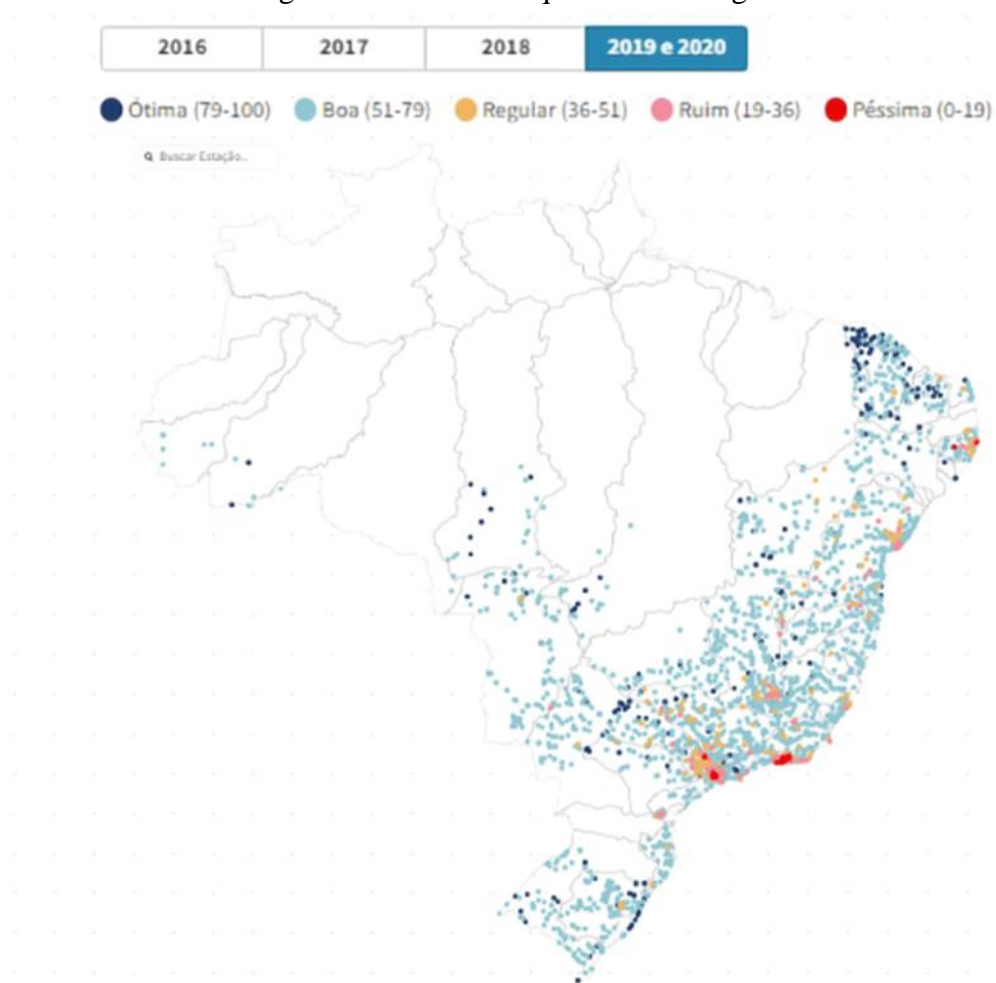
Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB, 2017

Classificação semelhante é utilizada pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do Estado do Rio de Janeiro no sistema estadual de monitoramento de qualidade de água (INEA, 2021).

Em um mundo onde a escassez de água tem aumentado, o nível de saneamento passou a ter papel fundamental na qualidade das águas (INEA, 2015). Dessa forma, tendo em vista a baixa cobertura dos sistemas de esgotos nas proximidades das regiões metropolitanas brasileiras, o IQA dos rios urbanos se encontra, em número considerável, entre as categorias péssima e regular (Figura 05), (ANA, 2021).

Figura 05 – Índice de qualidade das águas no Brasil



Fonte: Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil, 2021

A partir de 2002, a CETESB passou a adotar o Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP) para avaliar a qualidade da água bruta captada para abastecimento (CETESB, 2017). Segundo a Companhia, o IAP é mais fidedigno e adequado que o IQA para avaliar esse tipo de água por ser calculado com base tanto no Índice de Qualidade das Águas (IQA) como no Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO). O ISTO determina o índice de componentes como alumínio, chumbo e mercúrio presentes na água. A classificação do IAP varia de 0 a 100 da mesma forma que o IQA.

Em 2007, a CETESB desenvolveu um indicador para classificar o potencial de coleta e tratamento de esgoto urbano no Estado de São Paulo. O Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município (ICTEM) tem como objetivo principal obter a medida entre a efetiva remoção de carga orgânica gerada e a carga orgânica potencial gerada pela população. O indicador é composto com base em cinco

elementos e avaliados conforme os impactos causados no sistema público de tratamento de esgoto (Tabela 02).

Tabela 02 – Composição do Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município (ICTEM)

Elemento do indicador		Composição (%)	Ponderação
1	Coleta	15	1,5
2	Tratamento e eficiência de remoção	15	1,5
3	Eficiência global de remoção	65	6,5
4	Destino adequado de lodos e resíduos de tratamento	2	0,2
5	Efluente da estação não desenquadra a classe do corpo receptor	3	0,3
Total		100	10

Fonte: CETESB, 2017

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2021) desenvolveu o Índice Geral de Qualidade da Água (IGQA) para avaliar a qualidade da água da rede de distribuição onde os parâmetros a serem analisados eram agrupados em três grupos distintos por características de semelhança (PNMA, 2006):

- Grupo 1: parâmetro bacteriológico (coliformes totais);
- Grupo 2: parâmetros orgânicos ou inorgânicos que podem afetar a saúde da população (cádmio, chumbo, cloro residual livre, cromo total, flúor e trihalometanos);
- Grupo 3: parâmetros que podem interferir na qualidade organoléptica da água (alumínio, cor aparente, ferro total, pH e turbidez).

A classificação da qualidade da água é obtida através de cálculos efetuados separadamente de cada grupo, calculando-se o IGQA de acordo com uma escala de 0 a 100 (Tabela 03).

Tabela 03 – Classificação da qualidade da água

IGQA	Classificação
100	Excelente
95 à 99	Ótima
85 à 94	Boa
70 à 84	Aceitável
50 à 69	Insatisfatória
0 à 49	Imprópria

Fonte: ADAPTADO PNMA apud FACINCANI et al., 2006

Ainda com base no PNMA (2006), a Companhia de Águas e Esgotos do Distrito Federal (CAESB) desenvolveu um índice que permite identificar pontos com qualidade de água passíveis de melhorias. Esse Índice de Qualidade da Água Distribuída (IQAD) avalia determinados parâmetros, como:

- Cloro residual;
- Coliformes totais;
- Cor aparente;
- Ferro total;
- Flúor;
- pH; e
- Turbidez.

Com relação à potabilidade da água, a principal normatização do país é a Portaria número 888/2021 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) onde são discriminados os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Para o aproveitamento de águas pluviais podem ser relacionados os parâmetros de qualidade da norma técnica brasileira que fornece os requisitos mínimos de aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT NBR 15527, 2007). Os parâmetros de qualidade da água de chuva considerados são os seguintes:

- Coliformes totais;
- Coliformes termotolerantes;
- Cloro residual livre;
- Turbidez;
- Cor aparente; e
- pH.

Especificamente, com relação à qualidade para reúso de água cinza há normatizações pertinentes discriminadas sucintamente nos subcapítulos deste capítulo e de forma mais detalhada no capítulo 2 pela sua aderência em relação a presente pesquisa.

1.1.2 Legislação inerente ao emprego de águas cinzas

Com o objetivo de proteger o meio ambiente dos efeitos danosos causados pelos lançamentos de esgoto sem tratamento nos corpos hídricos e para a manutenção do abastecimento de água as Comunidades Europeias, atual União Europeia (UE), aprovaram a Lei nº 135/41 de 1991 para reaproveitamento de águas residuais (urbanas, domésticas e industriais). Ainda segundo essa legislação, as águas residuais domésticas são as águas cinzas oriundas das instalações residenciais provenientes da higienização humana e das atividades domésticas.

No ano de 2018 o Comitê das Regiões Europeias iniciou discussões para que os reúsos de água cinza venham a ser enquadrados na legislação da União Europeia devida à relevância de existir uma legislação específica para reúsos de águas cinzas e pelo potencial hídrico que poderá causar com esses reúsos (UE, 2018).

No Brasil, no entanto, não há legislação Federal específica para reutilização de águas cinzas, todavia existem Normas Técnicas, que são obrigatórias por força de lei apesar de não serem lei (CREA SC, 2014), que trazem diretrizes e procedimentos para reúsos distintos de águas cinzas para fins não potáveis. A ABNT NBR 16782/2019 traz em seu escopo conjunto de ações para otimizar e reduzir a quantidade de água consumida enfatizando a utilização de água proveniente de fontes alternativas, como águas cinzas, para usos não potáveis além dos requisitos, dos procedimentos e das diretrizes para a conservação de água em edificações. Como complementação e especificação do uso das fontes alternativas de água não potável em edificações foi criada a NBR 16783/2019 onde constam os procedimentos e requisitos de caracterização para usos não potáveis das águas cinzas. Quanto aos parâmetros de qualidade das águas cinzas para usos não potáveis, tanto a NBR 16783/2019 quanto a NBR 15575/2013 estabelecem os critérios a serem atendidos.

Nas esferas estaduais e municipais tem ocorrido situação diferente devido ao aumento de criação de legislações específicas determinando os critérios para os usos de águas cinzas para finalidades não potáveis em municípios e estados de diferentes regiões brasileiras.

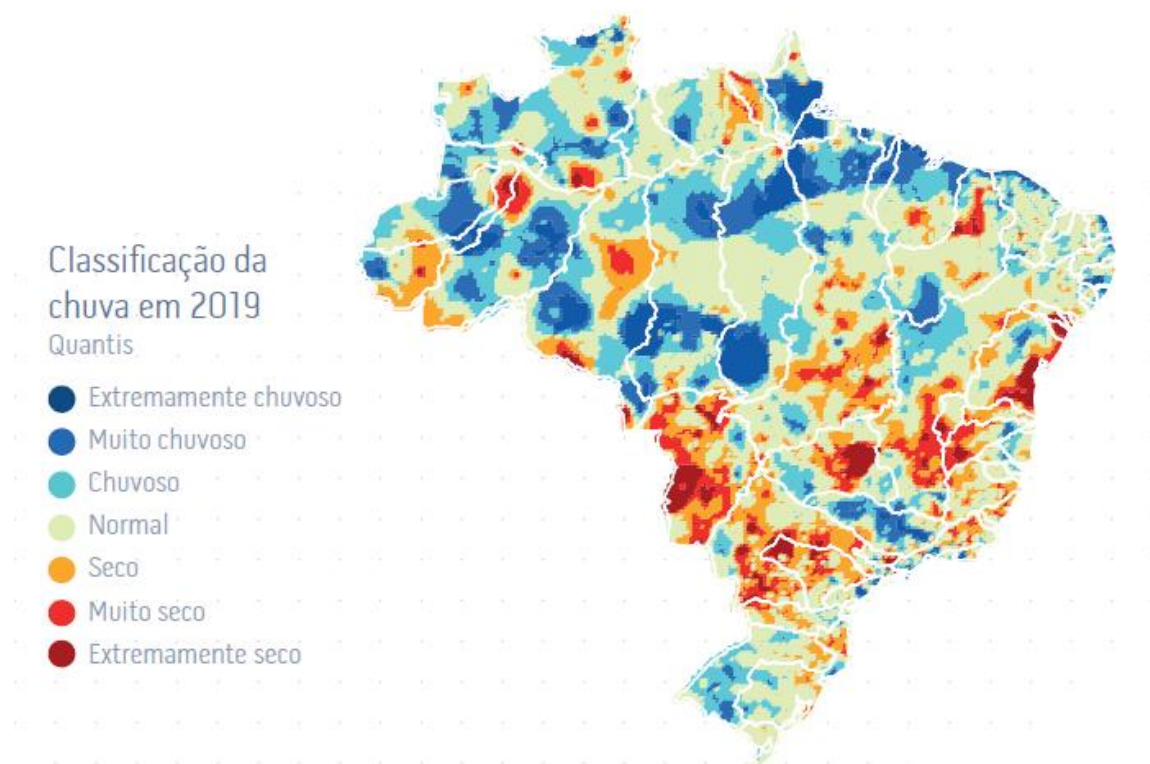
1.1.3 Breve histórico de crises hídricas no Brasil

A situação da escassez hídrica no Brasil tem afetado não somente o abastecimento, mas também a geração de energia elétrica visto que a maior fonte de geração energética é produzida pelas hidrelétricas. Esses longos períodos de estiagem se refletiram na pouca oferta de água nos reservatórios e tem elevado o custo da energia para todos os consumidores em consequência da necessidade de operação das usinas termelétricas para manter o fornecimento de energia para a população (ANA, 2020).

Durante o ano de 2018 houve recuperação parcial do volume dos reservatórios, porém em 2019, voltaram a atingir níveis muito baixos atingindo-se o menor volume útil do Sistema Interligado Nacional (SIN) dos últimos 5 anos (2014-2019) (ANA, 2020).

Durante esse ano de 2019, os estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Tocantins e parte da Bahia passaram por seca considerável. Ainda conforme a ANA (2020), praticamente todo o território nacional sofreu com período de estiagem e escassez de água tendo a região Centro-Oeste comportamento heterógeno com áreas muito secas e outras com muita chuva, a região Sudeste passou por grande escassez de água sendo a parte central do estado de Minas Gerais o mais afetado, na região Sul o estado do Paraná sofreu com longo período de estiagem afetando drasticamente o abastecimento urbano de água e também a geração de energia e a agricultura, a região Nordeste ao contrário das demais teve um período de recuperação próxima da média anual e a região Norte apresentou período de estiagem em partes da bacia Amazônica. A Figura 06 ilustra a quantidade de chuvas no território brasileiro no ano de 2019.

Figura 06 – Classificação quanto à quantidade de chuvas em 2019



Fonte: ANA, 2020

O Brasil possui reservatórios para abastecimento e outros fins, porém a maioria dos reservatórios para abastecimento humano se encontra na região Nordeste do país, que detém aproximadamente 90% dos reservatórios para esse uso (ANA, 2020).

Ainda de acordo com a ANA (2020), a maior capacidade de armazenamento de água, encontra-se nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos da bacia do Paraná (Paraná, Iguaçu, Paranapanema, Rio Grande e Paranaíba), Tocantins-Araguaia e São Francisco. Porém, entre os anos de 2012 e 2017, os volumes totais de chuvas foram abaixo da média do período úmido, resultando na diminuição do volume armazenado e consequente escassez no abastecimento e outros fins.

O Estado de São Paulo passou por uma grande crise hídrica entre outubro de 2013 e março de 2014 tendo a região metropolitana de São Paulo vivenciado uma escassez histórica com a falta de água no sistema Cantareira, que é o maior produtor de água da região, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 46% da população e formado pelos reservatórios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha, Águas Claras e Paiva Castro (MDS, 2021) (Figura 07).

Figura 07 – Reservatórios do Sistema Cantareira, Região Metropolitana de São Paulo - SP



Fonte: MDS, 2021

Ainda, segundo o MDS (2021), o sistema Cantareira continuou com problemas de escassez e chegou a operar com a reserva técnica, conhecido como volume morto ou “reserva técnica”, em 2015. Segundo a plataforma Portal dos Mananciais, que monitora os reservatórios e disponibiliza informações diárias dos mananciais, em março de 2015 a situação do sistema Cantareira era crítica em função do baixíssimo nível de água existente (SABESP, 2021) (Figura 08).

Figura 08 – Situação dos Mananciais do sistema Cantareira em 15 de março de 2015

		Volume operacional			Pluviometria (mm)		
		(%)	(hm ³)	Varição (%)	do dia	do mês	média histórica
Cantareira		-14,6	-143,74	0,2 ↑	0,3	139,0	181,1
Alto Tietê		21,5	123,19	0,5 ↑	1,8	130,7	160,1
Guarapiranga		74,7	127,95	0,9 ↑	6,0	132,6	153,2
Cotia		54,7	9,03	0,5 ↑	6,0	85,2	154,0
Rio Grande		97,8	109,72	1,7 ↑	9,4	166,4	186,4
Rio Claro		40,4	5,51	0,2 ↑	0,2	159,4	245,9
Volume total armazenado RMSP (*)		12,4	231,66	0,4 ↑			

Fonte: SABESP, 2021

Nos últimos anos (2017 a 2021) o problema de falta d'água continua afetando a população da região metropolitana de São Paulo pela continuidade do baixo volume no sistema Cantareira, resultado da baixa contribuição das chuvas na região (SABESP, 2021).

O Estado do Rio de Janeiro também tem enfrentado sucessivas crises no abastecimento de água, sendo a região metropolitana uma das mais afetadas.

A maior parte do seu fornecimento de água vem da Bacia do Rio Paraíba do Sul, que nasce em São Paulo e tem sua formação na junção entre os rios Paraíba e Paraitinga. Segundo Formiga-Johnsson *et al.* (2015), a Bacia do Rio Guandu é abastecida pela Bacia do Paraíba do Sul através de uma transposição na barragem de Santa Cecília (Figura 09).

Figura 09 – Barragem de Santa Cecília onde ocorre a transposição de parte da água do Rio Paraíba do Sul para o Rio Guandu



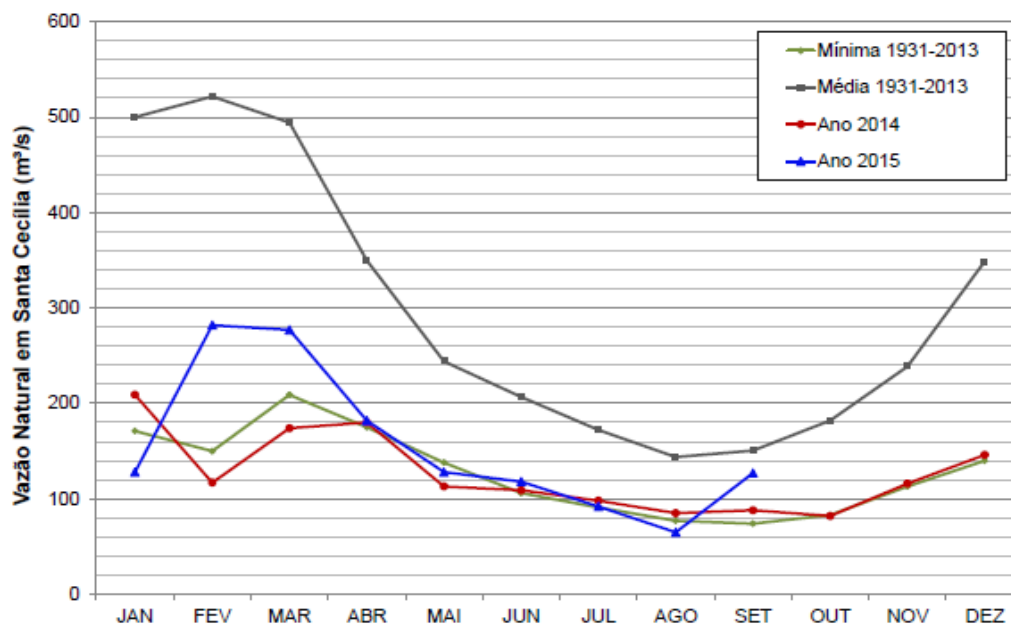
Fonte: Formiga-Johnsson et al., 2015

Conforme destacaram Formiga-Johnsson *et al.* (2015), o Rio de Janeiro enfrentou recentemente sua maior crise hídrica histórica dos últimos 85 anos, como demonstrado pelas Figuras 10 e 11 que ilustram a série histórica das vazões naturais e evolução histórica do armazenamento de água do Rio Paraíba do Sul no trecho do Rio de Janeiro.

Há que se destacar, também, que o aumento do desmatamento e da impermeabilização do solo na bacia hidrográfica desses mananciais hídricos tem agravado substancialmente todos esses efeitos citados da crise hídrica nessas regiões, majorando as enchentes fluviais no período chuvoso e a escassez de água no período de estiagem do ano hidrológico. O crescimento socioeconômico traz consigo consequências como alterações climáticas, queimadas, degradação do solo, poluição de rios e alterações nos ecossistemas (ARAÚJO

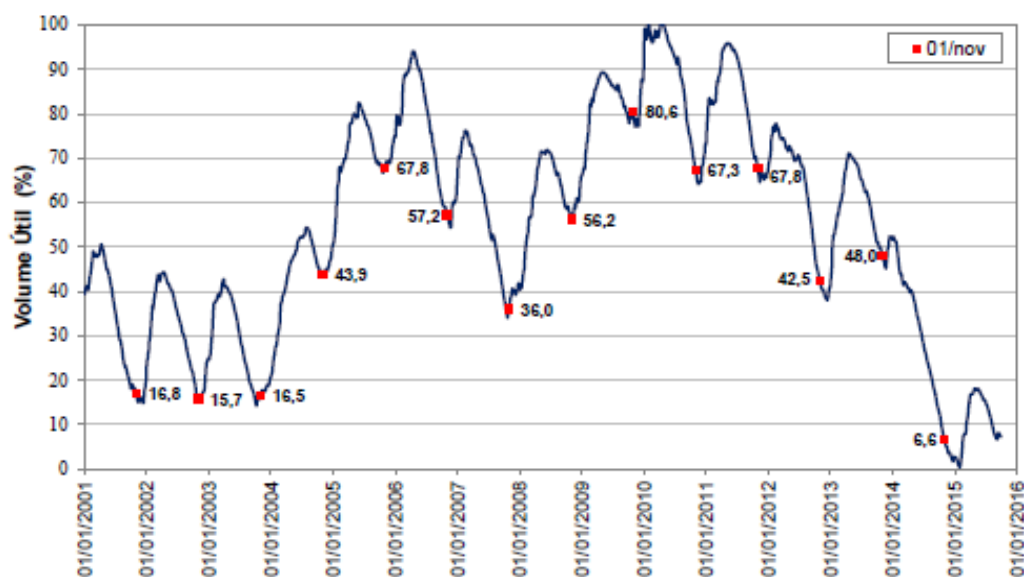
E WATANABE, 2021). Assim como a substituição de florestas por pastagens reduzem as vazões médias anuais além de aumentar as inundações e escassez de água nas bacias (LYRA et al., 2019).

Figura 10 – Vazões naturais do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Formiga-Johnsson et al., 2015

Figura 11 – Evolução histórica do armazenamento do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Formiga-Johnsson et al., 2015

Além dos problemas de escassez, nos últimos anos, a região metropolitana do Rio Janeiro tem sofrido sérios problemas de qualidade no abastecimento de água oriunda do sistema Guandu. Durante diversos períodos (entre 2019 e 2021) a qualidade da água

apresentou-se fora dos padrões de potabilidade devido à presença de Geosmina e outras cianobactérias na captação da Estação de Tratamento do Guandu (MARTINS et al., 2021). Sua bacia de contribuição sofre historicamente com lançamentos de esgoto bruto e pela falta de saneamento adequado em grande parte das áreas urbanas e rurais da região.

A falta de esgotamento sanitário nas áreas urbanas é o principal fator da poluição hídrica nas águas que abastecem a região metropolitana do Rio de Janeiro. As péssimas condições de preservação de afluentes do Rio Guandu como o Rios dos Poços, Queimados e Ipiranga que recebem grande carga de esgoto bruto diariamente são as maiores responsáveis pela qualidade inadequada das águas devido ao grande volume de nutrientes existentes no esgoto lançado nos rios que deságuam no Rio Guandu (VOLSCHAN JÚNIOR, 2020).

1.2 Coleta e tratamento de esgoto

O crescimento populacional urbano e o aumento industrial são responsáveis pela maior parcela da demanda urbana de água potável e pela geração de águas residuárias a partir dessas atividades (BAJPAI et al., 2019; OLIVEIRA, 2020).

Quando lançados sem tratamento nos corpos receptores, esses efluentes produzem sérios impactos ambientais negativos nos corpos hídricos, muitas vezes fontes de captação para abastecimento público. Demonstra-se, portanto, a importância do tratamento e da disposição adequados dos esgotos para a proteção e manutenção dos mananciais, rios e outras fontes de água doce (VON SPERLING, 2005).

Dispor o esgoto sem o adequado tratamento compromete a qualidade da água nas áreas urbanas causando impacto na saúde da população, além de dificultar o atendimento de usos a jusante como abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, dentre outros (ANA, 2017).

Ainda de acordo com a ANA (2017), no Brasil 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% da população utilizam fossa séptica contabilizando assim 55% dos brasileiros esgotamento sanitário adequado. Os 55% da população que possuem esgotamento sanitário adequado são divididos da seguinte forma por região no Brasil: Norte – 33%; Nordeste – 48%; Centro-Oeste – 63%; Sudeste – 58%; e Sul – 65%.

Segundo a ANA (2017), os 45% restantes são distribuídos como: 18% têm esgoto coletado, porém não tratado e 27% não possui coleta e tratamento do esgoto gerado. Enquanto a população total do país era de 210,1 milhões de habitantes, o atendimento a rede

de esgoto era de 82,7 milhões em 2010, para 110,3 milhões em 2019 (SNIS, 2019). Segundo o SNIS (2019), menos de 55% da população total têm acesso ao esgotamento sanitário adequado.

Ainda de acordo com o SNIS (2019), a situação do tratamento de esgotos no país é ainda mais precária. A Resolução CONAMA nº 430/2011 destaca que no mínimo 60% da carga orgânica presente nas águas devem ser removidas antes de serem lançadas nos corpos hídricos. Todavia apenas 39% da carga orgânica presentes nas águas oriundas do esgotamento sanitário são removidas no Brasil (ANA, 2017). No Rio de Janeiro, grandes cidades como Duque de Caxias, Queimados e Nova Iguaçu figuram entre as piores no ranking nacional de saneamento elaborado pela ABES (2021), captando e tratando menos de 13,44% dos esgotos sanitários produzidos.

Grande parte como consequência dessas não conformidades, a maioria dos indicadores de qualidade de água (IQA) dos rios e mananciais no Rio de Janeiro, encontram-se entre péssimo e muito ruim, agravando os já sérios problemas de abastecimento de água em uma região estratégica para o país, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FORMIGA-JOHNSSON et al., 2015).

A preservação da água é toda ação que visa à redução no consumo, redução do desperdício e de perdas, preservação das fontes de captação, otimização dos sistemas de abastecimento, reutilização de águas e fiscalização das fontes poluidoras dos corpos hídricos. Conforme dados do SNIS (2019) 170,8 milhões da população total do Brasil tem acesso à água através do abastecimento sendo as regiões Sudeste e Sul as maiores atendidas e as regiões Norte e Nordeste as menos atendidas.

O consumo médio de água pela população brasileira é de 153,9 l/hab./dia (litros/habitante/dia) e a média da população total beneficiada com abastecimento é de 83,7%, conforme dados do SNIS (2019). O abastecimento de água é tarifado através de registro de consumo nas edificações e conforme destacou o SNIS (2019) há no país 92,2% de ligações ativas de água com hidrômetro enquanto em 2010 essa porcentagem era de 89,3%.

Segundo Azevedo Netto (2015), as demandas de água para uso doméstico são descarga em bacia sanitária, asseio corporal, lavagem de roupas, preparo e higienização de alimentos, rega de jardim, limpeza geral, lavagem de automóveis e entre outras. Ainda, segundo o autor, o preço da água, a disposição e capacidade do usuário a pagar pela água, a qualidade da água oferecida entre outros fatores influencia na demanda e no consumo.

O consumo de água varia conforme a disponibilidade de acesso ao abastecimento e aspectos culturais da população (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Segundo Leal (2013) é necessário conhecer a distribuição do consumo, que varia conforme o tipo da edificação e entre as edificações de tipologias similares, de acordo com as especificidades dos sistemas e dos usuários em questão para implantação de Programa de Conservação da Água (PCA).

Alguns dos motivadores para a implementação de PCA são: economia com a redução do consumo d'água e da geração de efluentes, aumento da disponibilidade d'água, redução tarifária pelo uso da água e redução de custos operacionais e de manutenção de sistemas hidráulicos, além dos equipamentos da edificação.

Ainda segundo Leal (2013), um PCA implementado sistemicamente acarreta na racionalização do consumo d'água com conseqüente diminuição do volume de efluentes gerados a partir da otimização da gestão da demanda e do uso da água com distintos níveis de qualidade para atendimento da gestão da oferta tendo todos os cuidados no tocante à saúde pública e às diferentes utilizações envolvidas.

O esgoto doméstico gera lodo e esse lodo pode ser aproveitado em áreas degradadas e recuperação do solo. A composição do lodo gerado pelo esgoto apresenta composição orgânica com macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio e micronutrientes como fósforo que são importantes nutrientes para o crescimento de vegetações podendo, assim, ser utilizado como substrato mineral (ROSA JÚNIOR *et al.*, 2019). De acordo com Nascimento *et al.* (2020) o manejo de resíduos é ponto crucial para a prática de gestão urbana sustentável sendo o reúso de águas residuárias e o aproveitamento do lodo técnicas sustentáveis necessárias para recuperação de áreas degradadas e com grande exploração de recursos naturais.

1.3 Fontes alternativas de água

A importância da água e sua manutenção para as gerações presentes e futuras fizeram com que a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) destaque-se, através da Agenda 2030, um total de 17 (dezesete) objetivos para o desenvolvimento sustentável relacionados ao tema. Entre eles podem ser apontados a disponibilidade e gestão sustentável da água visando à redução das águas residuais não tratadas e ao aumento da reciclagem e reutilização dessas águas em nível global. Ainda conforme a Agenda 2030, há uma meta de se atingir até o ano de 2030 uma ampliação de cooperação internacional

no desenvolvimento de programas e atividades relacionados à dessalinização, à eficiência no uso da água e às tecnologias de reúso.

Tortajada e Nambiar (2019) destacam que um número crescente de cidades está desenvolvendo ou considerando estratégias que envolvem diversificar as fontes de água além das fontes tradicionais. Essas alternativas incluem fontes de água não convencionais para usos potáveis e não potáveis, como águas residuais tratadas, água de drenagem, água reutilizada (águas residuais recuperadas ou recicladas altamente tratadas) e dessalinização.

A disponibilidade de água doce no mundo não é homogênea e há uma diferença considerável entre os continentes. A Ásia possui a maior vazão média, cerca de trinta vezes superior as da Austrália e Tasmânia, que possuem a menor vazão média (Tabela 04).

A América do Sul apresenta a 2ª maior disponibilidade em termos de vazão média, correspondendo a 23,10% do total mundial, sendo superada somente pela Ásia com 31,6% (Tabela 04).

Tabela 04 - Disponibilidade de água doce no mundo, por região

Regiões do Mundo	Vazão média (m³/s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100,0%

Fonte: ADAPTADO Tomaz, 2010

Em relação ao mundo, o Brasil detém 12% da produção hídrica de superfície. Ainda segundo Tomaz (2010), o Brasil apresenta a maior vazão média de superfície de 177.900 m³/s de toda a América do Sul que por sua vez apresenta uma vazão média de 334.000 m³/s (Tabela 05).

Tabela 05 - Produção hídrica de superfície da América do Sul

América do sul	Vazão média (m³/s)	Porcentagem (%)
Brasil	177.900	53
Outros países	156.100	47
Total	334.000	100

Fonte: ADAPTADO Tomaz, 2010

A disponibilidade hídrica no Brasil, por regiões, em quilômetros cúbicos e em porcentagem pode ser vista na Tabela 06.

Tabela 06 - Disponibilidade hídrica no Brasil, por região

Regiões do Brasil	Vazão (km³/ano)	Porcentagem (%)
Norte	3.845,5	68,5
Nordeste	186,2	3,3
Sudeste	334,2	6,0
Sul	365,4	6,5
Centro-Oeste	878,7	15,7
Total	5.610,0	100

Fonte: ADAPTADO Tomaz, 2010

1.3.1 Emprego de águas de chuva para abastecimento

Em continentes como a Europa e a América do Norte, a água vem sendo usada de forma mais racional há décadas.

Em diversos países a importância de iniciativas de utilização de águas de chuva vem de encontro a necessidade de mudanças de paradigmas e hábitos da sociedade em função de sua preocupação com as reservas hídricas, com sua disponibilidade cada vez mais comprometida.

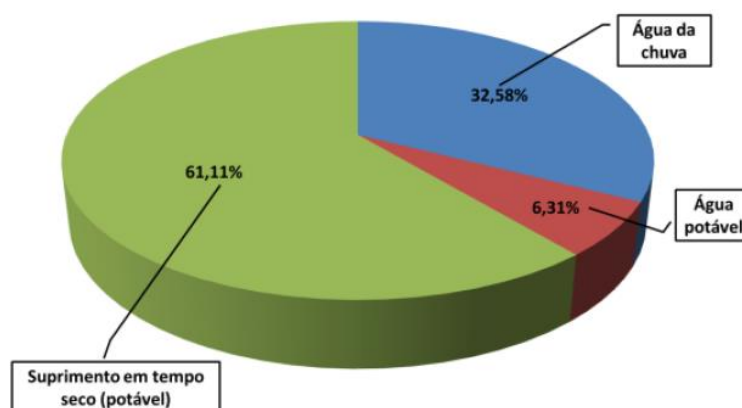
Países como Japão, Alemanha e EUA captam e utilizam água das chuvas para usos potáveis e não potáveis. Sumida, uma cidade da região metropolitana de Tóquio, possui precipitação média anual em torno de 1400 mm e devido à esse alto volume anual retém água de chuva para aproveitamento não potável e para a segurança do abastecimento de água em caso emergencial. Em outras cidades do Japão, o governo implantou um programa de coleta e aproveitamento de água pluvial concedendo incentivo financeiro aos que aceitassem construir reservatórios de água de chuva e valas de infiltração de água de chuva em suas casas (MAY, 2009).

Segundo Guanayem (2001), o primeiro reservatório para captação para aproveitamento de água de chuva no Brasil foi construído pelos norte-americanos na ilha de Fernando de Noronha em 1943.

No Brasil, há projetos utilizando águas pluviais para suprir necessidades diversas e reduzir o consumo de água potável. O Projeto LABHIDRO/UERJ (Laboratório de Hidrologia Aplicada e Hidráulica Experimental) desenvolvido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) através do projeto Sistemas de Águas Pluviais (Projeto SAP) é um exemplo dessa iniciativa (PROJETO SAP UERJ,2022).

Segundo Oliveira (2020), o aproveitamento de águas pluviais em edificações residenciais unifamiliares foi capaz de gerar e atender 32,58% de todo o consumo de água em épocas de chuvas reduzindo para 6,31% o consumo de água potável para fins menos nobres e para 61,11% o consumo geral de água potável no período seco (Figura 12).

Figura 12 – Consumo total de água em residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro com aproveitamento de água pluvial



Fonte: Oliveira, 2020

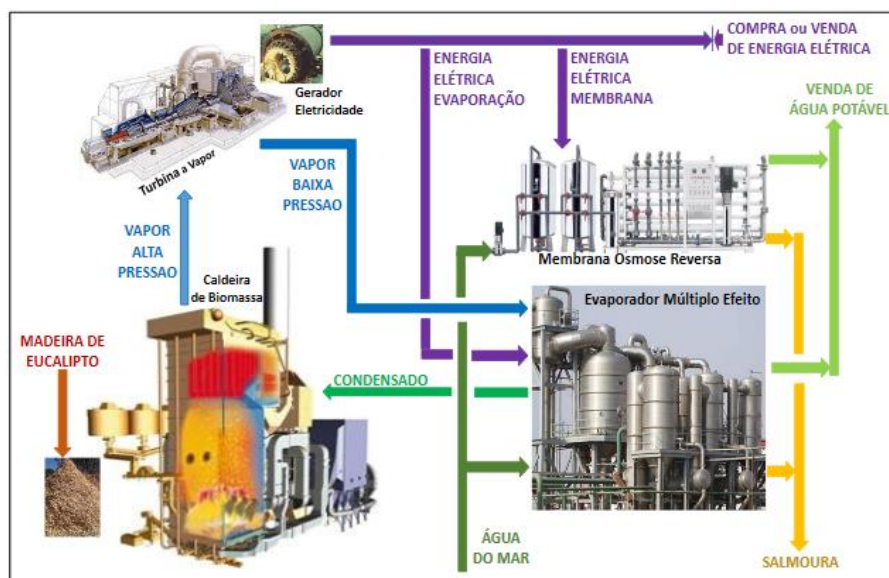
Entre as desvantagens do aproveitamento de águas de chuva podem ser destacadas as variações climáticas que afetam diretamente a oferta de águas pluviais (OLIVEIRA, 2020).

1.3.2 Águas salinas - Dessalinização

Em regiões do planeta com forte escassez e estresse hídrico, associado a baixa disponibilidade de água doce, a necessidade de obter água para usos diversos fez com que as águas salinas se tornassem uma alternativa estratégica para suprir a oferta d'água para consumo humano e outros usos vitais.

Conforme Almeida et al. (2018) a dessalinização consiste na remoção de sólidos dissolvidos totais e de condutividade elétrica das águas salinas. Segundo Fracasso e Moraes (2020), o processo de dessalinização pode ser combinado com cogeração de energia a partir da queima de biomassa de Eucalipto (Figura 13).

Figura 13 – Dessalinização e cogeração de energia elétrica



Fonte: Fracasso e Moraes, 2020

De acordo com Silva et al. (2017), cidades litorâneas brasileiras são as mais propícias no país para implementação de dessalinização da água do mar como alternativa de abastecimento d'água. Ainda segundo Silva et al. (2017), a cidade de Fortaleza poderia ser atendida em até 20% da demanda total de água necessária para abastecimento com a adoção de dessalinização de água salina.

Segundo Goga et al. (2019), a África do Sul adotou de forma complementar o sistema de dessalinização para garantir o abastecimento de água para a população. Porém, a dessalinização é um processo que causa grandes impactos ao meio ambiente por metro cúbico de água potável produzida entre eles: a acidificação do solo, eutrofização marinha, formação de material particulado e contribuição nas mudanças climáticas Goga et al., 2019).

Através de avaliações de índices de qualidade das águas, como potencial de hidrogênio (pH), concentrações de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), que a dessalinização no Rio Grande do Norte põe em risco a qualidade dos aquíferos subterrâneos da região (Antas et al., 2018).

1.4 Racionalização do uso da água

1.4.1 Reúso de águas servidas

A Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA, 2018) define a água residual como a água usada, tratadas ou não, oriundas dos esgotos, águas descartadas, efluentes líquidos de edificações, de indústrias, agroindústrias e da agropecuária, podendo ser divididas nas seguintes tipologias:

- Águas residuais industriais: águas provenientes de instalações utilizadas para todo o tipo de comércio ou indústria;
- Águas residuais de infiltração: resulta de infiltrações ocorridas pelos coletores de água;
- Águas residuais por ocorrência urbana: mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais e/ou água de escoamento pluvial, além de chuvas, regas, lavagem de pavimentos públicos, entre outros;
- Águas de reúso: água residuária, que atende os padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, segundo a Resolução nº 54/2005;
- Águas residuais domésticas: geradas no uso doméstico, provenientes dos banheiros, cozinha, lavagem de pavimentos domésticos e outros fins sanitários.

Jordão (1995) conceitua que as águas servidas são esgotos e podem ser classificados como domésticos e industriais, sendo o primeiro constituído essencialmente de despejos domésticos, já os esgotos industriais provem de qualquer utilização de água para fins industriais.

Segundo Von Sperling (2005) os esgotos tratados podem ser usados, sob certas condições, na agricultura, indústria e no meio urbano.

Rodrigues (2005) destaca que o reúso pode ser classificado da seguinte maneira:

- ✓ Reúso indireto: quando a água utilizada é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, diluída e depois captada para novo uso.
- ✓ Reúso direto: segundo a Resolução nº 54/05 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Conforme sustenta Rodrigues (2005), a reciclagem de águas pode ser entendida como reúso interno da água antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição para suplementar o abastecimento do uso original.

A SABESP (2021) destaca que a água de reúso é gerada a partir do esgoto tratado após uma etapa de refinamento, tornando-se apropriado para fins não potáveis.

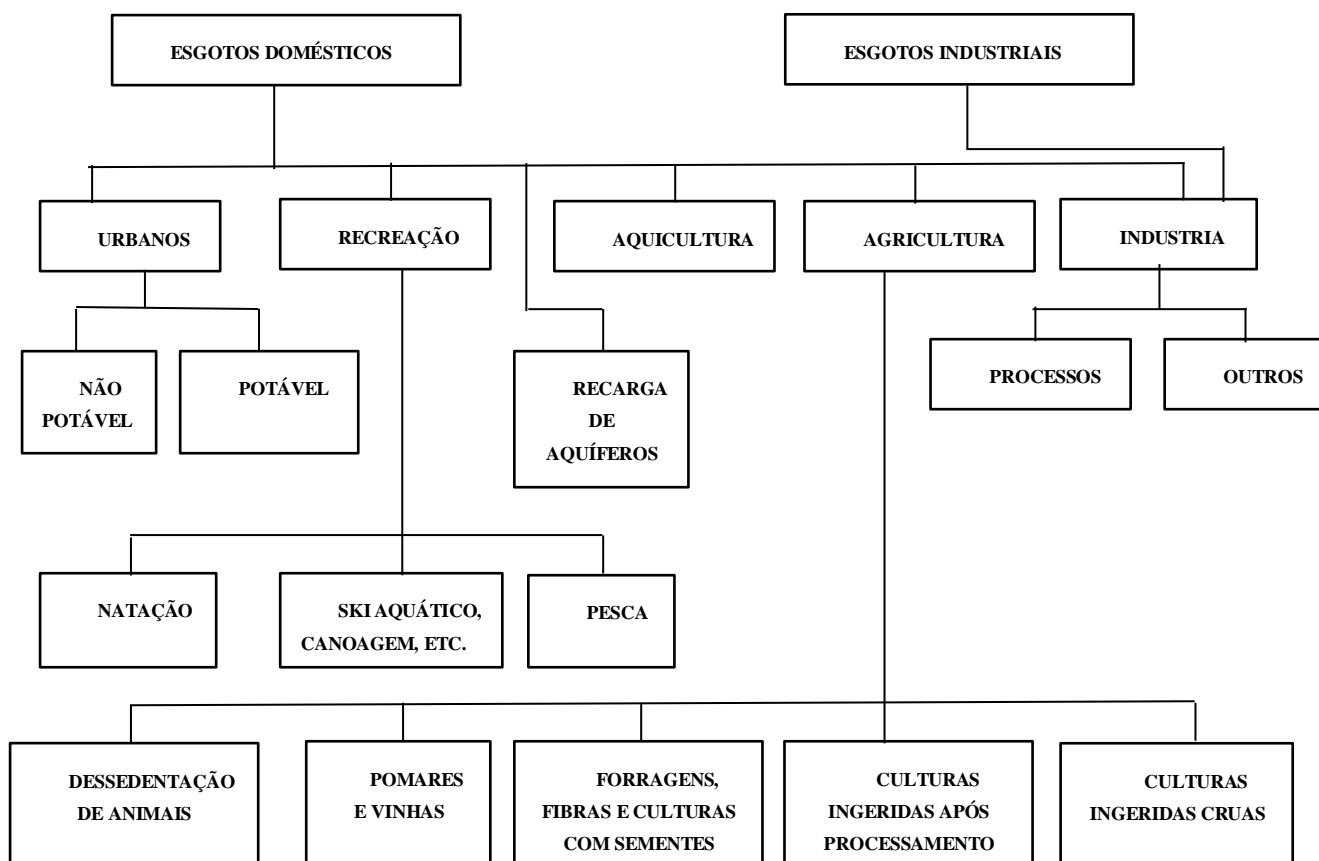
Segundo Tortajada e Nambiar (2019), o potencial da água de reúso para aumentar os recursos hídricos tem sido amplamente reconhecido, principalmente em países como Estados Unidos, Namíbia, Austrália, Bélgica, França, Reino Unido, Singapura e África do Sul. Esses países possuem tecnologias de tratamento das águas de reúso, inclusive para fins potáveis. Ainda segundo esses mesmos autores, Singapura coleta e trata 100% do esgoto gerado para reutilização potável e não potável.

Conforme destacou Tang *et al.* (2018), as águas de reúso se tornaram fundamentais para a manutenção dos corpos hídricos em regiões que lidam com a escassez hídrica.

O'Neill e Boyer (2020) destacam que o estado do Arizona nos Estados Unidos utiliza águas de reúso para usos diversos como irrigação paisagística, recarga de aquíferos subterrâneos e combate a incêndios com o intuito de preservar o abastecimento de água para toda população e a conservação hídrica.

Hespanhol (1997) apud Cunha *et al.* (2011) esquematizou os tipos básicos de usos potenciais de esgotos tratados que podem ser implantados nas áreas urbanas e rurais (Figura 14).

Figura 14 – Potenciais destinações de água de reúso



Fonte: Hespanhol, 1997 apud Cunha et al., 2011

Bajpai et al. (2019) destaca que para a proteção da saúde humana, foram estabelecidos padrões e diretrizes para o reúso de água recuperada em diversos países (Tabela 07).

Tabela 07 – Padrões e diretrizes para reúso de águas residuais em países diversos

Instituição/País	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Cloro Residual (mg/L)	Microrganismos (CFU 100/mL)	Aplicações
OMS	≤ 10	≤ 10	-	-	-	Coliformes Termotolerantes ≤10	Descarga em bacia sanitária
EUA	≤ 10	-	≤ 2 e < 5 (máx.)	6 - 9	≥ 1	Coliformes Fecais: indetectável <i>Escherichia Coli</i> : < 100 Coliformes Totais: < 2,2	Reúso urbano irrestrito/descarga em bacia sanitária
Reino Unido	-	10	< 10	5 - 9,5	< 2	<i>Escherichia Coli</i> : < 25 Coliformes Fecais: 1000	Descarga em bacia sanitária
Austrália	< 10	< 10	< 2 (95%) e < 5 (máx.)	6,5 - 8,5	-	<i>Escherichia Coli</i> : < 1	Máquina de lavar descarga de bacia sanitária
Canadá	≤ 20	≤ 20	≤ 5	-	≥ 0,5	<i>Escherichia Coli</i> : ≤ 200 Coliformes Termotolerantes ≤ 200	Lavagem de vasos sanitários e mictórios
Alemanha	< 5	-	-	-	-	Coliformes Totais : < 100 Coliformes Fecais: < 10 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> : < 1	Fornecimento de água
Japão	-	-	≤ 2 Nada desagradável	5,8 - 8,6	Retido ≥ 0,4	<i>Escherichia Coli</i> : indetectável Coliformes Totais: < 50	Descarga em bacia sanitária irrigação de paisagem
	≤ 20						
Itália	≤ 20	≤ 10	-	6,0 - 9,5	-	<i>Escherichia Coli</i> : ≤ 10	Em geral
Coreia do Sul	< 10	-	< 10	5,8 - 8,5	> 0,2mL/L	<i>Escherichia Coli</i> : indetectável	Descarga de bacia sanitária
Israel	< 10	< 10	< 20 (média < 10)	-	-	Coliformes Fecais: < 1 <i>Escherichia Coli</i> : < 400 (média < 100)	Descarga de bacia sanitária
China	< 10	-	< 5	6,0 - 9,0	> 1 (depois de 30 min.) > 0,2 (no ponto de uso)	Coliformes Fecais: < 3	Descarga de bacia sanitária
	< 20	-	< 20				Irrigação
	< 6	-	< 5				lavagem

Fonte: ADAPTADO Bajpai et al. 2019

1.4.2 Águas cinzas

Há diferentes tipologias de águas servidas em função de sua procedência e constituição. Segundo Jordão (1995), esgotos domésticos provêm de residências que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos e são compostos por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

As águas cinzas são exclusivamente oriundas de banheiros (com exceção das bacias sanitárias), cozinhas, lavagem de roupas em máquinas e tanques de lavar, não contendo fezes e urina e sendo consideradas como potenciais fontes geradoras de águas para fins não potáveis em residências (CARVALHO JÚNIOR, 2014; BARRADINHO et al., 2018; ARAÚJO et al., 2019).

Segundo Carvalho Júnior (2014), o reúso consiste em direcionar a água servida de lavatórios, chuveiros, bacias sanitárias e máquinas de lavar roupas para uma “miniestação de tratamento” e após o tratamento a água é utilizada para usos não potáveis.

Bajpai et al. (2019) destaca que para se reutilizar água cinza é preciso atender os seguintes critérios: tolerância ambiental, segurança higiênica, viabilidade econômica e estética. Ainda segundo esses autores, a qualidade exigida da água cinza para reúso é plenamente dependente do reúso final.

De acordo com a Graywater Action (2016), as águas cinza são resíduos líquidos não tratados originados de edificações residenciais sem contato dos resíduos originados da bacia sanitária. As águas cinzas são as águas residuais oriundas dos pontos de utilização da edificação com exceção dos pontos de utilização da cozinha e da bacia sanitária.

Manna (2018) aponta que a Índia sofre com escassez hídrica em regiões diversas e destaca a possibilidade de economia de água através da reutilização de águas cinzas. Segundo Manna (2018) a água cinza obtida em edificações residenciais é suficiente para atender as demandas não potáveis como descarga em bacia sanitária, limpeza das residências e irrigação de jardim em até 35% da demanda doméstica total. As características e parâmetros das águas cinzas na Índia são destacados na Tabela 08.

Tabela 08 – Características das águas cinzas na Índia

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR
pH	-	7,3 - 8,1
Condutividade (EC)	$\mu\text{S/cm}$	489 - 550
Turbidez	NTU	20,6 - 38,7
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	12 - 17,6
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0,5 - 0,63
Nitrogênio Total (TN)	mg/L	42,8 - 57,7
Fosfato (PO_4^{3-})	mg/L	1,52 - 3,36
DBO_5	mg/L	56 - 100
DQO	mg/L	244 - 284
Coliformes Totais (CT)	UFC/100mL	$3,74 \times 10^4$ a $3,80 \times 10^4$
Sódio (Na)	mg/L	43,8 - 48,1
Potássio (K)	mg/L	8,3 - 15,2
Boro (B)	mg/L	1,3 - 1,5
Cloro (Cl)	mg/L	7,4 - 12,9

Fonte: Manna, 2018

A qualidade das águas servidas disponíveis é um dos aspectos determinantes de suas potencialidades de reaproveitamento (MAY, 2009; BAJPAI et al., 2019).

1.4.3 Parâmetros de qualidade para fins não potáveis

O sucesso de um sistema de reúso de águas cinzas está diretamente ligado à qualidade da água que ele proporciona em relação ao seu uso não potável garantindo a saúde e bem-estar dos usuários, segundo Sant'Ana e Medeiros (2017). O processo de tratamento das águas cinzas em geral consiste nas etapas de pré-tratamento, tratamento principal e pós-tratamento para atender os padrões de qualidade mínimos exigidos (MANNA, 2018).

A NBR 13969/1997 determina parâmetros para reúso de água em diferentes destinações, definindo 4 classes distintas (Tabela 09).

Tabela 09 – Classes, parâmetros e limites para águas de reúso

Classes	Destinação	Parâmetros contemplados
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	Coliforme fecal < 200NMP/100mL Sólidos dissolvidos totais < 200mg/L pH de 6-8 Cloro residual 0,5-1,5mg/L Turbidez < 5
Classe 2	Lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins, manutenção de canais e lagos para fins paisagísticos.	Coliforme fecal < 500NMP/100mL Turbidez < 5 Cloro residual > 0,5mg/L
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários	Turbidez < 10 Coliforme fecal < 500NMP/100mL
Classe 4	Reúso nos pomares, pastagens para gado	Coliforme fecal < 5.000NMP/100mL Oxigênio Dissolvido > 2,0mg/L

Fonte: ADAPTADO ABNT NBR 13969/97

A NBR 15575-1/2013 estabelece critérios e requisitos para o reúso de água para destinação não potável em descargas de vasos sanitários com base nos limites apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Valor
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100ml
Cloro residual livre ¹	0,5 a 3,0mg/L
Turbidez	< 2,0uT ² , para usos menos restritivos < 5,0uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante ou antes da sua utilização)	< 15uH ³
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Nota: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

1 - No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção

2 - uT é unidade de turbidez

3 - uH é a unidade Hazen

Fonte: ABNT NBR 15575-1/2013

A NBR 16783/2019 estabelece procedimentos e requisitos para uso de fontes alternativas de água não potável em edificações e determina os limites de parâmetros que devem ser atendidos (Tabela 11).

Tabela 11 – Parâmetros de qualidade para água não potável

Parâmetros	Limite
pH	6,0 a 9,0
E.Coli	≤ 200 NMP/100mL
Turbidez	≤ 5 uT
DBO _{5,20}	≤ 20 mgO ₂ /L
CRL (cloro residual livre)	Mínimo 0,5mg/L - Máximo de 5,0mg/L Recomendável 0,5mg/L - Máximo de 2,0mg/L
Sólidos dissolvidos totais (SDT) ou condutividade elétrica ^a	≤ 2000mg/L ou ≤ 3200μS/cm
Carbono orgânico total (COB) ^b	< 4mg/L

a - Os valores de condutividade apresentam correlação com os sólidos dissolvidos totais. Uma outra opção é realizar a análise dos sólidos dissolvidos totais.

b - Somente para água de rebaixamento de lençol freático.

Fonte: ABNT NBR 16783/2019

1.5 Utilização de água cinza para fins não potáveis

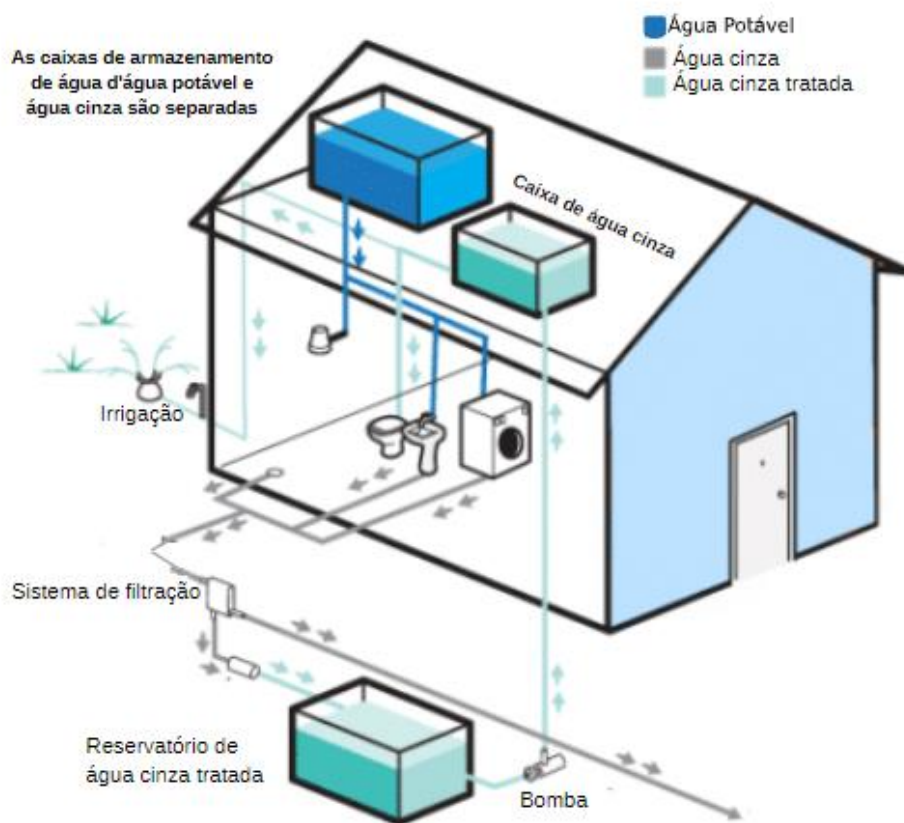
Segundo Sant'Ana e Medeiros (2017), o sucesso de um sistema de reúso de águas cinzas está diretamente ligado à qualidade da água que ele proporciona em relação ao seu uso não potável garantindo a saúde e bem-estar dos usuários.

De acordo com Manna (2018), o processo de tratamento das águas cinzas em geral consiste nas etapas de pré-tratamento, tratamento principal e pós-tratamento de forma a atender os padrões de qualidade mínimos exigidos a destinação pretendida.

Segundo Telles e Costa (2010), as águas cinzas são classificadas de acordo com a fonte geradora: doméstico, agrícola e industrial.

As águas reutilizáveis para descarga em bacias sanitárias são as do tipo de reúso direto planejado, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Reúso de água cinza para descarga em bacia sanitária



Fonte: EOS Organização e Sistemas, 2022

A utilização das águas cinzas em descarga de vasos sanitários é utilizada em diversos países do mundo (MONTEIRO, 2019). Zhu *et al.* (2018) destacam que na China ainda vem sendo debatidos os melhores parâmetros a serem seguidos. A qualidade das águas cinzas em vários países e especificamente na China são apresentadas na Tabela 12:

Tabela 12 – Características dos diferentes tipos de águas cinzas na China e em outros países, por procedência distinta (banheiro ou lavanderia/área de serviço)

Parâmetros	Unidade	Banheiro		Lavanderia / Área de serviço	
		China	Outros países	China	Outros países
pH	cr/mg/L	6.8 – 8.1	6.4 – 8.1	7.0 – 10.5	7.5 - 10
DQO	mg/L	73 - 463	94 - 645	276 – 1342	12.8 - 1815
DBO ₅	mg/L	15 – 69	33 - 424	94 – 512	48 - 470
COT	mg/L	5.3 – 99	30 – 120	26.8 – 991	100 - 280
N-NH ₄	mg/L	2.3 – 6.1	< 0.1 - 15	3.5 – 29	< 0.1 – 11.3
PT	mg/L	0.2 – 0.7	0.11 - 2	0.14 – 1.7	0.062 - 57
NT	mg/L	4.9 – 12.3	5 - 17	3.7 – 48.6	6 - 21
LAS	mg/L	6.0 -15.2	-	0.7 – 15	-
SST	mg/L	570 – 779	54 - 205	193 – 826	65 - 280
SS	mg/L	32 -359	40 - 120	79.2 – 543.5	2.7 - 250
Bactéria Total	UFC/L	2.0 x 10 ⁷ – 2.5 x 10 ⁹	-	-	-
Coliformes Totais	UFC/L	4.3 x 10 ⁴ – 3.5 x 10 ⁷	5 – 2.4 x 10 ⁷	-	56 – 8.9 x 10 ⁵

Fonte: ADAPTADO Zhu et al. 2018

Conforme pode ser observado na Tabela 08, os parâmetros adotados pela China são mais restritivos quando comparados aos de outros países. Contudo há dúvidas e desconfiança sobre a eficácia dessas restrições nas diretrizes de reutilização de águas cinzas para descargas de vasos sanitários no país, havendo a necessidade de maiores debates sobre essa questão (Zhu et al., 2018).

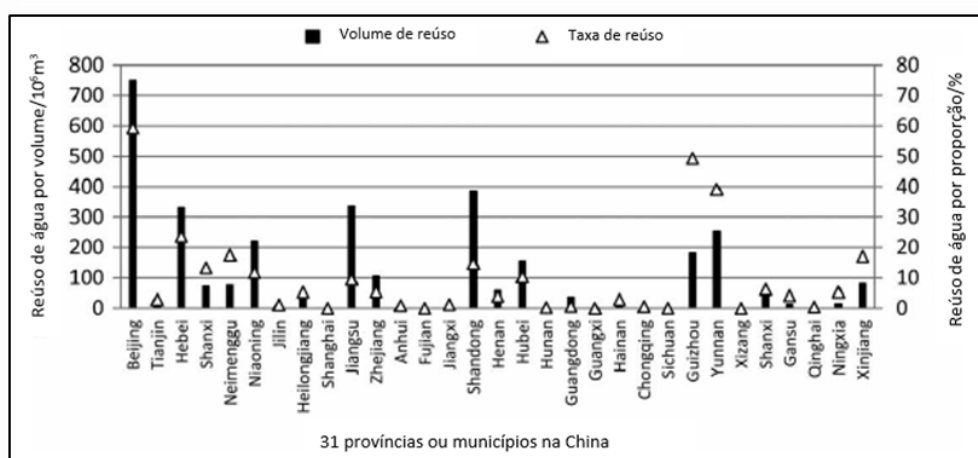
Quantitativamente a reutilização de águas de reúso na China ainda está abaixo de muitos outros países. Segundo Mohurd (2012a) apud Zhu et al. (2018), a China possui

2.072m³ de água doce per capita (um terço da média mundial) e no ano de 2012 utilizou 3,21x10⁹m³ de toda água recuperada representando 8,8% do total de águas residuais municipais tratadas no país.

Podem, porém, ser identificadas grandes contrastes entre províncias chinesas: enquanto Beijing, Guizhou e Yunnan apresentam uma taxa de reúso entre 40 e 60%, as demais 28 províncias apresentam taxas inferiores a 20%, sendo que em boa parte delas essa taxa é nula ou praticamente nula.

A Figura 16 apresenta os dados sobre a reutilização de água na China.

Figura 16 – Volume de reutilização e taxa de reutilização na China em 2012



Fonte: ADAPTADO Mohurd 2012a apud Zhu et al. 2018

Assim como o Brasil, a Malásia não possui legislação específica para reúso de águas cinzas, todavia há projetos em pequena escala para reusar as águas cinzas domésticas em descargas de vasos sanitários. Segundo Oh et al. (2018), esse país asiático possui poucos estudos de casos sobre reúso de águas cinzas e utiliza parâmetros consolidados de outros países (Tabela 13).

Tabela 13 – Limites de parâmetros de qualidade de águas cinzas pós-tratamento para usos não potáveis em diversos países

Parâmetros	Unidade	Austrália	Israel	EUA	Itália	Nova Gales do Sul	Reino Unido	Canadá
pH	-	-	-	6-9	6-9.5	-	5-9.5	-
SST	mg/L	<30	<10	-	<10	<20	-	<20
Turbidez	NTU	-	-	<2	-	2	<10	<5
DQO	mg/L	-	<100	-	<100	-	-	-
DBO ₅	mg/L	<20	<10	<10	<20	<20	-	<20
N Total	mg/L	-	-	-	<15	-	-	-
P Total	mg/L	-	-	-	<2	-	-	-
Cl ₂ Residual	mg/L	-	-	>1	-	2	<2	>0.5
<i>E. Coli</i>	UFC/100mL	-	-	-	<10	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	<10	-	-	-	-	-	-
Coliformes Fecais	UFC/100mL	-	-	N.D	-	<1	1000	<200
Salmonela	UFC/100mL	-	-	-	N.D	-	-	-
Tipo de Reúso	-	Irrigação de superfície, descargas sanitária, uso em lavanderia, lavagem de carro	Irrigação paisagística, descarga em bacia sanitária, proteção contra incêndio, resfriamento de ar condicionado		Descarga em bacia sanitária	Descarga em bacia sanitária	Descarga em bacia sanitária	Descarga em bacia sanitária

Fonte: ADAPTADO Oh et al. 2018

1.5.1 Sistemas de reúso de águas cinzas

De forma análoga ao reúso de uma maneira geral, a prática de reúso de águas cinzas demanda o condicionamento desses efluentes com base nos usos e destinações pretendidos.

São descritas de forma sucinta as principais etapas e tecnologias empregadas para tratamento e emprego de águas cinzas em ambientes residenciais, com foco na sua utilização em descargas de vasos sanitários, tendo em vista os objetivos da presente pesquisa.

As águas cinzas podem ser empregadas de formas diversas. A finalidade do seu uso varia de acordo com a qualidade e quantidade dessa água e com os parâmetros e legislações vigentes em cada país, estado ou município, segundo a opinião de autores diversos como Carvalho Júnior (2014), Tomaz (2010) e May (2009).

a) Captação

A captação das águas cinzas para reúso deve ser efetuada sem o contato direto com os humanos devido os riscos sanitários existentes (CARVALHO JÚNIOR, 2014; AZEVEDO NETTO, 2015). A determinação dos aparelhos sanitários que contribuirão diretamente com o sistema de águas cinzas devem ser previamente determinados (BARRADINHO et al., 2018).

b) Tratamento preliminar

Após a coleta das águas cinzas o tratamento dessas águas é importante para atender os parâmetros de reúso. A correção do pH é necessária pelo fato da água cinza oriunda da máquina de lavar roupas ser alcalina variando entre 5 e 8.7 (MARTINS et al., 2021).

c) Tratamento

No tratamento, as águas cinzas são submetidas às análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Esses parâmetros são avaliados antes e após o processo de filtração, composto, na maioria das vezes, por carvão ativado e areia, além da cloração para eliminar possíveis patógenos existentes nessas águas (MONTEIRO, 2019; MARTINS et al., 2021)

d) Armazenamento e distribuição

Após a devida desinfecção, as águas cinzas necessitam de um sistema para seu armazenamento e posterior utilização como descargas em vasos sanitários, reserva de incêndio, lavagem de pátios, calçadas e garagens.

Segundo Monteiro (2019), o armazenamento dessas águas, pode ser efetuado em reservatórios (caixa d'água) de fibrocimento, polietileno, fibra de vidro, aço inoxidável e poliéster reforçado (Figura 17) ou mesmo em bombonas de PVC (Figura 18).

Figura 17 – Tipos de caixas d'água



Fonte: O autor, 2021

Figura 18 - Bombona Plástica



Fonte: Casológica, 2022

Com relação a distribuição de águas cinzas para os pontos de utilização, por razões sanitárias há necessidade de um sistema independente do de água potável.

1.6 Riscos à saúde relacionados à reutilização de águas cinzas

Cunha et al. (2011) afirma que a saúde humana está relacionada aos principais fatores de desenvolvimento e de gestão dos recursos hídricos. O estado da saúde humana está vinculado a uma série de condições relacionadas com a água: potabilidade, saneamento

adequado, redução da carga de enfermidades relacionadas com a água e existência de ecossistemas de água doce saudáveis.

Ainda segundo Cunha et al. (2011), os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, florestais, industriais, urbanos e ambientais.

A crescente necessidade cada vez mais latente em consumir água com racionalidade visando à manutenção dos recursos hídricos não exclui os usuários de possíveis riscos de infecções ou doenças quando não efetuados os devidos tratamentos nas águas de reúso. As águas cinzas podem apresentar aspecto de água limpa, porém podem conter microrganismos nocivos à saúde como bactérias, vírus e fungos (Alves et al., 2016).

De acordo com Hespanhol (2003), os riscos de usos das águas cinzas para fins não potáveis são menores que os riscos dos usos para fins potáveis, mas devem ser tratados cuidadosamente uma vez que há possibilidade de risco em caso de contato direto com o ser humano.

O monitoramento do esgoto para identificação de agentes causadores ou transmissores de doenças por veiculação hídrica bem como os devidos cuidados na operação e manutenção do sistema de coleta e tratamento dessas águas residuárias requerem maior atenção e proteção durante a operação para evitar qualquer risco de infecção ou ingestão indevida da água de reúso (CHERNICHARO et al., 2020).

Segundo Sermejian et al. (2018), o risco de contaminação por fármacos em águas residuais, é uma preocupação no reúso de águas cinza na cidade de Sharjah, nos Emirados Árabes Unidos.

1.7 Tipos de tratamento para águas cinzas

O polimento das águas cinzas é uma etapa fundamental para as diversas finalidades de reúso.

Segundo (TOMAZ, 2013), o tratamento pode ser do tipo:

- Convencional onde são efetuadas as seguintes etapas de tratamento: coagulação, floculação, desinfecção e correção de pH;
- Avançado onde há processos acrescidos ao tratamento convencional que conferem à água características como cor, odor e atividade tóxica; e

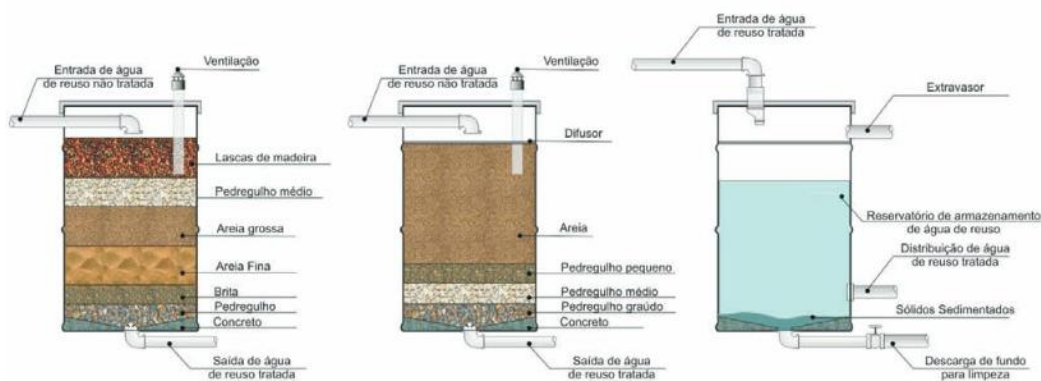
- Alternativos (não convencionais) onde o processo de tratamento pode ser realizado sem ou com poucos elementos químicos (industrializados) e com elementos naturais.

As tecnologias de tratamento de águas cinza podem ser realizadas com materiais biodegradáveis como a membrana de tratamento desenvolvida por Oh et al. (2016) que utilizou quitosana e alginato para fabricar uma membrana de bicamada de polieletrólito (PCBM).

Na Malásia, foi implementado um sistema de tratamento de águas cinza com filtro composto por areia, outro por carvão ativado e a desinfecção por ozônio alcançando uma eficiência de tratamento dentro dos padrões de reutilização não potável (Oh et al., 2015; 2018). Conforme destacaram Giordano e Surerus (2015), o carvão ativado é um adsorvente que pode ou não ser reaproveitado no processo e tem como função reduzir a concentração de matéria orgânica tóxica.

Segundo Oliveira et al. (2007), uma forma de tratamento de águas cinzas domésticas é o filtro de múltiplas camadas onde o sistema filtrante é composto por múltiplas camadas por onde o efluente passa. Esse filtro promove o tratamento biológico e mecânico reduzindo a Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$), retendo com eficiência os sólidos sedimentáveis e removendo, parcialmente ou totalmente, as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrato, fosfato e coliformes fecais (Figura 19).

Figura 19 – Filtro de múltiplas camadas utilizado para tratamento de águas cinzas destinadas ao reúso



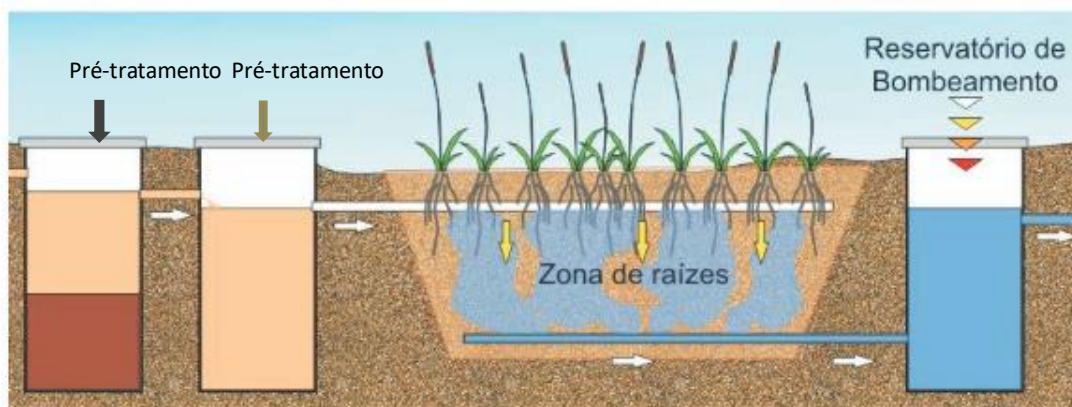
Fonte: Oliveira et al., 2007

Para Reis et al. (2018) um sistema de tratamento composto por tanque séptico, filtro anaeróbico, filtro de areia e desinfecção com cloração é satisfatório para tratar as águas cinzas domésticas e deixá-las próprias para usos não potáveis.

Os sistemas por solos filtrantes, também denominado sistema por zona de raízes ou *Wetlands*, são processos de tratamentos que aproveitam as características do solo para tratar o efluente doméstico.

Segundo Oliveira et al. (2007), nesse processo passa por uma fossa séptica e um decantador antes de percorrer pela vala filtrante (Figura 20). Ainda segundo os autores, o sistema de zona de raízes processa quase que a totalidade da carga poluidora a transformando em materiais inofensivos e até mesmo em úteis para o desenvolvimento das plantas.

Figura 20 – Sistema de raízes para tratamento de águas cinzas domésticas



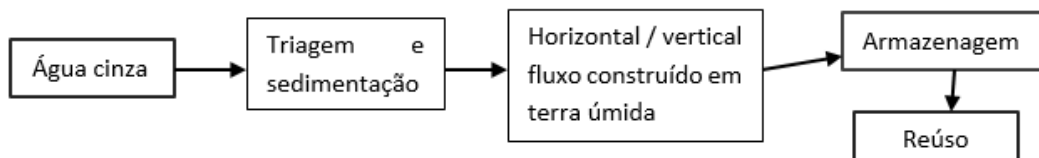
Fonte: Adaptado Oliveira et al., 2007

Costa et al. (2018) desenvolveram um sistema de tratamento de águas cinzas baseado no tratamento misto e esse processo era composto por filtro de areia, filtro de manta sintética acrílica com capacidade de reter partículas maiores que $100\mu\text{m}$, filtro composto por pedras vulcânicas e partículas de materiais cerâmicos para proporcionar o desenvolvimento de colônias bacterianas com o objetivo de remover a matéria orgânica da água e um filtro preenchido com polímero sintético macroporoso denominado Purigen® que atua na eliminação da carga orgânica devido à sua alta capacidade removedora de material orgânico presente na água.

Segundo Manna (2018), na Índia o tratamento natural de águas cinzas tem ganhado espaço como alternativa mais viável em relação aos métodos convencionais de tratamento. O sistema de tratamento por terra úmida de fluxo horizontal e vertical bem como os filtros de solo de fluxo vertical incluem os processos físico, químico e biológicos

por meio de filtros compostos de areia, cascalho, rocha e outros materiais para reter e eliminar os poluentes existentes nas águas cinzas brutas captadas para reúsos não potáveis diversos (Figura 21).

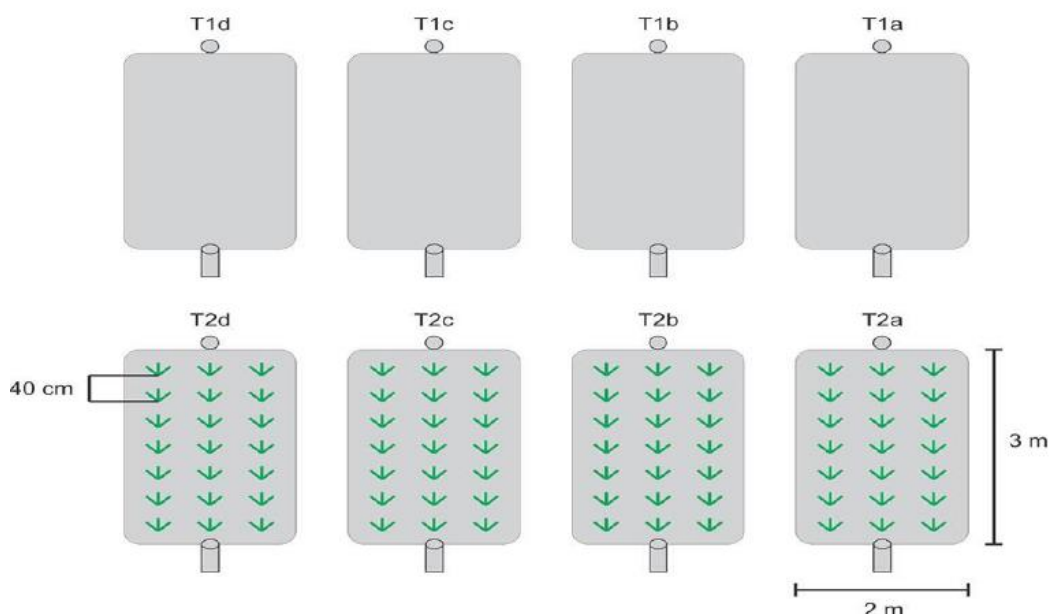
Figura 21 – Sistema de tratamento de águas cinzas por terra úmida



Fonte: Manna, 2018

Em pesquisas de forma alternativa e sustentável no tratamento de águas cinzas para fins não potáveis, Baracuhy et al. (2015) decidiram construir um processo de tratamento por fitorremediação utilizando capim roxo para remover os coliformes presentes nas águas cinzas oriundas da lavanderia. Nesse processo de tratamento foram utilizados 8 (oito) tanques onde 4 (quatro) continham o capim e os outros 4 sem esse vegetal (Figura 22).

Figura 22 – Sistema de tratamento de águas cinzas por fitorremediação

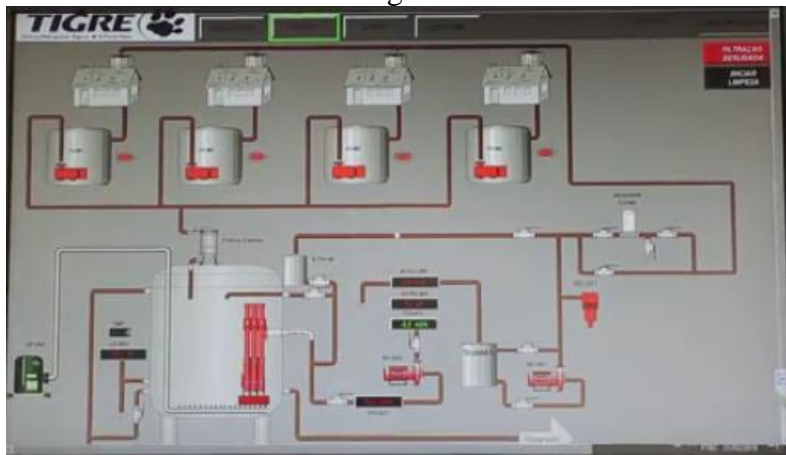


Fonte: Baracuhy et al., 2015

A empresa Tigre S/A (2018) desenvolveu um sistema de tratamento de águas e efluentes para utilização em indústrias, comércios, shoppings e condomínios residenciais denominado Bluebox® que funciona como uma estação de tratamento de esgoto

compacta (ETEC) automatizada. Esse sistema é composto por um processo anaeróbico seguido da utilização de membranas de ultrafiltração para remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e microrganismos presentes nas águas cinzas (Figuras 23 e 24).

Figura 23 – Sistema de tratamento de águas cinzas com membranas de ultrafiltração



Fonte: Tigre, 2021

Figura 24 – ETEC automatizada da Tigre para tratamento de águas cinzas

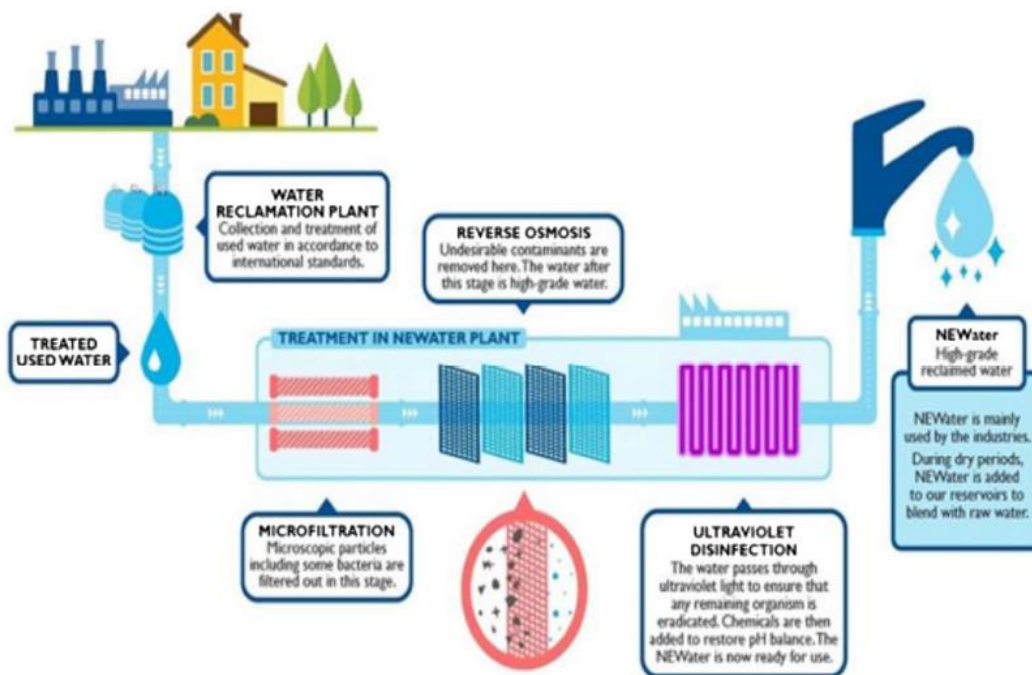


Fonte: Tigre, 2021

Giordano e Surerus (2015) sinalizaram o aumento na utilização das membranas nos processos de tratamento de águas cinzas e residuais e, destacaram a aplicabilidade na remoção de partículas, moléculas e na retenção de flocos biológicos. Os autores apontaram ainda que as membranas de microfiltração são utilizadas para remoção de flocos biológicos e pigmentos, as membranas de ultrafiltração para remoção de vírus, emulsões e proteínas e as membranas de nanofiltração para remoção e retenção de moléculas orgânicas com massa molecular inferior a 200 Dalton, pesticidas, fármacos, corantes e sais.

Em Cingapura existe um sistema de saneamento totalmente modernizado e, conforme destacou Kog (2020), o sistema de tratamento de águas cinzas e residuais denominado NEWater trata em três etapas essas águas para consumo humano através de membranas conforme a Figura 25.

Figura 25 – Etapas de tratamento para a produção da NEWater (Nova Água)



Fonte: Kog, 2020

A microfiltração retém as partículas microscópicas além de bactérias, vírus, protozoários e sólidos, a osmose reversa filtra os contaminantes indesejáveis como cloretos, vírus, bactérias, nitrato, sulfato, pesticidas e metais pesados deixando a água com alto padrão de qualidade e livre de patógenos biológicos e com baixíssima quantidade de sal e matéria orgânica. Por fim e para eliminar os organismos restantes não retidos nas fases anteriores é utilizada luz ultravioleta e assim a desinfecção é realizada deixando a água potável para o consumo humano, ainda segundo Kog (2020).

2. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

No país existem diversos instrumentos legais e normativos nos âmbitos Federal, Estadual e Municipal que direcionam sobre certas finalidades e parâmetros para utilização das águas de fontes alternativas.

2.1 Âmbito Federal

O código das águas – Decreto 24.643 de 1934 – destaca que as águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo dispor delas a vontade, salvo existindo direito ao contrário.

A Lei no 9.433 de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos – fixa os fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de indicar a orientação pública no processo de gerenciamento dos recursos hídricos e estabelece entre os princípios de ações governamentais o incentivo ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais bem como a racionalização do uso da água, instituindo a sua outorga (cobrança pelo uso da água).

A NBR 13969/1997, propõe alternativas para tratamento e disposição dos efluentes (águas cinzas e negras) dos tanques sépticos, incluindo alternativas para possibilitar a adequação da qualidade do efluente para diferentes situações, incluindo o reúso e classifica, conforme a Tabela 14, os efluentes em 4 classes além de determinar padrões para reúso.

Tabela 14 - Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos conforme reúso

Classes	Destinação	Parâmetros contemplados	Tratamento indicado	Observações
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	CF < 200NMP/100mL Sólidos dissolvidos totais < 200mg/L pH de 6-8 Cl 0,5-1,5mg/L Turbidez < 5	Tratamento aeróbio + filtração convencional com areia e carvão ativado + cloração	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 2	Lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins, manutenção de canais e lagos para fins paisagísticos.	CF < 500NMP/100mL Turbidez < 5 Cl > 0,5mg/L	Tratamento aeróbio + filtro de areia e desinfecção	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários	Turbidez < 10 CF < 500NMP/100mL	Tratamento aeróbio + Cloração	As águas provenientes de máquinas de lavar satisfazem a este padrão
Classe 4	Reúso nos pomares, pastagens para gado	CF < 5.000NMP/100mL OD > 2,0mg/L	Escoamento superficial	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita

Fonte: Adaptado ABNT NBR 13969/97

Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 274 de 2000 destaca a importância da avaliação e controle da qualidade das águas no que tange aos riscos microbiológicos existentes como coliformes fecais, *Escherichia coli* e *Enterococos* que são danosos à saúde humana. Recomenda ainda, que sejam realizados testes quanto a qualidade da água para balneabilidade, em relação a existência de patógenos, para preservação do bem-estar e saúde humana (Tabela 15).

Tabela 15 - Padrões microbiológicos para águas de recreação

Balneabilidade - categoria	Qualidade	Padrões para o corpo d'água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100 mL ou 200EC/100 mL ou 25 Enterococos/100 mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Própria	Muito boa	Máximo de 500 CF/100 mL ou 400EC/100 mL ou 50 Enterococos/100 mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Própria	Satisfatória	Máximo de 1000 CF/100 mL ou 800EC/100 mL ou 100 Enterococos/100 mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores
Imprópria	<p>Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias. Incidência elevada ou anormal de enfermidades transmissíveis por via hídrica; Valor obtido na última amostragem for superior a 2500CF/100 mL ou 2000 EC/100 mL ou 400 enterococos/100 mL; Presença de resíduos ou despejos; pH<6 ou >9; Floração de algas; outros fatores que contra - indiquem o contato primário</p>	

Fonte: Adaptado CONAMA 274/2000

O CONAMA publicou a Resolução nº 357 de 2005 considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza. Também traz a importância da reformulação das classificações das águas para um maior controle da poluição e redução dos riscos à saúde do homem e aos impactos ambientais negativos além dos riscos biológicos com a presença de coliformes termotolerantes na água com base nas definições diretamente ligadas ao reúso como os coliformes

termotolerantes, as condições de lançamento, a desinfecção, os padrões e tratamentos convencionais e avançados, destacados no artigo segundo (Art. 2º) da citada Resolução.

Diante de algumas lacunas existentes na Resolução nº 357/2005 o CONAMA promulgou em 2011 a Resolução nº 430. Entre outros aspectos regulamentados, essa normativa traz alterações dos parâmetros de tratamento dos efluentes de esgotos sanitários que devem ser considerados em projetos de reaproveitamento de águas cinza em residências como a observância de materiais sedimentáveis e compostos orgânicos presentes que determinam a quantidade de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) presentes nas águas de reúso.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou, no ano de 2005, a Resolução nº 54 estabelecendo modalidades, diretrizes e critérios gerais para regulamentar e estimular a prática de reúso direto não potável em todo o Brasil. No mesmo ano, o CONAMA publicou a Resolução nº 357 de 2005 considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza. Também traz a importância da reformulação das classificações das águas para um maior controle da poluição e redução dos riscos à saúde do homem e aos impactos ambientais negativos além dos riscos biológicos com a presença de coliformes termotolerantes na água com base nas definições diretamente ligadas ao reúso como os coliformes termotolerantes, as condições de lançamento, a desinfecção, os padrões e tratamentos convencionais e avançados, destacados no artigo segundo (Art. 2º) da citada Resolução. Diante de algumas lacunas existentes na Resolução nº 357/2005, foi publicada pelo CONAMA, em 2011, a Resolução nº 430 sendo um importante complemento daquela Resolução e que traz alterações dos parâmetros de tratamento dos efluentes de esgotos sanitários que são consideráveis na projeção de reaproveitamento de águas cinza em residências como a observância de materiais sedimentáveis e compostos orgânicos presentes que determinam a quantidade de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) presentes nas águas de reúso.

No ano de 2007 a ABNT publicou a NBR 15527 informando que as águas de chuva podem ser utilizadas em descargas sanitárias, lavagem de veículos e outros fins não potáveis após adequado tratamento. Essa Norma determina os parâmetros, Tabela 16, que devem ser observados para aproveitar a água pluvial para usos não potáveis a fim de evitar

qualquer tipo de contaminação, contudo a concepção de projeto do sistema de coleta da água de chuva deve atender a norma ABNT NBR 10844/1989.

Tabela 16 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

PARÂMETRO	ANÁLISE	VALOR
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivo < 5,0 uT, para usos mais restritivos
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste de pH para a proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Nota: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

^aNo caso de serem utilizados cloro para desinfecção;

uT é unidade de turbidez;

uH é unidade de Hazen

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15527/2007

A importância do uso racional de água nas edificações é uma questão mundial e o Brasil tem buscado com legislações e normas técnicas, garantir essa racionalidade e com isso foram publicadas as normas ABNT NBR 15575-1/2013 que trata dos requisitos e critérios de desempenho aplicados às edificações habitacionais além de destacar o consumo de água e deposição de esgotos através do reúso de água desde que atendidos

os requisitos e critérios do item 18.4 da própria Norma e a NBR 16782/2019 que dispõe de requisitos, procedimentos e diretrizes sobre a conservação de água em edificações.

Ainda nessa busca de legitimar, orientar e incentivar a racionalização da água através de usos não potáveis por fontes alternativas, o Brasil tem se movimentado. O Senado Federal apresentou o Projeto de Lei nº 58/2016, arquivado em dezembro de 2018 após ter sua tramitação encerrada, que tinha como objetivos a utilização racional, diminuição do desperdício e sustentabilidade dos recursos hídricos e redução do consumo de água potável e volume de efluentes gerados.

No ano seguinte foi apresentado, pela Câmara dos Deputados Federais, o Projeto de Lei nº 7.169/2017 que previa a existência de mecanismos para reutilização de água em projetos de edificações e empreendimentos urbanísticos, privados ou públicos, porém esse Projeto de Lei foi arquivado em 2019.

Ainda em 2019, a Câmara dos Deputados Federais apresentou o Projeto de Lei nº 4.162/2019 que previa a atualização do marco legal do saneamento básico no país e a ampliação das atribuições da Agência Nacional de Águas (ANA) passando a ser Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) com a alteração da Lei nº 9.984/2000 que criou a Agência.

Dando continuidade, o Congresso Nacional aprovou a Lei nº 14.026 de 2020 – Novo Marco Legal do Saneamento Básico – que traz em seu artigo quarto (Art.4º), que caberá à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) estabelecer normas de referência sobre reúso dos efluentes sanitários tratados, observadas as normas ambientais e de saúde pública.

Outra proposta apresentada pela Câmara dos Deputados Federais referente à reutilização de água para fins não potáveis foi o Projeto de Lei nº 2.451/2020. Em seu artigo terceiro, discrimina que as novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais devem utilizar água de reúso proveniente do polimento do efluente final das estações de tratamento de esgoto, do tratamento de efluentes líquidos do processo industrial ou da recuperação de água chuva para aplicações que não requeiram água potável.

Visando a viabilidade e a segurança da utilização da água de reúso, as novas edificações devem prever no projeto:

- I. rede específica de encanamentos para alimentar uma caixa de água de reúso, autônoma e independente da rede de abastecimento de água potável, com tubulação direcionada para

equipamentos e atividades que tolerem usos menos exigentes, tais como vasos sanitários, máquinas de lavar, rega de jardins, lavagem de pisos e outros espaços, lavagem de mobiliário público, resfriamento de caldeiras e outros processos industriais e atividades comerciais que não demandem água potável;

- II. sistema de tratamento de efluentes líquidos capaz de remover pelo menos 95% da carga orgânica de esgoto e de garantir que a água de reuso seja segura para manuseio humano e utilizada para fins menos exigentes, excluindo o consumo humano;
- III. sistema de tratamento de efluentes de água de processo industrial capaz de remover produtos químicos e materiais perigosos em percentuais estipulados pela legislação infralegal; e
- IV. sistema de captação e tratamento de água de chuva respaldado em normas técnicas específicas.

No ano de 2019 foi publicada a primeira norma técnica específica para reúsos de águas cinzas oriundas de edificações para fins não potáveis: a ABNT NBR 16783/2019. A citada norma estabelece procedimentos e requisitos para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações com uso residencial, comercial, institucional, de serviços e de lazer. A utilização dessas fontes alternativas, se realizada em escala, pode trazer reduções significativas na demanda de água no nível municipal, segundo destaque da presente norma.

A Tabela 17 ilustra de forma resumida as legislações de âmbito nacional e normas citadas sobre águas de fontes alternativas para fins não potáveis.

Tabela 17 - Resumo das legislações de âmbito nacional e normas sobre águas de fontes alternativas para fins não potáveis

Legislação	Origem	Descrição
DECRETO Nº 24.643/1934	Brasil	Código das Águas
NBR 10844/1989	ABNT	Fixa exigências e critérios necessários para projetos de instalações de drenagem de águas pluviais em edificações
LEI Nº 9.433/1997	Brasil	Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)
NBR 13969/1997	ABNT	Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos - projeto, operação, construção e operação.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 274/2000	CONAMA	Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras - riscos microbiológicos
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005	CONAMA	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais e padrões para lançamento de efluentes
RESOLUÇÃO Nº 54/2005 do CNRH	CNRH	Estabelece critérios gerais para reúso de água não potável
NBR 15527/2007	ABNT	Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para captação de água de chuva para fins não potáveis
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430/2011	CONAMA	Complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005; altera os parâmetros de tratamento de efluentes de esgotos sanitários
NBR 15575-1_2013	ABNT	Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais
PROJETO DE LEI Nº 58/2016	Senado Federal	Disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas
PROJETO DE LEI Nº 7.169/2017	Câmara dos Deputados	Dispõe sobre a necessidade de prever nos projetos de edificações e empreendimentos urbanísticos, privados ou públicos, a existência de mecanismos para reutilização da água
PROJETO DE LEI Nº 4.162/2019	Câmara dos Deputados	Atualiza o marco legal do saneamento básico
NBR 16782/2012	ABNT	Conservação de água em edificações - requisitos, procedimentos e diretrizes
NBR 16783/2019	ABNT	Uso de Fontes Alternativas de Água Não Potável em Edificações
Lei Nº 14.026/2020	Senado Federal	Atualiza o marco legal do saneamento básico
PROJETO DE LEI Nº 2.451/2020	Câmara dos Deputados	Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais

Fonte: Própria, 2021

2.2 Âmbito Estadual

Fatores negativos como a poluição dos corpos hídricos, aliados a sucessivas estiagens nas últimas décadas, conduziram a severa crise hídrica em alguns estados como Paraná,

Rio de Janeiro, São Paulo, além do Distrito Federal, resultando em situações de não abastecimento permanente de água, e que exigiram até mesmo o racionamento.

Objetivando potencializar a oferta de água e de maneira análoga aquela ocorrida com a União, foi implementada a criação de legislação sobre aproveitamento de água de chuva e reúso de água para fins não potáveis.

No Estado da Bahia, através da Resolução no 75/2010, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para disciplinar a prática de reúso direto não potável de águas residuais nas áreas agrícolas e florestais.

O Ceará sancionou a Lei nº 16.033/2016 estabelecendo critérios para reúso de água não potável com o objetivo de viabilizar e estimular a sua ação em todo o Estado. Essa Lei destaca que o reúso de água não potável atenderá às seguintes diretrizes: proteção e promoção da saúde pública, manutenção da integridade dos ecossistemas, proteção e preservação dos recursos hídricos existentes e o uso sustentável da água.

O Espírito Santo alterou sua Constituição Estadual através da Emenda Constitucional nº 107/2017 onde foi incluído planos de reúso e reúso de águas residuárias para fins não potáveis.

No Rio Grande do Sul, há a Diretriz Técnica nº 05/2017 foi publicada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Essa normativa versa sobre a avaliação da viabilidade ambiental do licenciamento de atividades geradoras de efluentes líquidos sanitários (despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas) ou industriais. O reúso de água para fins urbanos não potáveis está incluído entre as diversas opções e alternativas sugeridas por essa Diretriz Técnica

O Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA) promulgou posteriormente a Resolução nº 419/2020 estabelecendo critérios e procedimentos para a utilização não potável de água de reúso proveniente de efluentes líquidos tratados de origem industrial ou sanitário, para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais. Esta Resolução define o reúso para fins urbanos como a utilização de água de reúso em áreas urbanas, industriais ou rurais, públicas ou privadas, para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros e veículos, desobstrução de tubulações, obras civis, equipamentos, instalações, entre outros usos não potáveis e veda a aplicação

de água de reúso em raio menor ou igual a 70 (setenta) metros de poços e outras captações de águas subterrâneas utilizadas para abastecimento de fins potáveis.

O Distrito Federal sancionou a Lei nº 5.890/2017 estabelecendo as diretrizes para políticas públicas de uso de água não potável em edificações não industriais. A presente Lei destina os seguintes reúsos não potáveis: irrigação paisagística, uso ornamental, sistemas de combate a incêndios, descargas sanitárias, lavagem de pisos, fachadas, veículos, roupas, resfriamento de equipamentos e de ar condicionado central.

Com o objetivo de propiciar uma maior infiltração e retardo de escoamento superficial de águas pluviais, o Distrito Federal sancionou a Lei Complementar nº 929/2017 estabelecendo diretrizes para o uso de dispositivos destinados à infiltração artificial de águas pluviais para a recarga de aquíferos, para sua retenção e aproveitamento em unidades imobiliárias e em empreendimentos.

Visando incentivar os municípios goianos a implementarem e a ampliarem o uso racional e redução do consumo de água potável, o Estado de Goiás sancionou a Lei nº 20.440/2019 que institui o Selo Azul Sustentável, em forma de reconhecimento ao mérito das iniciativas dos municípios que adotam práticas relacionadas ao uso racional da água. Os municípios poderão requerer o Selo Azul Sustentável desde que atendam os critérios estabelecidos pelo Decreto nº 9.505/2019:

- I. Adoção de ações que induzam à conservação e ao uso racional da água em suas edificações;
- II. Uso de fontes alternativas de captação, armazenamento e utilização de água da chuva, servida ou de reúso;
- III. Utilização de medidas de combate ao desperdício de água potável, mediante o uso de fontes alternativas e a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água;
- IV. Realização de práticas para proteção das nascentes e mananciais; e,
- V. Implementação o Plano de Saneamento Básico, o Plano de Recursos Hídricos e o Plano de Resíduos Sólidos.

Através do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), o Estado de Minas Gerais publicou a Deliberação Normativa nº 65/2020 que estabelece diretrizes,

modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados.

O Rio de Janeiro dispõe de política de reúso de águas para fins não potáveis desde a aprovação do Decreto nº 47.403/2020. Esse Decreto tem como objetivo estimular a prática do reúso da água para finalidades diversas que não sejam o consumo humano e redução da utilização de água potável para fins não potáveis. Ainda de acordo com o seu Art. 16, os critérios e parâmetros de qualidade específicos para as modalidades diversas de reúso de água para fins não potáveis serão regulamentos por normas definidas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

A Lei Estadual nº 9.164/2020 regulamenta os procedimentos de acumulação de água cinza clara - águas provenientes do chuveiro, banheira, lavatório, tanque e máquina de lavar roupa - e finalidades não potáveis no Rio de Janeiro trazendo em seu artigo 2º que edificações com áreas impermeabilizadas superior a 360m² e consumo de água a partir de 20m³ diário deverão ser dotadas de reservatório de captação de água de chuva e água cinza clara além de reciclar as águas cinzas promovendo assim a preservação dos recursos hídricos. Ainda conforme o parágrafo quinto (§ 5º) do mesmo artigo, em conjunto habitacional com mais de 100 (cem) unidades a reciclagem de água cinza clara será feita desde que o somatório das unidades de consumo de água seja igual ou maior a 80m³ por dia.

A Tabela 18 exemplifica de resumida as legislações estaduais sobre fontes alternativas de água para fins não potáveis.

Tabela 18 – Resumo das legislações estaduais sobre águas de reúso

Legislação	Origem	Descrição
RESOLUÇÃO Nº 75/2010	Bahia	Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água
LEI Nº 16.033/2016	Ceará	na modalidade agrícola e/ou florestal.
EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 107/2017	Espírito Santo	Inclui os planos de reúso e reúso de águas dos recursos hídricos respectivamente na Constituição Estadual do Espírito Santo
LEI COMPLEMENTAR Nº 929/2017	Distrito Federal	Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal
LEI Nº 5.890/2017	Distrito Federal	Estabelece diretrizes para políticas públicas de uso de água não potável em edificações não industriais no Distrito Federal.
LEI Nº 20.440/2019	Goiás	Institui o Selo Azul Sustentável, de reconhecimento às iniciativas municipais que favoreçam o uso racional e a redução do consumo de água potável.
DECRETO Nº 9.505/2019	Goiás	Regulamenta a Lei estadual nº 20.440, de 10 de abril de 2019, que institui o Selo Azul Sustentável, estabelecendo os critérios para obtenção do selo, a forma de concessão, seu modelo, confecção, uso e controle.
DECRETO Nº 47.403/2020	Rio de Janeiro	Dispõe sobre a política de reúso de água para fins não potáveis no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.
DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH-MG Nº 65/2020	Minas Gerais	Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências.
LEI Nº 9.164/2020	Rio de Janeiro	Regulamenta os procedimentos para armazenamento e retardo de água de chuva em perímetros urbanos para aproveitamento e postergação de sua descarga na rede pública, além da acumulação de água cinza clara para seu tratamento de uso em fins cuja água não necessite ter caráter potável consoante as Normas Técnicas.
Resolução CONSEMA Nº 419 /2020	Rio Grande do Sul	Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul

Fonte: Própria, 2021

2.3 Âmbito Municipal

Assim como alguns Estados brasileiros vêm procurando incentivar o emprego de águas menos nobres para fins não potáveis, vários municípios têm buscado alternativas para reduzir os usos de água potável através de leis de incentivo à racionalização no consumo da água, à reutilização de águas cinzas e ao aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

Através do Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), a cidade de Curitiba criou, em 2003, a Lei Municipal nº 10.785 que tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes

alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água. O programa destaca a importância da captação, armazenamento e utilização das águas pluviais e reutilização das águas servidas nas edificações.

Em 2006, a cidade de Campinas (SP) aprovou o Programa Municipal de Conservação, Uso Racional e Reutilização de Água em Edificações através da Lei nº 12.474. As ações desenvolvidas para se alcançar o esperado desse programa são as seguintes:

- I. Uso racional de água que deverá ser entendido como o conjunto de ações que permitam economia de água e um eficiente combate ao desperdício quantitativo em edificações e demais áreas (combater o volume de água potável desperdiçada pelo uso abusivo e reduzir as perdas de vazamento);
- II. Conservação que deve ser entendida como o conjunto de ações que não permitam a degradação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do subsolo e dos corpos d'água por pesticidas e contaminantes (metais pesados), a destruição das matas ciliares e das áreas de recarga dos aquíferos, os lançamentos indevidos nas galerias de águas pluviais, etc;
- III. Aproveitamento de água de chuva, que deverá ser entendido como o conjunto de ações que possibilitem a captação, reservação, tratamento, monitoramento da qualidade e distribuição para o uso em aplicações/atividades menos nobres: irrigação, lavagem de pisos, etc. Neste caso os sistemas de reservação e distribuição deverão ser totalmente separados, de modo a impedir a mistura com água da rede pública, conforme legislações vigentes;
- IV. Reúso de águas servidas, que deve ser entendido como as que já foram utilizadas primeiramente em tanques, máquinas de lavar, chuveiros e banheiras, para utilização em atividades menos nobres, compatíveis com as características dessas águas servidas, envolvendo a captação, coleta, tratamento, monitoramento da qualidade, distribuição e manutenção; e
- V. Incentivar o reúso das águas provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto, para aplicações compatíveis, tais como: limpeza de ruas, galerias, bueiros, redes de esgoto e atividades industriais compatíveis.

Ainda em Campinas, oito anos após a sanção da Lei nº 12.474/2006, a Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SVDS) e a Secretaria Municipal de Saúde (SMS) elaboraram conjuntamente a Resolução nº 09/2014, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam a prática de reúso direto não potável de água, provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos, para finalidades de usos múltiplos. As modalidades destacadas por essa Resolução são as seguintes:

- I. Reúso para fins urbanos destinados a irrigação paisagística, de caráter esporádico, ou sazonal, de parques, jardins, campos de esporte e de lazer urbanos, ou áreas verdes de qualquer espécie;
- II. Reúso para fins urbanos destinados a lavagem de logradouros e outros espaços, públicos e privados;
- III. Reúso para fins urbanos destinados à construção civil, incorporada ao concreto não estrutural, cura de concreto em obras, umectação para compactação em terraplenagens, lamas de perfuração em métodos não destrutivos para escavação de túneis e instalação de dutos, resfriamento de rolos compressores em pavimentação e controle de poeira em obras e aterros;
- IV. Reúso para fins urbanos destinados ao Corpo de Bombeiros, utilizada no combate a incêndio;
- V. Reúso para fins urbanos destinados a desobstrução de galerias de água pluvial e de rede de esgotos;
- VI. Reúso para fins urbanos destinados a lavagem automatizada externa de veículos, caminhões de resíduos sólidos domésticos, de coleta seletiva, de construção civil, trens e aviões; e
- VII. Reúso para fins industriais destinados a usos em processos, atividades e operações industriais.

Em 2015, a Câmara Municipal de São Paulo aprovou a Lei nº 16.174 estabelecendo regras e medidas para o reúso de água para fins não potáveis oriundas de efluente final de esgoto tratado, de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático em toda região da capital do Estado de São Paulo. Essa Lei visa incentivar a utilização dessas fontes alternativas de água onde não há a exigência de água potável como: obras e serviços como a lavagem de ruas, praças públicas, monumentos, veículos automotores, operações de rescaldo após incêndios e limpeza de galerias de águas pluviais. Também foi criado o Programa de Reaproveitamento de Águas de Drenagem Subterrânea (PROSUB) com o objetivo de incentivar o reúso de águas que se infiltram no subsolo de edificações em garagens subterrâneas, túneis de serviço viários e águas de rebaixamento do lençol freático em obras de empreendimentos imobiliários para aplicações urbanas não potáveis compatíveis como, por exemplo, irrigação de áreas verdes, descarga de bacias sanitárias e mictórios.

Através da Lei nº 4.503/2007, o Município de Vila Velha (ES), instituiu o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações, Estabelecimentos e Atividades. Entre seus objetivos destaca-se induzir à conservação, uso consciente e

utilização de fontes alternativas para a captação de água, sua reciclagem e seu reúso nas edificações, estabelecimentos e atividades, bem como a conscientização da população sobre a importância da conservação da água e da preservação dos recursos hídricos. Em 2012, esse programa foi atualizado pela Lei nº 5.261/2012, com a inclusão de ações como o incentivo do reúso e da reciclagem da água para fins que não o consumo humano ou animal, a manutenção da quantidade e da qualidade da água disponível no Município, proteção dos aquíferos subterrâneos e orientações educacionais à sociedade local referentes à conservação e ao uso racional da água.

Ciente da importância de proteger o meio ambiente para as gerações futuras, o Município de Guarapari (ES) sancionou, em 2015, a Lei nº 3.942 estabelecendo assim, a política municipal de sustentabilidade e enfrentamento às mudanças climáticas. Essa Lei tem estratégias de incentivo a utilização de sistemas sustentáveis como captação de águas de chuva, reutilização de águas cinzas, energia solar, promoção e ampliação de áreas verdes nas edificações de habitação popular desenvolvidas pelo município.

A cidade de Niterói (RJ) sancionou a Lei nº 2.856/2011 instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas – águas cinza: as águas utilizadas nos chuveiros, banheiras, lavatórios, tanques e/ou máquina de lavar - em edificações públicas e privadas destacando que em obras novas com consumo diário de água a partir de 20m³ será obrigatória a aplicabilidade dessa Lei. Em seu Artigo 3º são discriminados os parâmetros a serem atendidos para reutilização das águas cinzas (Tabela 19).

Tabela 19 – Parâmetros especificados para reúsos de águas cinzas no Município de Niterói

PARÂMETROS		
Turbidez	Inferior a 5 uT	pH - potencial hidrogeniônico - Indicador de grau de neutralidade, acidez e alcalinidade da água
pH	Entre 6,0 e 9,0	
Cor	Até 15 uH	
Cloro residual	Entre 0,50mg/L e 2,00mg/L	uT - Unidade de Turbidez
Coliformes totais	Ausência em 100mL	uH - Unidade Hazen (mgPTCo/L)
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100mL	
Sólidos dissolvidos totais	Inferior a 200mg/L	mg/L - miligrama por litro
Oxigênio dissolvido	Acima de 2,0mg/L	mL - mililitro

Fonte: Lei nº 2.856/2011

No município do Rio de Janeiro, encontra-se em tramitação o Projeto de Lei nº 2015/2016 - Programa Municipal de Conservação e Uso Racional e Sustentável da Água e de Reúso de Águas Servidas em Edificações.

No seu artigo 2º o projeto de Lei destaca algumas premissas importantes com relação ao desenvolvimento das seguintes ações prioritárias:

I – conservação e uso racional da água, entendido como o conjunto de ações que propiciem a economia de água e o combate ao desperdício quantitativo nas edificações.

II – utilização de fontes alternativas, entendido como o conjunto de ações que possibilitem o uso de outras fontes para captação de água que não o sistema público de abastecimento;

III – utilização de águas servidas, entendidas como aquelas utilizadas no uso doméstico ou comercial, em tanques, pias, máquinas de lavar, chuveiros, banheiras, piscinas entre outros, e que possam ser reaproveitadas em atividades específicas, tais como a limpeza de vias públicas e a rega de plantas.

A Tabela 20 apresenta uma compilação das legislações municipais citadas neste trabalho.

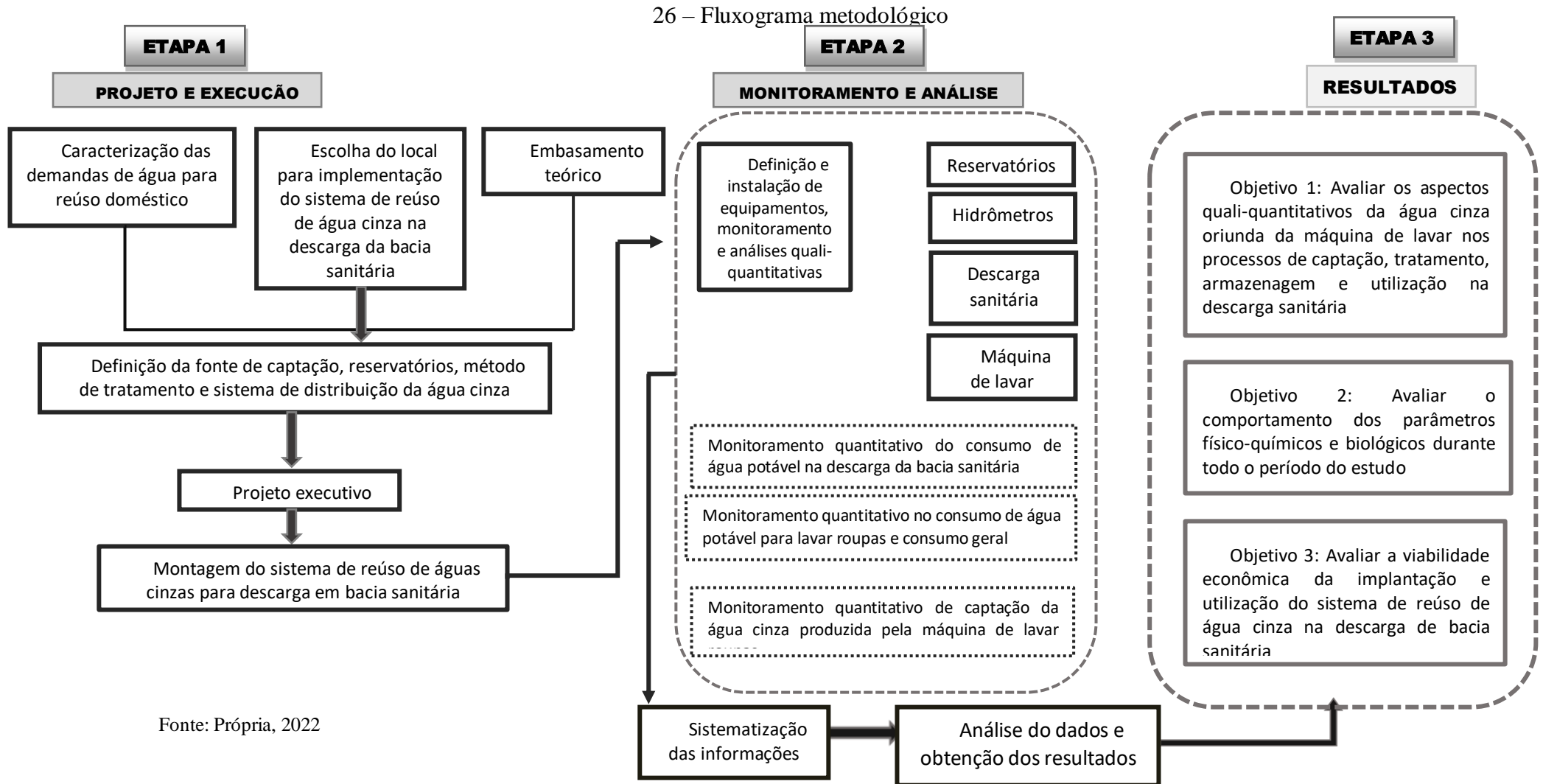
Tabela 20 – Resumo das legislações municipais sobre águas de reúso

Legislação	Origem	Descrição
Lei Nº 10.785/2003	Curitiba	Programa Municipal de conservação e uso racional e sustentável de água e de reúso de águas servidas em edificações - PURAE
Lei Nº 12.474/2006	Campinas	Cria o programa municipal de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações.
Lei Nº 4.503/2007	Vila Velha	Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações
LEI Nº 2.856/2011	Niterói	Institui mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas do município de Niterói
LEI Nº 5.261/2012	Vila Velha	Acrescenta dispositivos à Lei 4503/07
RESOLUÇÃO CONJUNTA SVDS/SMS Nº 09/2014	Campinas	Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água, provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos, para fins de usos múltiplos no município de Campinas.
LEI Nº 3.942/2015	Guarapari	Dispõe sobre a política de sustentabilidade e enfrentamento às mudanças climáticas do município de Guarapari.
LEI Nº 16.174/2015	São Paulo	Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático
PROJETO DE LEI Nº 2015/2016	Rio de Janeiro	Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional e Sustentável da Água e de Reúso de Águas Servidas em Edificações

Fonte: Própria, 2021

3. METODOLOGIA

O processo metodológico adotado para atingir os objetivos do presente trabalho está disposto na forma do fluxograma da Figura 26.



Fonte: Própria, 2022

A metodologia foi dividida em 3 etapas, a saber:

a) Etapa 1- Projeto e execução:

- Embasamento teórico
- Caracterização das demandas de água para fins não potáveis em uma residência unifamiliar;

- Escolha do local.

b) Etapa 2 – Monitoramento e análises:

- Instalação de hidrômetro para caracterizar a vazão;
- Contagem de acionamentos diários da descarga sanitária;
- Caracterização da qualidade da água cinza através de análises laboratoriais mensais;

- Montagem, operação e monitoramento de um sistema piloto de tratamento para reúso das águas cinzas para fins não potáveis residenciais com foco no acionamento de descargas sanitárias.

- Aquisição dos componentes;
- Montagens do sistema;
- Operação e monitoramento.

c) Etapa 3 - Resultados do sistema:

- Avaliação global do sistema
- Custo de implantação (imóvel já construído x em planta);
- Consumo e produção de água.

3.1. Etapa 1: Projeto e execução

3.1.1. Levantamento de estudos e referências inclusive a legislação e normatização pertinentes

3.2. Etapa 2: Monitoramento e análise

3.2.1 Seleção do local do experimento

Para o desenvolvimento do experimento, foi selecionada uma residência unifamiliar, habitada por 3 (três) pessoas, localizada na rua Martinho do Haro, número 110, casa 102, situada no loteamento Vila Maria, composto por dezoito ruas, pertencente ao bairro de Santíssimo, na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, nas coordenadas 22°52'47''S/43°31'45''W (Figura 27).

Figura 27 – Localidade do estudo



Fonte: Elaboração própria com imagens da MultiRio e do Google Earth, 2020

O bairro de Santíssimo foi criado em 1981 pelo Decreto 3158/1981, geograficamente acidentado com morros e pequenos vales, população de 41.458 habitantes, IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) 0,780, um dos piores IDHs da cidade ocupando o 101º lugar entre os 126 bairros analisados, segundo o MultiRio (2013), possui uma estação ferroviária vinculada ao ramal de Santa Cruz, que leva o mesmo nome do bairro, e uma linha de ônibus urbano e outras cinco que passam pela principal via que corta todo o bairro, a estrada da Posse.

A região onde se localiza o imóvel selecionado para execução do protótipo de tratamento de água cinza para reúso em descarga de bacia sanitária está inserida na Área de Planejamento nº 5 (AP-5), área essa que não possui abastecimento contínuo de água e

a coleta de esgoto é deficitária. Segundo Fundação Rio-Águas (2021), os índices de coleta e tratamento de esgoto são respectivamente de 70,34% e 70,68% na região da AP-5.

Até 2021, a empresa responsável pelos serviços de abastecimento de água era a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) enquanto a concessionária Zona Oeste Mais Saneamento (ZOMS), que pertence ao grupo Águas do Brasil, é a responsável pela coleta de esgoto desde 2012. A CEDAE não media, gerava contas ou efetuava cobrança de água das economias locais, considerando entre outras limitações as próprias deficiências no atendimento prestado aos moradores locais.

Essas deficiências são caracterizadas por frequentes carências de retaguarda e pressão mínima na rede, além da necessidade de constantes manobras no sistema.

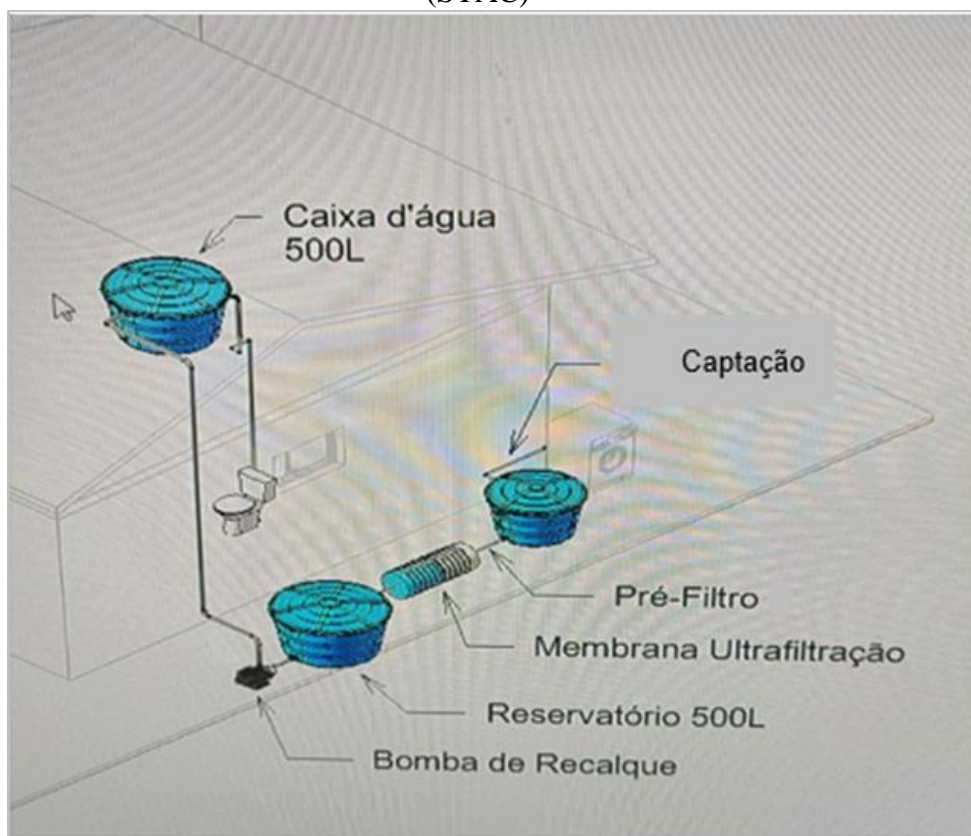
Recentemente a empresa Rio Mais Saneamento (Rio+Saneamento), pertencente ao mesmo grupo da Zona Oeste Mais Saneamento, assumiu a concessão da prestação dos serviços de distribuição de água em Santíssimo e outros 21 bairros da Zona Oeste da Capital, região essa denominada Área de Planejamento nº 5 (AP-5) (CEDAE, 2022).

A residência possui dois pavimentos, dispondo de dois quartos, dois banheiros, sala, cozinha, quintal e área de serviço sendo a metragem da área construída de 57,28 metros quadrados e da área total de 96,75 metros quadrados. O imóvel é do tipo geminada, construção de dois ou mais imóveis ligados uns aos outros que dividem de forma proporcional o mesmo lote com estrutura compartilhada, ou seja, residência conjugada de forma simétrica que compartilha a alvenaria e parede com outra residência idêntica.

O experimento do STAC deveria ser desenvolvido com o ciclo completo até o ponto de utilização da água cinza tratada (Figura 28), porém não foi possível devido às restrições existentes no imóvel. Assim foi construído parcialmente o protótipo para avaliar a eficiência do sistema.

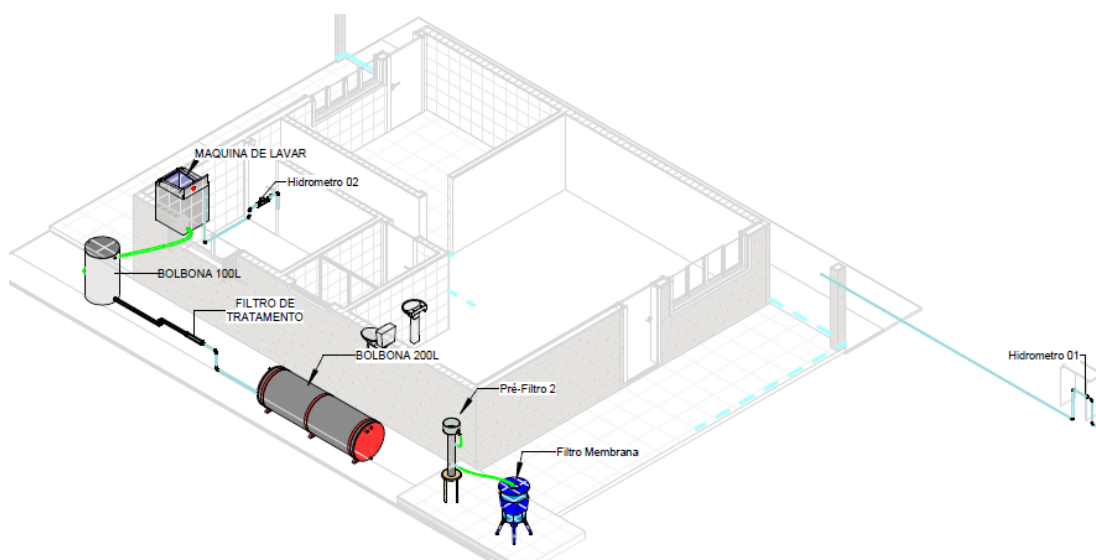
Pela disponibilidade de espaço para instalação do experimento e pela proximidade da área de serviço onde estão instalados a máquina e o tanque de lavar roupas da residência, a área indicada para o posicionamento do protótipo na casa foi o corredor que dá acesso à área de serviço pela parte externa (Figura 29). O efluente captado para reutilização foi somente o oriundo da máquina de lavar roupas.

Figura 28 – Esquema geral do protótipo do Sistema de Tratamento de Água Cinza (STAC)



Fonte: O autor, 2021

Figura 29 – Esquema geral do protótipo de tratamento de água cinza



Fonte: O autor, 2021

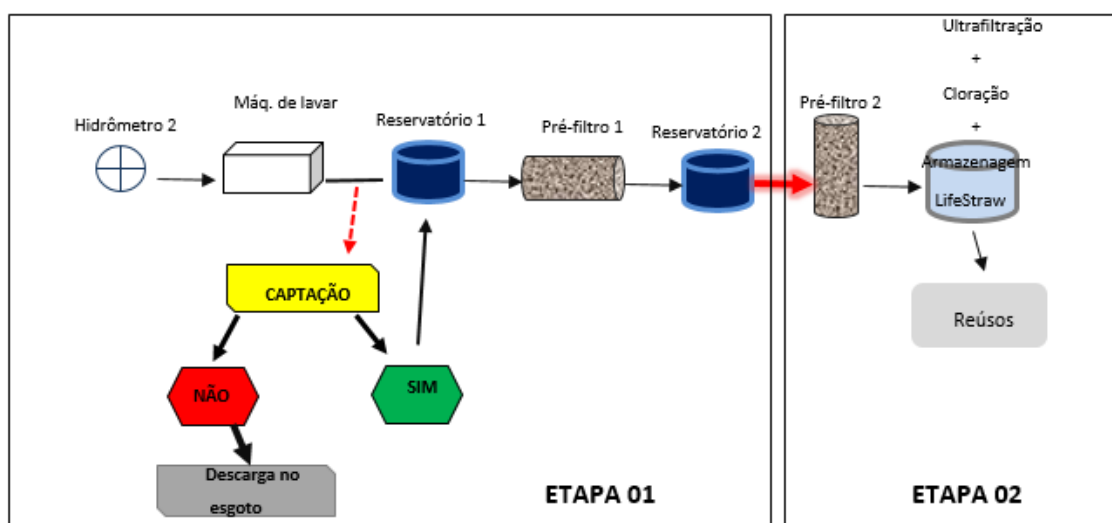
3.2.2. Desenvolvimento prático do experimento

O experimento para análise do sistema de tratamento e reúso de águas cinzas em edificações residenciais foi desenvolvido como:

- I. Dimensionamento do sistema incluindo a captação, pré-filtro e sistema de tratamento por membrana, volumes dos reservatórios de armazenamento de água cinza;
- II. Aquisição do material e montagem do experimento;
- III. Operação e monitoramento através da realização de coletas de amostras para caracterização das águas cinzas brutas, após o pré-filtro e pós tratamento com membrana de ultrafiltração, a partir de análises de parâmetros de qualidade em laboratório credenciado.

A Figura 30 apresenta de forma esquemática todos os passos, desde a geração até o armazenamento pós-tratamento, do sistema de tratamento de água cinza (STAC).

Figura 30 – Fluxograma do processo de tratamento do STAC



Fonte: O autor, 2021

É possível visualizar a existência de duas etapas no fluxograma do processo de tratamento da água cinza captada da máquina de lavar roupas. A transição da etapa 1 para a etapa 2 foi realizada de forma manual com recipiente graduado e, sem contato direto com a água, por não haver uma conexão direta entre elas e pelo volume de água cinza gerada na etapa 1.

3.2.3. Caracterização da demanda de água potável e geração do efluente

Foram inicialmente estimadas as vazões com base em dados teóricos disponíveis na literatura técnica (HESPANHOL, 2003; JORDÃO, 1995; CARVALHO JÚNIOR, 2014; AZEVEDO NETTO, 2015) e nas especificações de fabricantes como a Hidraconex que comercializa hidrômetros com vazão de 3 m³/h e Fabrimar e Deca que produzem válvulas de descarga de vasos sanitários com vazões de 3 e 6 litros por acionamento. A partir das características do imóvel utilizado para sediar o experimento, bem como dos aspectos quantitativos e de qualidade dos efluentes (águas cinzas) e das águas regeneradas, foi adotada como fonte de geração e fornecimento de águas cinzas aquelas produzidas pela máquina de lavar, a serem regeneradas para emprego no acionamento na bacia sanitária.

Na definição do consumo/demanda de água foram adotados dois métodos para definição da vazão da máquina de lavar (geração):

A. Método por Estimativa – baseado no consumo teórico da máquina de lavar roupas.

A máquina de lavar roupas utilizada nesse projeto foi a lavadora de roupas Electrolux LTC10 (Figura 31), que possui capacidade de máxima de carga de 10kg e consumo de água entre 69L e 150L, que corresponde ao nível extra baixo ao nível alto de água (Tabela 21).

Figura 31 – Lavadora de roupas Electrolux LTC10



Fonte: Electrolux, 2021

Tabela 21 – Consumo aproximado, por ciclo, de água da lavadora de roupas e suas variações dos níveis d'água

Consumo aproximado de água por ciclo (em vazio, sem duplo enxágue e com pressão de entrada de água de 0,24 MPa)	Nível extra baixo de água	69 litros
	Nível baixo de água	91 litros
	Nível médio de água	118 litros
	Nível alto de água	150 litros

Fonte: Electrolux, 2021

- B. Método empírico: Medição do consumo d'água com de aferições periódicas nos hidrômetros instalados nos pontos de entrada de abastecimento da residência e a montante da máquina de lavar roupas.

Em função das características de vazão e qualidade da água, tanto gerada como demandada, foi definido que as águas cinzas seriam empregadas para acionamento das descargas sanitárias da residência.

3.2.4. Caracterização das vazões de águas cinzas: Instalação de hidrômetros

Um hidrômetro (HID-G) foi instalado no ponto de entrada da casa para medir o consumo de água de modo geral e outro hidrômetro (HID-MLR) foi instalado exclusivamente para medir o volume de água utilizada pela lavadora a cada acionamento (Figura 32). A rotina de lavagem de roupas era repetida duas vezes na semana, sendo anotados aferidos no hidrômetro antes e ao final dessas operações de lavagem.

Figura 32 – Hidrômetro medidor de vazão de água



Fonte: Hidrauconex, 2019

A leitura do hidrômetro geral (HID-G) era efetuada a cada 30 (trinta) dias para descobrir o consumo mensal de água potável no imóvel (Tabela 22).

Tabela 22 – Ficha de controle mensal do volume de água consumida no imóvel

HID-G	
MÊS	Consumo mensal (Litros)
Março	
Abril	
Maio	
Junho	
Julho	
Agosto	
Setembro	
Outubro	
Novembro	
Dezembro	
Janeiro	
Fevereiro	
Março	
TOTAL	

Fonte: O autor, 2020

A máquina de lavar foi acionada duas vezes por semana e o volume de água potável utilizada por acionamento registrado por um hidrômetro (HID-MLR) instalado a montante do ponto de utilização (Figura 33).

Os valores foram aferidos antes e após os acionamentos, sendo registrados em formulário próprio (Tabela 23).

Figura 33 – Hidrômetro (HID-MLR) para registrar o volume de água utilizada por acionamento da máquina de lavar roupas



Fonte: Própria, 2020

Tabela 23 – Formulário para registrar o volume de água utilizada por acionamento da máquina de lavar

REGISTRO DE ACIONAMENTOS DA MÁQUINA DE LAVAR			
DATA	HIDRÔMETRO		
	PRÉ LAVAGEM	PÓS LAVAGEM	VOLUME CONSUMIDO

Fonte: O autor, 2020

3.2.4.1 Aferição da vazão necessária de consumo de águas cinzas: Contagem de acionamentos diários da descarga sanitária

O avanço tecnológico possibilitou a otimização no consumo de água potável para descarga na bacia sanitária tendo uma variação de volume entre 3 e 6 litros d'água a cada acionamento (MAY, 2009; CARVALHO JÚNIOR, 2014; AZEVEDO NETTO, 2015).

A bacia sanitária da residência é do modelo que consome 6 litros de água por acionamento (Figura 34).

Figura 34 – Modelo da bacia sanitária do banheiro da residência



Fonte: Icasa louça sanitária, 2021

Para quantificar o consumo de água potável nas descargas sanitárias foi elaborado um formulário (Figura 35) de forma a registrar diariamente o número de acionamentos da

descarga da bacia sanitária. Esse monitoramento foi realizado entre março de 2020 e março de 2021.

Figura 35 – Formulário de controle dos acionamentos diários da descarga sanitária

FORMULÁRIO DE ACIONAMENTOS DIÁRIOS DA DESCARGA SANITÁRIA							
	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
SEMANA 1							
SEMANA 2							
SEMANA 3							
SEMANA 4							
SEMANA 5							
TOTAL							

Fonte: O autor, 2020

Dessa forma foi possível estimar a demanda diária de água para atender os acionamentos da bacia sanitária.

Durante o período de 13 (treze) meses, entre os anos de 2020 e 2021, em que as leituras de consumo de água potável e o volume de águas cinzas geradas na residência foram sendo registradas, correlações entre os resultados obtidos foram efetuadas, como: médias do consumo geral de água potável, da quantidade de vezes em que foi acionada a descarga sanitária por cada pessoa residente no local, do total de acionamentos da descarga sanitária por todos os residentes do local e correlação entre o volume de água consumida nas descargas sanitárias com o volume do consumo geral no imóvel. Além dessas correlações também foram feitos os desvios padrões e o total de água potável consumida no imóvel e de cada registro relacionado com a descarga sanitária no período dos 13 meses em que foram efetuadas a pesquisa. Todas as anotações e resultados obtidos foram registrados de acordo com a Tabela 24.

Tabela 24 – Correlações entre os registros de acionamentos da descarga sanitária e o volume geral de água consumida na residência

Acionamentos bacia sanitária (6 litros por acionamento)					
MÊS	QUANTIDADE (nº vezes/pessoa)	Total Acionamentos (Mês)	Descarga Água (L/mês)	HID-G (L/mês)	Relação Consumo Descarga/Hidrômetro (%)
Março					
Abril					
Maio					
Junho					
Julho					
Agosto					
Setembro					
Outubro					
Novembro					
Dezembro					
Janeiro					
Fevereiro					
Março					
Total					
Média					
Desvio Padrão					
Mediana					

Fonte: Própria, 2020

No ponto de utilização da máquina de lavar também foram efetuadas correlações entre o consumo de água potável necessária para cada ciclo de lavagem das roupas na máquina, com o volume de água cinza gerada e descartada no sistema de captação e entre os hidrômetros instalados no ponto de abastecimento geral da edificação (HID-G) e no ponto de utilização da máquina de lavar roupas (HID-MLR), conforme Tabela 25.

Tabela 25 – Correlações entre o consumo da máquina de lavar roupas e o consumo geral de água na casa

Máquina de Lavar						
MÊS	HID-MLR Ciclo (L)	Ciclos descartados (L)	HID-MLR Mensal (L) A	HID-G (L) B	Relação Cic. Desc./A (%)	Relação A/B (%)
Março						
Abril						
Maio						
Junho						
Julho						
Agosto						
Setembro						
Outubro						
Novembro						
Dezembro						
Janeiro						
Fevereiro						
Março						

Fonte: Própria, 2020

3.2.4.2. Considerações sobre o preço da água

Apesar da localidade não possuir, ainda, cobrança pelo abastecimento de água foi adotada a estrutura tarifária pela CEDAE como base para realização dessa análise.

No método adotado pela cobrança de água fornecida pela companhia há diferença de cobrança por bairros com base em uma tarifa diferenciada (“A” e “B”). A região onde se localiza o imóvel selecionado para este projeto se enquadra na tarifa diferenciada “B” (Tabela 26). A forma de cobrança pela água fornecida é progressiva, ou seja, a tarifa cobrada é por faixas de consumo (Tabela 27).

Tabela 26 – Tarifa diferenciada aplicada pela CEDAE

ÁREA DE ABRANGÊNCIA REFERENTE À TARIFA B		
Bairros		
Anchieta	Jardim Sulacap	Ricardo de Albuquerque
Bangu	Madureira	Rocha Miranda
Barra de Guaratiba	Magalhães Bastos	Santa Cruz
Bento Ribeiro	Marechal Hermes	Santíssimo
Boa Esperança Grande	Mindinha	Sen. A. Vasconcelos
Campo dos Afonsos	Monteiro	Senador Camará

Fonte: CEDAE, 2021

Tabela 27 – Estrutura tarifária adotada pela CEDAE

ESTRUTURA TARIFÁRIA VIGENTE				
PROCESSO SEI-220007/001542/2021				
D.O. de 08/10/2021				
DELIBERAÇÃO AGENERSA Nº 4.317 DE 06/10/2021				
9.8649% INCIDÊNCIA A PARTIR DE 08/11/2021				
TARIFA 1 - ÁREA A				
CATEGORIA	FAIXA	MULTIPLICADOR	TARIFA	VALOR
DOMICILIAR (CONTA MÍNIMA)		1,00	4,368536	65,52
PÚBLICA ESTADUAL	0-15	1,32	5,766467	86,49
	>-15	2,92	12,756125	660,51
TARIFA 1 - ÁREA B				
CATEGORIA	FAIXA	MULTIPLICADOR	TARIFA	VALOR
DOMICILIAR (CONTA MÍNIMA)		1,00	3,832041	57,48
PÚBLICA ESTADUAL	0-15	1,32	5,058294	75,87
	>-15	2,92	11,189559	579,37
CONSIDERAÇÕES				
NOTA: Os valores das contas se referem aos limites superiores das faixas sendo, nas faixas em aberto (MAIOR), equivalentes aos seguintes consumos:				
PÚBLICA:	60 m ³ /mês			

TARIFA SOCIAL: Considera 1 economia e cobrança de 30 dias;
 Valor de conta para Unidade Predial (atendida com cobr./água e sem esgoto):
 R\$ 20,26. A cobrança de esgoto é igual à cobrança de água.

Fonte: CEDAE, 2021

3.2.4.3. Dimensionamento do sistema

O dimensionamento do sistema de tratamento foi baseado na capacidade de geração de águas cinzas pela máquina de lavar roupas, de forma a alimentar/abastecer o sistema de descarga da bacia sanitária.

Para armazenar as essas águas residuais (águas cinzas) geradas no funcionamento da máquina de lavar foram adquiridas e empregadas duas bombonas plásticas, sendo uma de 100 litros (B1) e outra de 200 litros (B2) (Figura 36). Enquanto que a 1ª bombona (B1) situa-se imediatamente a jusante da máquina de lavar, a 2ª (B2) situa-se após a passagem pelo primeiro pré-filtro do sistema.

Figura 36 – Bombonas plásticas utilizadas no processo de tratamento de água cinza



Fonte: O autor, 2020

O processo de lavagem de roupas pela máquina de lavar resulta em efluentes (águas cinzas) contendo resíduos sólidos de tamanho reduzido desprendidos das peças que sofreram a devida higienização. De forma a evitar que esses resíduos viessem se acumular nos pré-filtros e ocasionar possíveis obstruções no fluxo da água foi feito um gradeamento para reter essas partículas sólidas com a instalação de uma tela tipo mosquiteira, na saída da água para a 1ª bombona (B1) (Figura 37).

Figura 37 – Gradeamento com tela mosquiteira



Fonte: O autor, 2020

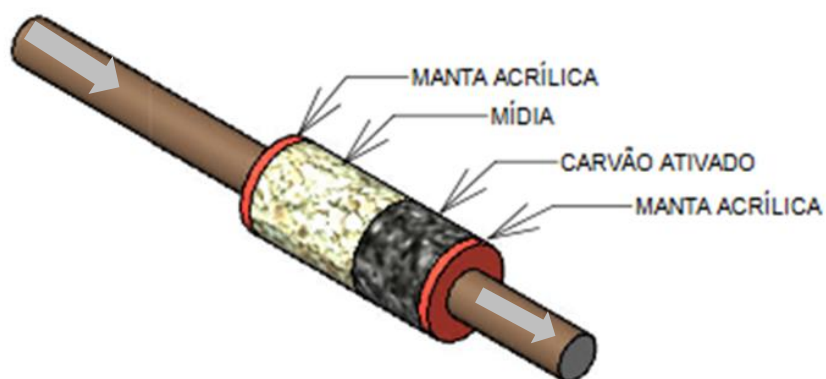
O processo de tratamento se baseou em 3 etapas sequenciais (em série) de filtragem das águas cinzas sendo as duas primeiras utilizando-se pré-filtros com meios filtrantes compostos com por carvão ativado, mídia de vidro sintetizado e manta acrílica perlon (Figuras 38 e 39).

Figura 38 – Componentes filtrantes e adsorventes utilizados no processo de filtração da água cinza



Legenda: (a) - carvão ativado granulado e mídia de vidro sintetizado; (b) - manta acrílica perlon Fonte: Própria, 2020

Figura 39 – Pré-filtros do sistema de tratamento

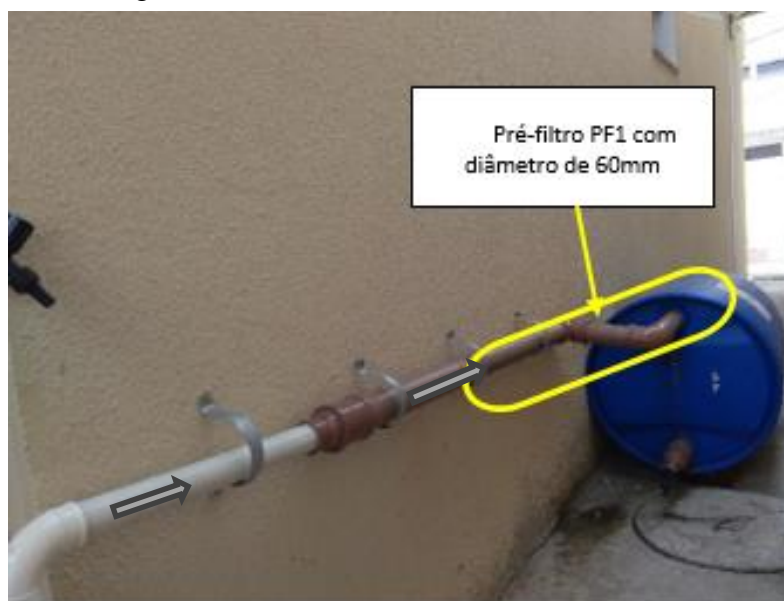


Fonte: O autora, 2020

Os pré-filtros foram montados em tubos de PVC sendo o primeiro (PF1) com diâmetro de 0,060m e 1,00m de comprimento, instalado na horizontal e a montante da bombona de armazenamento B2 (Figura 40). O segundo pré-filtro (PF2) possui diâmetro de 0,150m e 1,50m de altura, instalado na vertical e a jusante da referida bombona (B2) (Figura 41). O fluxo da água captada da máquina de lavar roupas era por gravidade no

sentido da B1 para a B2 passando pelo PF1. A água armazenada no B2 era coletada e transferida para o balde graduado onde passava pela segunda etapa de polimento através do PF2, por gravidade, e em sequência passava, também por gravidade, pela membrana de ultrafiltração do purificador *LifeStraw*.

Figura 40 – Pré-filtro com diâmetro de 60mm



Fonte: O autor, 2020

Figura 41 –Pré-filtro com diâmetro de 150mm



Fonte: O autor, 2021

O terceiro processo de filtragem é composto por membrana de ultrafiltração com a utilização do purificador de água para uso comunitário da *LifeStraw* (Figura 42).

Segundo o fabricante, o *LifeStraw Community* é um purificador microbiológico de água que remove bactérias, vírus, cistos de protozoários, sujidades e pequenas partículas da água através do seu filtro de membrana e que não utiliza produtos químicos no processo de ultrafiltração como também não necessita de energia elétrica para o seu funcionamento. Ainda segundo seu fabricante, a membrana do *LifeStraw Community* possui uma vida útil de filtração entre 72.000 a 100.000 litros de água.

Figura 42 – Purificador de água com membrana por ultrafiltração para uso comunitário



Fonte: LifeStraw, 2021

Na etapa seguinte (desinfecção), a água tratada para reutilização foi clorada utilizando-se com pastilhas de 1g de Clorin, fabricado pela Acuapura (Figura 43).

Figura 43 – Pastilha de cloro utilizada para a desinfecção pós tratamento



Fonte: Loja clorin, 2021

A Figura 44 apresenta configuração geral e posicionamento das unidades após o processo de montagem do projeto experimental para tratamento das águas cinzas, com o intuito de reutilizá-la nas descargas na bacia sanitária.

Figura 44 – Configuração e posicionamento das unidades do projeto experimental do sistema de tratamento das águas cinzas após sua montagem



Fonte: O autor, 2021

O protótipo do sistema de tratamento de águas cinzas para reúso residencial não potável foi desenvolvido utilizando-se com peças de PVC por associar características de facilidade na montagem e proporcionar garantir uma maior durabilidade.

As tubulações e conexões de PVC utilizadas são descritas na Tabela 28.

Tabela 28 – Descrição das conexões e tubulações do sistema de tratamento proposto

DESCRIÇÃO	DIÂMETRO (mm)	UNIDADE	QUANTIDADE
Adaptador Flange para caixa d'água soldável	40	un	01
Bucha de redução soldável	60 para 40	un	01
Bucha de redução soldável	60 para 25	un	01
Curva soldável	40	un	04
Joelho soldável	60	un	02
Luva soldável	60	un	02
Tubo soldável	60	m	1,60
Tubo soldável	40	m	2,10
Torneira de jardim	25	un	01

un - unidade; m – metro; mm - milímetro

Fonte: O autor, 2020

O sistema de tratamento de águas cinzas em edificações residenciais proposto pelo presente projeto de pesquisa se divide nas seguintes etapas básicas: retenção de sólidos grosseiros (tela), pré-filtração (pré-filtros PF1 e PF2), ultrafiltração por membrana (ULF) e desinfecção com pastilha de cloro, além dos dispositivos de armazenamento (bombonas B1 e B2) e das tubulações/conexões necessários.

Concluída a montagem e instalação no local definido/adotado para o experimento, foi então iniciada a fase de operação e monitoramento do projeto experimental de tratamento das águas cinzas provenientes da lavagem de roupas pela máquina de lavar.

Ao longo do período de operação do experimento, o acionamento da máquina de lavar foi realizado duas vezes por semana e o volume de águas cinzas geradas ficou armazenado nas bombonas plásticas de 100 e 200 litros. As águas cinzas excedentes foram descartadas diretamente no tanque de lavar roupas, não passando, portanto, pelo processo de tratamento (Figura 45). Esse volume excedente era descartado devido ao volume máximo de armazenagem não ser suficiente para acumular toda a água cinza produzida.

Figura 45 – Ponto de captação e descarte da água cinza oriunda da máquina de lavar roupas



Fonte: O autor, 2021

Todo processo de tratamento efetuado pelo primeiro pré-filtro foi realizado por gravidade, sendo o volume de água cinza bruta primeiramente lançado pela máquina de lavar roupas na bombona plástica de 100 litros (B1), primeiro reservatório de captação e onde ocorreu o gradeamento para reter as partículas sólidas existentes.

Após essa primeira etapa a água passava pelo primeiro processo de filtração físico-químico através do filtro composto por carvão ativado, mídia de vidro sintetizado e manta acrílica perlon (PF1). Em seguida, a água escoava por gravidade para o segundo reservatório constituído pela 2ª bombona plástica com capacidade de 200 litros (BF2).

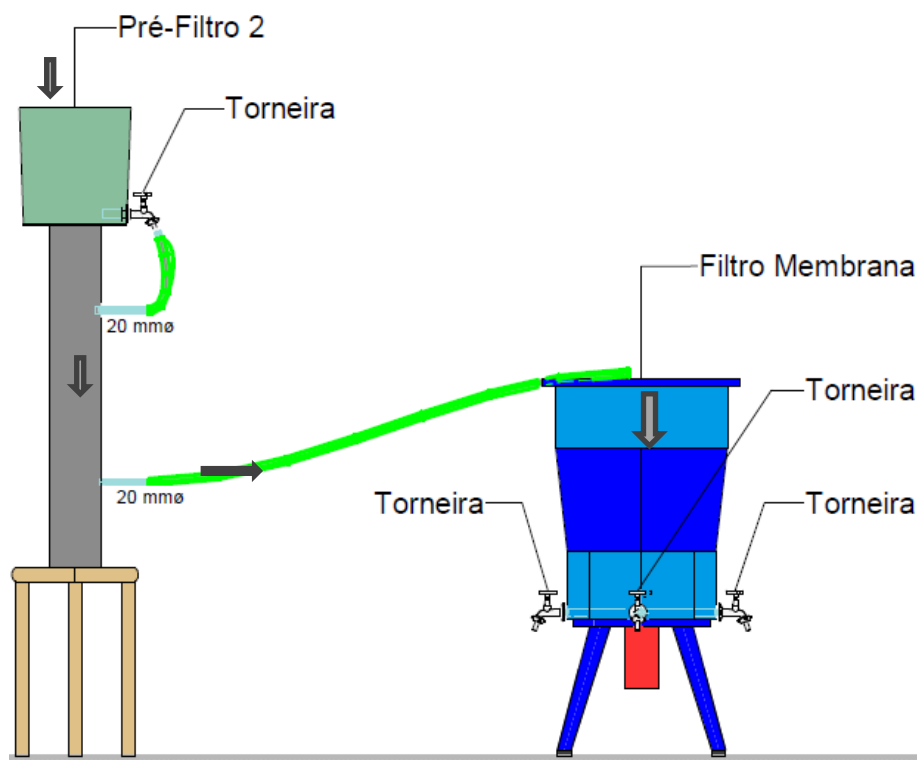
A continuidade do processo de tratamento era realizada de forma manual, porém sem contato direto com a água cinza, coletando-se a água de B2 através de um galão plástico de 25 litros que a despejava em um balde plástico, com capacidade de 9 litros. Em seguida, a água era escoada pelo pré-filtro PF2.

Do PF2, a água era escoada por gravidade para um purificador de água *FireStraw Community* que contém membrana de ultrafiltração e dispõe de capacidade de armazenamento de 25 litros de água tratada (Figura 46).

Na última etapa de tratamento (desinfecção), foi realizada a adição de cloro para proporcionar maiores garantias quanto a ausência de patógenos que não fossem eliminados pela ultrafiltração da membrana do purificador de água.

O Manual de cloração de água em pequenas comunidades desenvolvido pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2014) recomenda a dosagem de 8g de cloro para cada 5.000 litros de água. O recipiente de armazenagem do *LifeStraw Community* tem capacidade para 25 litros de água tratada. Com base nos dados do fabricante (Clorin), a pastilha de 1g tem capacidade de tratar 500 litros de água. Considerando o volume máximo de armazenagem do purificador comunitário de água, a quantidade adotada de pastilha de cloro foi de 0,05g. Após essa última etapa de polimento a água era reutilizada através das torneiras desse recipiente purificador.

Figura 46 – Processo de tratamento entre o pré-filtro 2 e o filtro com membrana e posterior desinfecção com pastilha de cloro



Fonte: Própria, 2021

Antes e após cada processo de filtração efetuado pelo *LifeStraw Community* foi efetuada sua higienização com água destilada na membrana de forma a mantê-la livre de impurezas que pudessem influenciar na qualidade final do processo de tratamento, além de também manter a membrana umedecida antes do início da filtração da água cinza, conforme recomenda o fabricante.

3.2.5. Caracterização da qualidade das águas cinzas ao longo do experimento

Durante o período de operação e monitoramento do experimento – entre os meses de janeiro e março de 2021 – foram efetuadas 09 (nove) coletas nos seguintes pontos:

- a) Bombona/Reservatório 01 que armazenou a água cinza bruta;
- b) Após o pré-filtro 2, ou seja, após a 1ª etapa de tratamento incluindo gradeamento a pré-filtração; e

- c) No recipiente de armazenamento do purificador com membrana de ultrafiltração (*LifeStraw Community*) que continha a água tratada e clorada.

A Figura 47 apresenta a localização dos pontos de coleta das amostras de acordo com o fluxo de escoamento através do sistema de tratamento.

Figura 47 – Pontos de coleta das amostras de água cinza no sistema STAC



Fonte: Própria, 2021

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório para analisar os parâmetros determinados. Para evitar qualquer tipo de perda que pudesse alterar as características das amostras das águas coletada, o envio dessas amostras foi realizado no mesmo dia das coletas.

Os parâmetros a serem monitorados foram definidos com base nos critérios e nos parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis da Norma Brasileira (NBR) 15575-1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de 19 de julho de 2013, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais. Cloro residual, turbidez, cor aparente, potencial hidrogeniônico (pH), coliformes termotolerantes e coliformes fecais foram os parâmetros determinados para o monitoramento das amostras.

Um total de 9 (nove) coletas de amostras foram efetuadas entre os meses de janeiro e março de 2021. As análises das amostras coletadas foram realizadas pelo Centro de Biologia Experimental Oceanus, laboratório de análises hidroquímicas localizado no Centro do município do Rio de Janeiro.

3.2.5.1. Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos adotados foram: turbidez, pH, cor aparente e cloro residual por serem os parâmetros exigidos pela norma da ABNT adotada para esta pesquisa.

A metodologia de referência para as análises das amostras foi baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). O método para

analisar cada parâmetro físico-químico e os limites existentes na NBR 15575-1/2013 da ABNT estão descritos na Tabela 29.

Tabela 29 – Parâmetros físico-químicos conforme a NBR 15575-1/2013 da ABNT e métodos de análises

PARÂMETRO	MÉTODO	NBR 15575-1/2013
Turbidez	2130 B	< 2,0 - < 5,0
pH	4500 H+ B	6,0 - 8,0
Cor aparente	2120 B	< 15
Cloro residual	4500 Cl- G	0,5 - 3,0

Fonte: APHA, 2017; ABNT 2013

Os resultados obtidos de cada parâmetro dos três pontos determinados das coletas foram considerados nesta pesquisa.

3.2.5.2. Parâmetros biológicos

As nove coletas das amostras tiveram seus aspectos biológicos avaliados através dos parâmetros coliformes totais e termotolerantes. Esses parâmetros foram considerados nas amostras de cada um dos três pontos de coletas determinados no sistema de tratamento da água de reúso para fins não potáveis.

A metodologia adotada foi com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). O método aplicado em cada parâmetro analisado bem como os limites máximos toleráveis pela NBR 15575-1/2013 da ABNT estão descritos na Tabela 30.

Tabela 30 – Parâmetros biológicos conforme a NBR 15575-1/2013 da ABNT e métodos de análises

PARÂMETRO	MÉTODO	NBR 15575-1/2013
Coliformes totais	SMWW 9221 E	Ausência em 100mL
Coliformes termotolerantes	SMWW 9221 B	Ausência em 100mL

Fonte: APHA, 2017; ABNT 2013

3.3. Etapa 3: Resultados almejados do sistema

De forma a alcançar os resultados que se enquadrem nos parâmetros selecionados da Norma adotada (NBR 15575-1/2013), foi proposto, então:

- Avaliar os aspectos quali-quantitativos das águas cinzas oriundas da máquina de lavar roupas desde a captação até a utilização nas descargas na bacia sanitária;
- Avaliar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos durante o período do experimento do sistema;
- Avaliar a viabilidade técnica e financeira para a implementação do sistema.

3.3.1. Avaliação da viabilidade técnica e econômica

O objetivo da avaliação técnica e econômica foi analisar a resposta do experimento e verificar sua viabilidade com base no tempo de retorno dos investimentos para implantação e operação do sistema de tratamento de águas cinzas oriundas da máquina de lavar para reutilização na descarga na bacia sanitária, em uma residência unifamiliar com três habitantes.

Foram levados em conta na análise de viabilidade econômica e técnica os investimentos para projetar, adquirir o material necessário, montagem, manutenção e operação do sistema.

3.3.1.1. Custo de implementação

O processo construtivo de uma edificação possui diferentes etapas e cada uma com custos distintos das demais. As etapas vão desde a concepção do projeto até o acabamento e conforme descreveu Bastos (2019), as etapas de obra de edificação são as seguintes: Serviços técnicos e administrativos preliminares, limpeza de terreno, infraestrutura, estrutura, alvenaria, cobertura, instalações hidráulicas e de esgoto sanitário, instalações elétricas, revestimentos e pinturas.

Os custos do sistema hidráulico em uma obra podem variar conforme o tipo de material utilizado e a mão de obra contratada (FERREIRA, 2018).

Para a implementação desse sistema de reúso, uma reforma seria necessária e as intervenções seriam maiores pelas etapas construtivas necessárias. As intervenções

incluiriam aberturas em paredes, troca de revestimentos das paredes, alterações no sistema hidráulico predial, alteração no sistema do esgotamento sanitário e entre outras necessárias para implementar o sistema de reúso de águas cinzas na descarga sanitária de imóvel edificado.

Neste trabalho foram considerados para precificação da mão de obra e dos materiais necessários para a adaptação do sistema hidráulico e sanitário do imóvel, os dados da planilha do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), ferramenta desenvolvida em parceria entre a Caixa Econômica Federal (CEF) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que define os valores dos insumos e serviços necessários de obras e de serviços relacionados à engenharia. Essa fonte de consulta é atualizada mensalmente e, maio de 2021 foi o mês de referência adotado para este trabalho. As etapas de obra afetadas para a reutilização da água cinza na descarga na bacia sanitária foram as seguintes: instalações hidráulicas, esgotamento sanitário, instalação elétrica e acabamento (Tabela 31). O período para a manutenção do sistema foi de 6 meses para a limpeza dos reservatórios e troca dos pré-filtros, já para a troca da membrana de ultrafiltração o período considerado foi de 12 meses.

Tabela 31 – Descrição orçamentária dos serviços de reforma para adequação do imóvel para reutilizar água cinza na bacia sanitária

PLANILHA DE SERVIÇOS							
ITEM	SERVIÇOS	UNIDADE	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL	FONTE DE PESQUISA
1.0	Demolição de alvenaria	m ³					
1.1	Demolição de argamassa de revestimento	m ²					
1.2	Demolição de revestimento cerâmico	m ²					
1.3	Demolição de concreto simples	m ³					
1.4	Remoção de pintura	m ²					
1.5	Retirada de entulho	m ³					
1.6	Concreto não estrutural, preparo manual	m ³					
1.7	Emboço paulista traço 1:4 com impermeabilizante	m ²					
1.8	Azulejo assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante	m ²					
1.9	Rejuntamento de azulejos	m ²					
1.10	Emassamento de parede com massa corrida, 2 demãos	m ²					
1.11	Tinta PVA, 2 demãos	m ²					
1.12	Caixa d'água em polietileno com tampa - 500 litros	un					
1.13	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 20mm	un					
1.14	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 25mm	un					
1.15	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 40mm	un					
1.16	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 60mm	un					
1.17	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 100mm	un					
1.18	Registro de gaveta com canopla Ø 25mm	un					
1.19	Registro de pressão Ø 40mm	un					
1.20	tubo de PVC soldável, Ø 20mm	m					
1.21	tubo de PVC soldável, Ø 25mm	m					
1.22	tubo de PVC branco, sem conexões, ponta e bolsa soldável, Ø 40 mm	m					
1.23	tubo de PVC soldável, Ø 60 mm	m					
1.24	tubo de PVC branco, sem conexões, ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	m					
1.25	válvula de retenção vertical em PVC de 1/2 a 1"	un					
1.26	Bomba d'água centrífuga	un					
1.27	Condutor flexível de cobre Ø 4,0 mm ² , isolamento 750 V - isolação em PVC 70°C, anti-chama NBR 6148	m					
1.28	Condutor flexível de cobre PP 3x4,0 mm ² , isolamento 750 V, isolação em PVC 70°C, antichama	m					
1.29	Disjuntor termomagnético monopolar 10A a 30A	un					
1.30	Eletroduto em PVC rígido de 1/2" a 1", inclusive conexões (luvas, curvas) e acessórios de fixação (abraçadeira tipo copo)	m					
TOTAL							

Legenda: m - metro; un - unidade; m² - metro quadrado; m³ - metro cúbico

Fonte: O autor, 2021

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho analisou a eficiência de remoção das impurezas presentes no efluente e comparou os resultados obtidos em laboratório com os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1/2013 para reúso da água na descarga de bacia sanitária bem como a viabilidade econômica e técnica de implantação e manutenção do sistema.

4.1. Volume de água potável consumida no imóvel

Verificou-se o consumo de água potável na residência com a instalação de hidrômetro (hidrômetro 1) na entrada do ponto de abastecimento da água (cavalete) pela concessionária de abastecimento da região e pela instalação de outro hidrômetro (hidrômetro 2) no ponto de utilização da máquina de lavar roupas. Diante desses hidrômetros instalados foram efetuadas leituras em cada hidrômetro sendo a do ponto de entrada do imóvel realizada a cada 30 (trinta) dias e a do ponto de utilização da máquina de lavar roupas efetuadas antes e após as lavagens de roupas, por um período de 13 (treze) meses entre os anos de 2020 e 2021. No caso dos acionamentos da descarga na bacia sanitária foi montada uma tabela para registrar cada acionamento. Esses dados foram inseridos em uma planilha para a criação de banco de dados e cálculos dos volumes de água potável consumidos somente pela máquina de lavar roupas, pela bacia sanitária e o de utilização geral na edificação para fins diversos.

4.1.1. Consumo geral

O abastecimento de água na região pela concessionária é intermitente e não há cobrança pelo abastecimento, diante disso foi necessária a aquisição e de hidrômetro para efetuar as leituras mensais de consumo de água no imóvel. As leituras efetuadas no hidrômetro 1 (HID-G) eram realizadas a cada trinta dias por um período de 13 (treze) meses conforme Tabela 32.

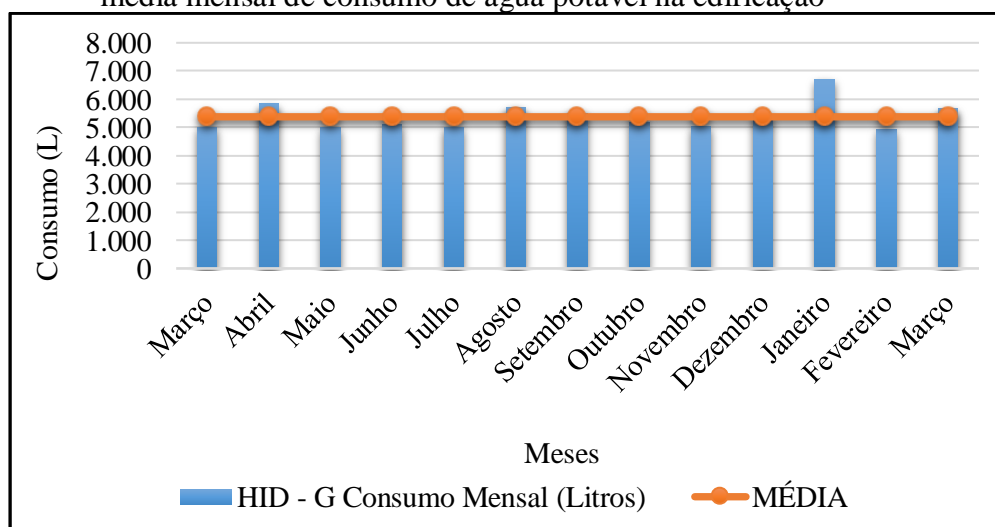
Tabela 32 – Ficha de controle mensal do volume de água consumida na edificação

HIDRÔMETRO 1 (HID-G)	
Mês	Consumo Mensal (Litros)
Março	5.012
Abril	5.832
Maio	4.985
Junho	5.112
Julho	4.997
Agosto	5.694
Setembro	5.486
Outubro	5.173
Novembro	5.017
Dezembro	5.295
Janeiro	6.690
Fevereiro	4.936
Março	5.654
TOTAL	69.883
MÉDIA	5.376

Fonte: O autor, 2022

A Figura 48 ilustra graficamente o período de 13 meses do consumo mensal de água no imóvel baseado nas leituras efetuadas no HID-G instalado na entrada de abastecimento da empresa fornecedora de água da região. Com base no consumo do período registrado foi possível verificar a média mensal de água potável utilizada pelos proprietários da casa. Verificou-se que nos meses de maio, julho e fevereiro o consumo foi inferior a 5.000 L (cinco mil litros) ficando abaixo do consumo médio mensal de 5.376 L e os meses abril e janeiro foram os de maiores consumos, 5.832 L e 6.690 L respectivamente, acima da média mensal.

Figura 48 – HID-G: Consumos médios mensais pelo período de 13 meses e a média mensal de consumo de água potável na edificação



Fonte: O autor, 2022

4.1.2. Consumo por acionamentos da descarga sanitária

Para contabilizar o número de acionamentos na bacia sanitária na edificação foi elaborada ficha de registro diário onde cada morador do imóvel registrava na ficha cada vez que acionava a descarga na bacia sanitária de caixa acoplada de 6 litros. De posse dessa ficha preenchida foram somados os acionamentos no mês e inseridos em outra planilha composta com a quantidade total de acionamentos, com o total de vezes que cada morador do imóvel utilizou na bacia sanitária e o volume total de água potável consumida por esses acionamentos. A Tabela 33 ilustra de forma quantitativa o volume total mensal descarregado de água potável na bacia sanitária bem como o número total de acionamentos e o número de acionamentos por pessoa mensalmente no período de 13 meses do monitoramento.

Tabela 33 – Ficha de controle mensal de acionamentos na bacia sanitária

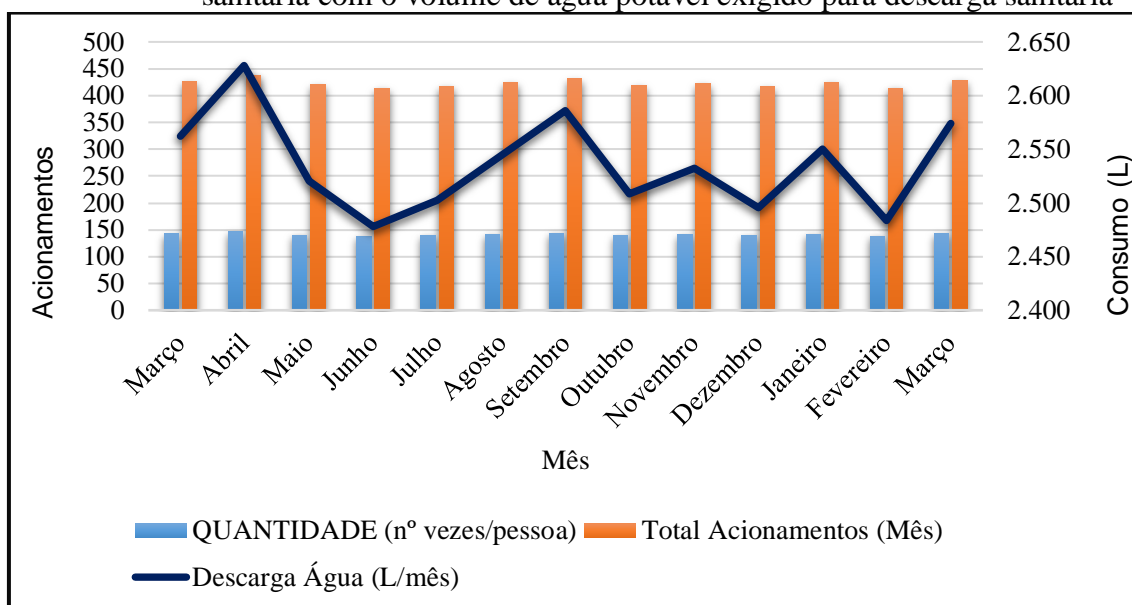
Acionamentos bacia sanitária (6 litros por acionamento)			
MÊS	Total Acionamentos (Mês)	QUANTIDADE (média/pessoa)	Descarga Água (L/mês)
Março	427	142,3	2.562
Abril	438	146	2.628
Maio	420	140	2.520
Junho	413	137,7	2.478
Julho	417	139	2.502
Agosto	424	141,3	2.544
Setembro	431	143,7	2.586
Outubro	418	139,3	2.508
Novembro	422	140,7	2.532
Dezembro	416	138,7	2.496
Janeiro	425	141,7	2.550
Fevereiro	414	138	2.484
Março	429	143	2.574
Total	5.494,00	1.831,30	32.964,00
Média	422,6	140,9	2.535,70

Fonte: O autor, 2022

O número de acionamentos da descarga sanitária por pessoa na residência foi considerável durante o período de 13 meses de monitoramento. A média mensal foi de 140,9 acionamentos por pessoa e o total para o período da pesquisa de 1.831,3 acionamentos da descarga na bacia sanitária por cada habitante do imóvel. Na Tabela 33, verifica-se que os meses de abril e setembro foram os com mais acionamentos por pessoa e os meses de junho e fevereiro com os menores acionamentos por pessoa.

A partir das quantidades mensais de acionamentos da descarga sanitária foi possível quantificar o volume de água potável mensal exigido para esse fim no imóvel durante os 13 meses de monitoramento. A Figura 49 ilustra o total mensal de acionamentos da descarga sanitária com o volume de água potável consumida mensalmente bem como o número de acionamentos individuais por mês correlacionando, assim, a quantidade de água necessária somente para higienização na bacia sanitária.

Figura 49 – Número mensal e individual de acionamentos na bacia sanitária com o volume de água potável exigido para descarga sanitária



Fonte: O autor, 2022

De posse dos dados registrados do HID-G e das informações de utilização na bacia sanitária foi possível relacionar de maneira percentual o consumo de água potável necessário somente para as descargas sanitárias com o consumo geral mensal de água no imóvel. A Tabela 34 apresenta uma coluna com a relação percentual entre o volume de água utilizada para descarga sanitária e o volume de água total registrada mensalmente pelo HID-G (hidrômetro 1).

Tabela 34 – Número de acionamentos na bacia sanitária e o consumo de água potável

Correlação entre o número de acionamentos do bacia sanitária e o consumo de água potável					
Mês	Total Acionamentos (Mês)	Quantidade (média/pessoa)	Descarga Água (L/mês)	HID-G (L/mês)	Relação Consumo Descarga/Hidrômetro (%)
Março	427	142,3	2.562	5.012,0	51,12%
Abril	438	146,0	2.628	5.832,0	45,06%
Maio	420	140,0	2.520	4.985,0	50,55%
Junho	413	137,7	2.478	5.112,0	48,47%
Julho	417	139,0	2.502	4.997,0	50,07%
Agosto	424	141,3	2.544	5.694,0	44,68%
Setembro	431	143,7	2.586	5.486,0	47,14%
Outubro	418	139,3	2.508	5.173,0	48,48%
Novembro	422	140,7	2.532	5.017,0	50,47%
Dezembro	416	138,7	2.496	5.295,0	47,14%
Janeiro	425	141,7	2.550	6.690,0	38,12%
Fevereiro	414	138,0	2.484	4.936,0	50,32%
Março	429	143,0	2.574	5.654,0	45,53%
Total	5.494,0	1.831,3	32.964,0	69.883,0	47,17%
Média	422,6	140,9	2.354,6	5.375,6	43,80%

Fonte: O autor, 2022

Os meses de janeiro e março de 2021 foram os meses com os menores valores percentuais, com 38,12% e 45,53% respectivamente, o mês de março de 2020 foi o de maior valor percentual (51,12%), porém apresentou menor valor de água potável registrado pelo hidrômetro 1 (HID-G) em relação aos meses com menores valores percentuais e os totais de acionamentos praticamente iguais, 5.012,0 litros contra 6.690,0 e 5.654,0 litros respectivamente.

4.1.3. Consumo de água pela máquina de lavar roupas

A máquina de lavar roupas, com capacidade máxima de lavagem de 10 kg, foi acionada pelo menos 2 vezes por semana, regulada em nível médio de consumo d'água conforme padronizado para este trabalho. Conforme Manual de Instruções do fabricante da máquina de lavar roupas, os níveis de consumo de água variam entre 4 faixas, como: nível extra baixa de 69 L, nível baixo de 91 L, nível médio de 118 L e nível alto de 150 L.

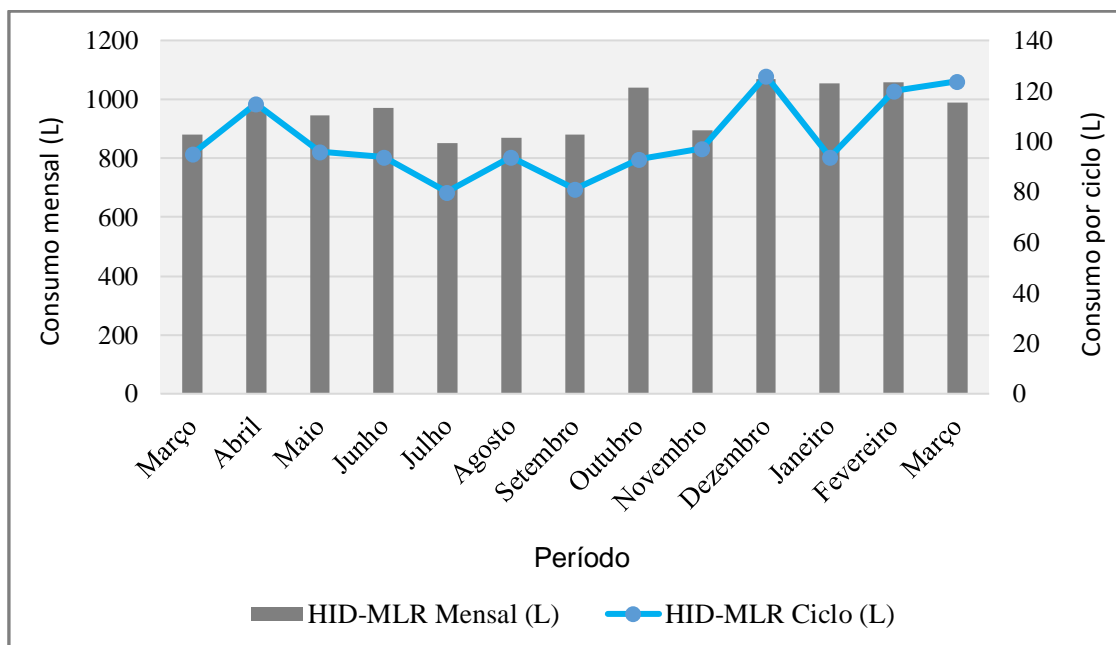
A medição do volume de água utilizada por acionamento da máquina foi efetuada por meio de leituras antes e após a utilização da máquina, com o hidrômetro 2 (HID-MLR) instalado especificamente para registrar os ciclos da máquina de lavar roupa. Os valores coletados do hidrômetro 2 eram registrados em planilha a cada ciclo e a cada 30 dias durante o período de 13 meses (Tabela 35). Os meses de maior consumo de água registrados pelo hidrômetro 2 foram outubro/2020, Dezembro/2020, Janeiro/2021 e Fevereiro/2021 que registraram volumes acima dos 1000 L, todavia os meses de menor consumo foram março/2020, Julho/2020, agosto/2020 e Setembro/2020 que registraram volumes abaixo dos 900 L (Figura 50). Foi possível identificar também que o consumo por ciclo de lavagem de roupas ficou entre as faixas de baixo e de médio consumo de água, entre 91 litros e 118 litros, contudo os meses de julho/2020 e Setembro/2020 registraram ciclos de 80 litros e 81 litros respectivamente e os meses de dezembro/2020, Fevereiro/2021 e março/2021 com registros de 126 litros, 120 litros e 124 litros respectivamente, fora dos limites das faixas de nível de consumo d'água indicados pelo fabricante do equipamento.

Tabela 35 – Ficha de controle de ciclos da máquina de lavar roupa e volume de água potável mensal utilizada

Máquina de Lavar Roupas		
MÊS	HID-MLR Ciclo (L)	HID-MLR Mensal (L)
Março	95,00	881,00
Abril	115,00	960,00
Maio	96,00	945,00
Junho	94,00	970,00
Julho	80,00	850,00
Agosto	94,00	870,00
Setembro	81,00	880,00
Outubro	93,00	1038,00
Novembro	97,00	894,00
Dezembro	126,00	1070,00
Janeiro	94,00	1053,00
Fevereiro	120,00	1057,00
Março	124,00	989,00
TOTAL	1.309	12.457

Fonte: O autor, 2022

Figura 50 – Consumo de água pela máquina de lavar roupas registrados pelo HID – MLR, por ciclo e mensal

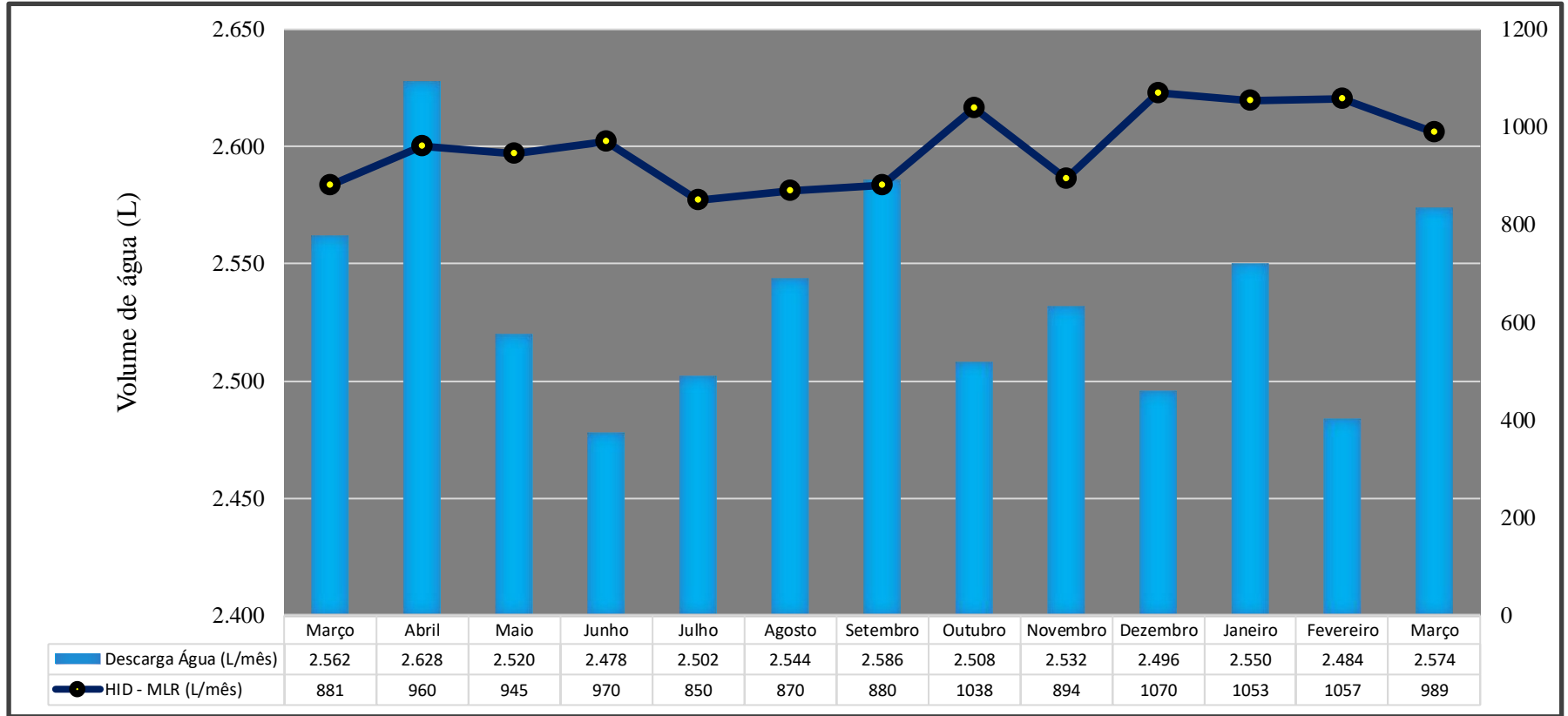


Fonte: O autor, 2022

4.2. Volume de efluente gerado para reúso

Com as utilizações semanais da máquina de lavar roupas na residência foi possível registrar o volume de água potável necessário por cada utilização com base nos registros feitos pelo HID-MLR, antes e após a higienização das peças de roupas pela máquina. Os valores de cada ciclo de lavagem de roupa foram anotados e gerou um consumo de 12,46 m³ de água potável durante o período de 13 meses entre os anos de 2020 e 2021, o que significou uma média de consumo mensal de 958,23 L de água potável transformada em água cinza. Em contrapartida o consumo de água potável nas descargas sanitárias foi de 35,5 m³ durante o mesmo período sendo a média mensal de 2.535,70 L. Assim foi possível chegar a relação de água cinza gerada pela máquina de lavar com a demanda de água para utilização nas descargas sanitárias da residência. Considerando os volumes mensais registrados pelo HID-MLR e pelos acionamentos da descarga sanitária verificou-se que o total de água cinza gerada durante o período de 13 meses correspondeu a 35,12% do total de água potável utilizada somente para descarga sanitária, então considerando o reúso da água cinza para descarga sanitária o volume de água potável consumida para essa finalidade seria menor correspondendo a 64,88% do valor sem reutilização da água cinza. A Figura 51 ilustra os registros mensais de consumo de água potável para descarga na bacia sanitária e para lavagem de roupas na da máquina de lavar.

Figura 51 – Total de água cinza gerada pela máquina de lavar roupas e o volume mensal de água potável utilizada na descarga sanitária

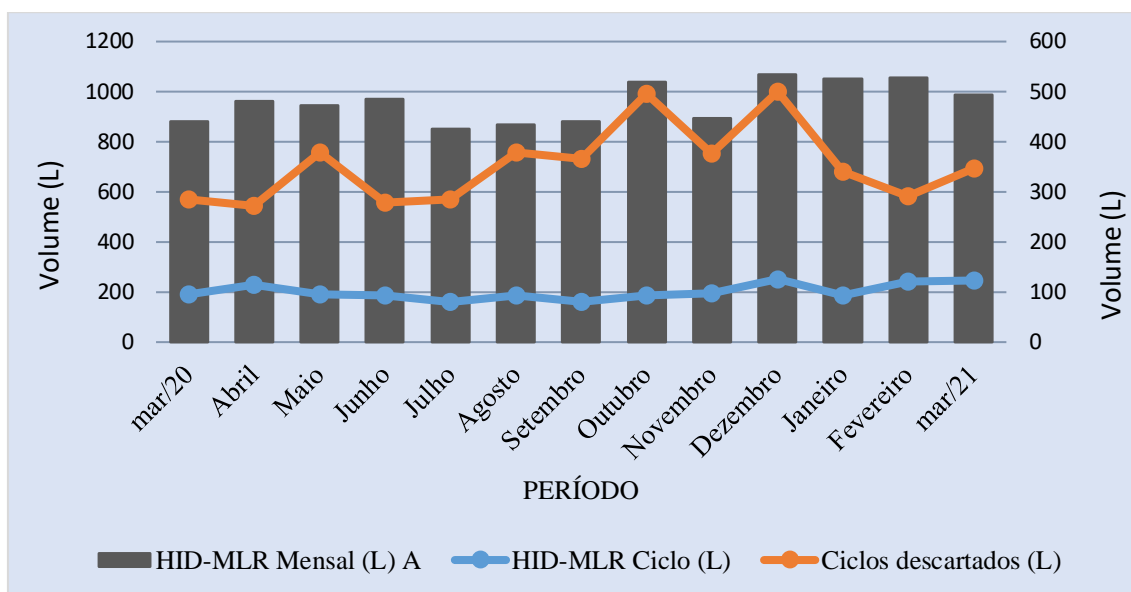


Fonte: O autor, 2022

4.2.1. Volume de água cinza descartado

O sistema de armazenamento dimensionado nesta pesquisa para captação da água cinza resultante do processo de lavagem de roupas pela máquina era de 300 litros e com isso havia a necessidade de descartar as águas cinzas produzidas quando o sistema de armazenagem atingia sua capacidade máxima. Esse descarte de excedente não comprometeu a pesquisa, porém serviu como parâmetro de avaliação entre o volume consumido por ciclo de acionamento da máquina e o volume mensal de água registrado pelo HID-MLR (Figura 52). Diante desses registros foi possível avaliar graficamente o volume útil e bruto de água cinza produzida pela máquina de lavar roupas bem como a média mensal por ciclo.

Figura 52 – Relação gráfica entre o total de água cinza gerada, água cinza captada e descartada mensalmente



Fonte: O autor, 2022

Diante dos dados obtidos pelos registros efetuados para descobrir os consumos de água potável para fins diversos e, em especial, para descarga sanitária e lavagem de roupas com a máquina de lavar foi possível obter essas informações durante o período que perdurou essa pesquisa (Tabela 36).

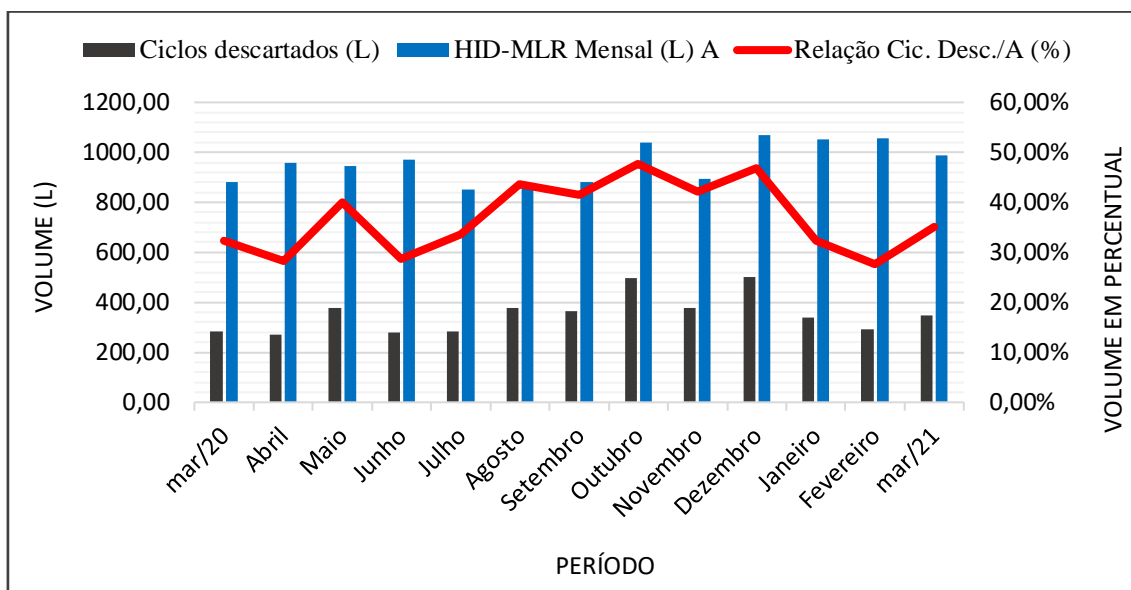
Tabela 36 – Volume de água potável consumida de forma geral (HID-G), para descarga na bacia sanitária e lavagem de roupas com uso da máquina de lavar roupas (HID-MLR)

Água potável consumida e água cinza gerada						
MÊS	Máq. de lavar Ciclo (L)	Ciclos descartados (L)	HID-MLR Mensal (L)	HID-G (L)	Ciclos Descartados/HID-MLR (%)	HID-MLR/HID-G (%)
Março	95,00	285,00	881,00	3511,00	32,35%	25,09%
Abril	115,00	272,00	960,00	5012,00	28,33%	19,15%
Maio	96,00	378,00	945,00	5832,00	40,00%	16,20%
Junho	94,00	278,00	970,00	4985,00	28,66%	19,46%
Julho	80,00	285,00	850,00	5112,00	33,53%	16,63%
Agosto	94,00	379,00	870,00	4997,00	43,56%	17,41%
Setembro	81,00	365,00	880,00	5694,00	41,48%	15,45%
Outubro	93,00	495,00	1038,00	5173,00	47,69%	20,07%
Novembro	97,00	376,00	894,00	5017,00	42,06%	17,82%
Dezembro	126,00	500,00	1070,00	5295,00	46,73%	20,21%
Janeiro	94,00	340,00	1053,00	6690,00	32,29%	15,74%
Fevereiro	120,00	292,00	1057,00	4936,00	27,63%	21,41%
Março	124,00	346,00	989,00	5654,00	34,98%	17,49%
TOTAL	1.309	4.591	12.457	67.908	36,85%	18,34%

Fonte: O autor, 2022

Desse modo, obteve-se o volume de água utilizada pela máquina de lavar roupas mensalmente, em relação ao volume de água cinza descartado, bem como o valor percentual mensal entre esses dados (Figura 53). Os meses de fevereiro/2021, abril/2020 e Junho/2020 são os com menores valores percentuais, 27,63%, 28,33% e 28,66% respectivamente, entre o volume de água cinza descartada e o volume registrado pelo hidrômetro 2, contudo os meses de outubro/2020 e dezembro/2020 foram os de maiores valores percentuais, 47,69% e 46,73% respectivamente.

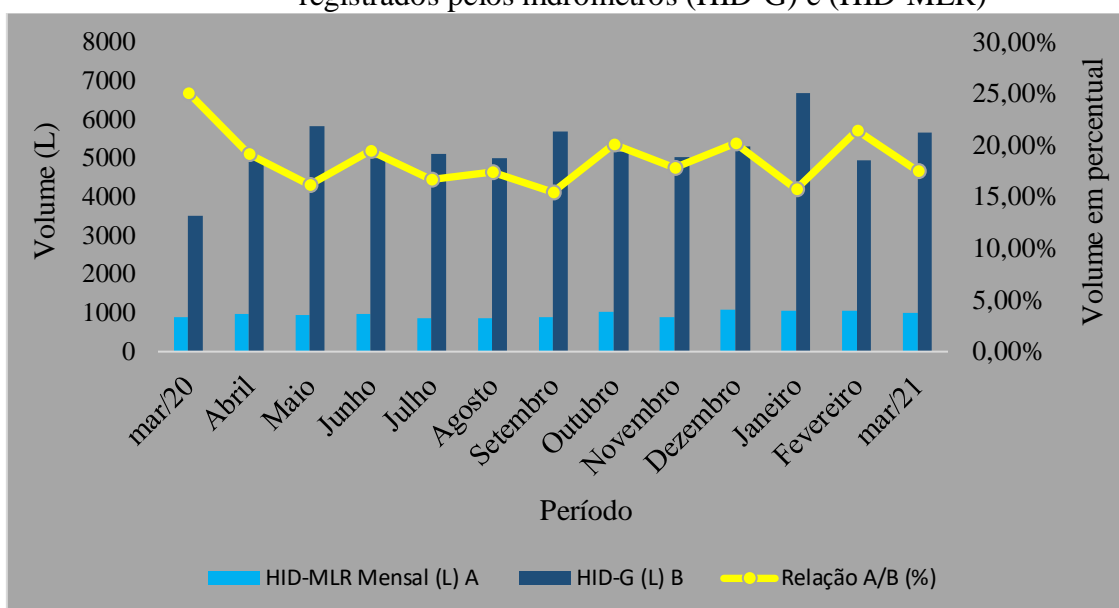
Figura 53 – Volume de água cinza descartada e o volume mensal registrado pelo hidrômetro 2 (HID-MLR)



Fonte: O autor, 2022

Ainda, com base nos dados da Tabela 36, foi possível avaliar os consumos de água potável na edificação com os registros anotados pelos hidrômetros instalados para aferir o volume de água para uso geral e uso exclusivo para lavagem de roupas pela máquina de lavar, respectivamente. A Figura 54, apresenta essa relação de consumo entre os consumos mensais obtidos pelos hidrômetros instalados na residência. Os meses de Setembro/2020 e Janeiro/2021 foram os de menores correlações percentuais, 15,45% e 15,74% respectivamente, entre os volumes registrados pelos hidrômetros, porém os meses de maiores ocorrências percentuais foram Março/2020 e Fevereiro/2021 com 25,09% e 21,41% respectivamente mesmo sendo Janeiro/2021 o mês com maior consumo de água registrado pelo hidrômetro 1, com 6.690 litros e Dezembro/2020 o mês de maior consumo registrado pelo hidrômetro 2, com 1.070 litros.

Figura 54 – Relação entre os volumes consumidos de água potável registrados pelos hidrômetros (HID-G) e (HID-MLR)



Fonte: O autor, 2022

4.3. Qualidade da água cinza captada do sistema de tratamento

A avaliação da qualidade da água cinza coletada e a eficácia do sistema de tratamento montado foi realizada a partir de análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos nos 3 (três) pontos de coleta do Sistema de Tratamento de Águas Cinzas (STAC): água bruta (ABR), pós-filtro (APF) e tratada (ATR). Os resultados obtidos das análises laboratoriais foram avaliados em conformidade com os parâmetros de reúso de água para destinação não potável da NBR 15.575-1/2013 da ABNT e com a Norma Técnica NBR 16.783/2019, que trata do uso de fontes alternativas de água não potável em edificações.

4.3.1. Parâmetros físico-químicos das amostras coletadas do sistema de tratamento de águas de lavagem de roupas (STAC)

O período deste estudo foi entre os meses de março de 2020 e 2021, todavia somente nos meses de fevereiro e março de 2021 foram efetuadas as coletas das amostras das águas cinzas do STAC. Foram obtidos um total de 09 (nove) coletas para avaliar os parâmetros físico-químicos de cloro residual, turbidez, cor aparente e pH nos pontos de água bruta, pós-filtro e tratada.

A Tabela 37 apresenta todos os resultados analisados dos parâmetros físico-químicos (cloro residual, turbidez, cor aparente e pH) de todas as amostras coletadas em cada um dos pontos do sistema de tratamento de águas cinzas (ABR, APF e ATR).

Tabela 37 – Resultados consolidados dos parâmetros físico-químicos das amostras nos pontos de água cinza ABR, APF e ATR.

Data da Análise Laboratorial	Pontos de coleta da amostra	Cloro Residual (mg/L)	Turbidez (UNT)	Cor Aparente (uH)	pH	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Coliformes Totais (NMP/100mL)
	NBR 15575-1/2013	0,5 a 3,0	< 5,0	< 15,0	6,0 a 8,0	0,0	0,0
	NBR 16783/2019	0,5 a 5,0	≤ 5,0	-	6,0 a 9,0	-	-
28/01/2021	ABR	0,11	281,00	100,00	9,19	< 1,8	> 1600,00
	ABR *	0,23	152,00	100,00	7,45	> 1600,00	> 1600,00
	ATR	0,18	3,80	20,00	7,99	< 1,8	< 1,8
08/02/2021	ABR	N.D	126,00	250,00	9,55	< 1,8	> 1600,00
	APF	N.D	78,20	166,67	8,65	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	0,90	14,10	15,00	8,46	< 1,8	< 1,8
04/03/2021	ABR	0,05	73,10	100,00	9,74	< 1,8	> 1600,0
	APF	0,01	45,30	50,00	7,35	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	0,12	9,90	20,00	7,24	< 1,8	< 1,8
12/03/2021	ABR	N.D	101,00	250,00	9,90	< 1,8	> 1600,0
	APF	N.D	227,00	250,00	8,20	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	N.D	7,00	20,00	7,64	< 1,8	< 1,8
16/03/2021	ABR	N.D	78,40	250,00	8,68	< 1,8	> 1600,0
	APF	N.D	38,20	250,00	7,63	< 1,8	> 1600,0
	ATR	N.D	15,60	250,00	8,48	< 1,8	> 1600,0
19/03/2021	ABR	N.D	63,70	100,00	9,50	< 1,8	> 1600,0
	APF	N.D	35,00	50,00	7,78	< 1,8	> 1600,0
	ATR	N.D	2,40	20,00	7,59	< 1,8	> 1600,0
23/03/2021	ABR	N.D	92,20	100,00	9,39	< 1,8	> 1600,0
	APF	N.D	63,10	100,00	8,72	< 1,8	> 1600,0
	ATR	2,70	6,40	15,00	7,42	< 1,8	> 1600,0
27/03/2021	ABR	N.D	73,00	50,00	8,96	> 1600,0	< 1,8
	APF	N.D	49,80	50,00	8,23	> 1600,0	< 1,8
	ATR	0,37	4,60	15,00	7,53	> 1600,0	< 1,8
31/03/2021	ABR	N.D	92,20	50,00	7,74	< 1,8	> 1600,0
	APF	N.D	54,10	50,00	7,24	< 1,8	> 1600,0
	ATR	0,48	14,00	10,00	7,00	< 1,8	< 1,8

Legenda: N.D – não detectável.

Fonte: O autor, 2022

Obtidos os resultados da Tabela 37 foram analisados estatisticamente todos os resultados dos parâmetros físico-químicos (cloro residual, turbidez, cor aparente e pH) de

todas as amostras coletadas em cada um dos pontos do sistema de tratamento de águas cinzas (ABR, APF e ATR), Tabela 38.

Tabela 38 – Análise estatística dos resultados consolidados dos parâmetros físico-químicos das amostras nos pontos de coleta ABR, APF e ATR

Data da Análise Laboratorial	Pontos de coleta da amostra	Cloro Residual (mg/L)	Turbidez (UNT)	Cor Aparente (uH)	pH
	Média ABR	0,08	108,96	138,89	9,18
	Mínimo ABR	0,05	63,70	50,00	7,74
	Máximo ABR	0,11	281,00	250,00	9,90
	Desvio Padrão ABR	0,03	63,31	80,89	0,62
	Média APF	0,12	82,52	118,52	7,92
	Mínimo APF	0,01	35,00	50,00	7,24
	Máximo APF	0,23	227,00	250,00	8,72
	Desvio Padrão APF	0,11	61,09	79,13	0,52
	Média ATR	0,79	8,64	42,78	7,71
	Mínimo ATR	0,12	2,40	10,00	7,00
	Máximo ATR	2,70	15,60	250,00	8,48
	Desvio Padrão ATR	0,89	4,65	73,34	0,48

Fonte: O autor, 2022

Considerando os resultados obtidos da Tabela 38 e confrontando-os com os indicadores de 2020, abastecimento de água e esgoto, da CEDAE (SNIS, 2021), verificou-se que, estendendo o STAC para uma quantidade maior de usuários, haveria redução no volume de água produzida e tratada nas estações de tratamento bem como no volume de água consumido e no volume de esgoto coletado.

4.3.1.1. Cloro residual

Do total das amostras analisadas em laboratório para determinar a quantidade de cloro residual, em 3 (três) não foram possíveis detectar a presença do cloro residual, todavia nas demais os valores detectados variaram entre 0,01 a 2,70 mg/L considerando os pontos determinados das coletas. Assim, nem todas as análises realizadas apresentaram resultados dentro do limite determinado pela NBR 15575-1/2013.

No ponto de coleta da água bruta (ABR) a média dos resultados encontrados foram de 0,08 mg/L, o desvio padrão em 0,03 mg/L, o valor máximo em 0,11 e o valor mínimo em 0,05 mg/L, sendo esses valores computados entre o total de amostras coletadas e analisadas em laboratório. Os resultados nesse ponto ficaram abaixo do valor mínimo de 0,5 mg/L exigido pela NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019.

As amostras coletadas no pós-filtros (APF) também apresentaram resultados abaixo do valor mínimo determinado pela NBR 15575-1/2013. O valor mínimo identificado foi de 0,01 e o máximo 0,23 mg/L, com média de 0,12 mg/L e desvio padrão de 0,11 mg/L. Diante desses resultados foi possível verificar que nesse ponto de coleta o valor máximo de cloro residual ficou 54% abaixo do valor mínimo determinado em norma.

No ponto de coleta de água tratada (ATR) as amostras apresentaram resultados que variaram entre 0,12 e 2,70 mg/L, o que representou atendimento da norma NBR 15575-1/2013 haja vista que o valor máximo determinado é de 3,0 mg/L. A média dos resultados das amostras desse ponto de coleta foi de 0,79 mg/L, assim, com cloro residual acima do valor mínimo exigido pela NBR 15575-1/2013. A Tabela 39 ilustra os valores estatísticos de forma descritiva do parâmetro cloro residual nos distintos pontos de coleta das amostras do presente estudo.

Tabela 39 – Estatística descritiva do parâmetro Cloro Residual de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: Pontos de coleta ABR, APF e ATR

Cloro Residual (mg/L)	Pontos de coleta da amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
NBR 15575-1/2013 0,5 a 3,0	ABR	0,08	0,08	0,03	0,05	0,11
	APF	0,12	0,12	0,11	0,01	0,23
NBR 16783/2019 0,5 a 5,0	ATR	0,79	0,43	0,89	0,12	2,7

Fonte: O autor, 2022

4.3.1.2. Turbidez

A turbidez obteve resultados fora dos parâmetros estabelecidos em 66,67% das amostras coletadas nos pontos de ABR, APF e ATR com valores acima das 5,0 UNT determinados pelas NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019. No ponto de coleta ABR os valores de turbidez variaram entre 281 e 63,70 UNT, acima do limite máximo permitido. No ponto APF os resultados alcançados também ficaram acima do limite máximo permitido variando entre 227 e 35 UNT, o que corresponde a um valor de 4.540% acima do limite máximo permitido. Entretanto no ponto de coleta ATR a variação de turbidez ficou entre 15,60 e 2,40 UNT, dentro do limite máximo exigido pelas mencionadas NBRs, considerando que 33,33% dessas amostras ficaram com resultados abaixo das 5,0 UNT.

Na pesquisa realizada por May (2009), a maior concentração de turbidez encontrada na água da máquina de lavar roupas foi de 45 UNT e a média foi de de 15 UNT, já na

pesquisa realizada por Dell’Uomo (2014) os resultados obtidos de turbidez variou entre 168 UNT a 0,20 UNT.

Em todas as amostras a média dos resultados encontrados de turbidez variou entre 8,64 e 108,96 UNT, sendo a maior identificada com as amostras de água bruta e a menor com as de água tratada. A Tabela 40 ilustra os valores estatísticos de forma descritiva do parâmetro turbidez nos distintos pontos de coleta das amostras do presente estudo.

Tabela 40 – Estatística descritiva do parâmetro Turbidez de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: Pontos de coleta ABR, APF e ATR

Turbidez (UNT)	Pontos de coleta da amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
NBR 15575-1/2013 < 5,0	ABR	108,96	92,20	63,31	63,7	281
	APF	82,52	54,10	61,09	35	227
NBR 16783/2019 ≤ 5,0	ATR	8,64	7,00	4,65	2,4	15,6

Fonte: O autor, 2022

4.3.1.3. Cor aparente

As amostras analisadas apresentaram em sua maioria resultados acima dos parâmetros determinados para cor aparente, o que pode ser explicado pela presença do carvão ativado utilizado no sistema de tratamento da água cinza.

A NBR 15575-1/2013 da ABNT preconiza como sendo o limite máximo permitido para cor aparente valor menor que 15 uH, porém os valores encontrados nas amostras analisadas ficaram bem acima chegando a 250 uH em 66,67% do total de amostras analisadas, em três amostras o valor ficou em 15 uH correspondendo a 33,33% do total de amostras coletadas no ponto de água cinza tratada (ATR) e em uma amostra desse mesmo ponto chegou-se ao valor de 10 uH, dentro do limite permitido dessa norma. No estudo realizado por Boitrigo, Neres e Carvalho (2018) a variação dos resultados obtidos foram de 886 uH para água cinza bruta e 712 uH para água tratada.

Outro aspecto importante avaliado dos resultados alcançados pelas amostras de todos os pontos de coleta foi a redução brusca dos valores entre os pontos de água bruta (ABR) e pós-filtro (APF) com os do ponto de água tratada (ATR), haja vista que neste ponto os resultados variaram entre 20 e 10 uH ao ponto que nos outros dois pontos de coleta a variação ficou entre 250 e 50uH. A Tabela 41 ilustra os valores estatísticos de

forma descritiva do parâmetro cor aparente nos distintos pontos de coleta das amostras do presente estudo.

Tabela 41 – Estatística descritiva do parâmetro Cor Aparente de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: Pontos de coleta ABR, APF e ATR.

Cor Aparente (uH)	Pontos de coleta da amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
NBR 15575-1/2013 ≤ 15,0	ABR	138,89	100,00	80,89	50	250
	APF	118,52	100,00	79,13	50	250
NBR 16783/2019	ATR	42,78	20,00	73,34	10	250

Fonte: O autor, 2022

4.3.1.4. Potencial de hidrogeniônico (pH)

Os resultados de pH das amostras analisadas ficaram acima do parâmetro determinado na metade do total de amostras coletadas. Em 51,85% das amostras coletadas no ponto ABR e APF os resultados ficaram acima de 8,0 conforme consta como limite máximo na NBR 15575-1/2013, todavia se considerar a NBR 16783/2019 que tem como limitação máxima de pH 9,0 essa porcentagem de amostras acima do limite passa para 22,22%. Assim, se considerar o limite máximo de pH de 9,0 os resultados das amostras que ficaram abaixo desse limite corresponderam a 77,77% considerando as amostras de todos os pontos de coletas. O menor valor de pH identificado nas amostras foi de 7,0 e o maior foi de 9,90 sendo da coleta da ATR e ABR respectivamente.

Segundo estudos dos autores distintos os valores encontrados para o parâmetro pH de águas cinzas coletadas tratadas variaram entre 4,8 a 9,7 (RAPOPORT, 2004; MAY, 2009; DELL'UOMO, 2014; FERRAZ, DA SILVA, 2015; BOITRAGO, NERES, CARVALHO, 2018; COSTA et al., 2018).

A Tabela 42 ilustra de forma estatística descritiva o parâmetro de pH de todas as amostras coletadas nos pontos distintos e determinados desta pesquisa.

Tabela 42 – Estatística descritiva do parâmetro pH de todas as amostras coletadas durante o período do estudo: Pontos de coleta ABR, APF e ATR.

pH	Pontos de coleta da amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
NBR 15575-1/2013 6,0 a 8,0	ABR	9,18	9,39	0,62	7,74	9,9
	APF	7,92	7,78	0,52	7,24	8,72
NBR 16783/2019 6,0 a 9,0	ATR	7,71	7,59	0,48	7	8,48

Fonte: O autor, 2022

4.3.2. Parâmetros microbiológicos de amostras coletadas do STAC

Foram analisados os parâmetros de coliformes termotolerantes e coliformes totais em todas as amostras coletadas dos 3 (três) pontos do sistema: ABR, APF e ATR, com referência da NBR 15575-1/2013.

Nas pesquisas realizadas por diferentes autores a variação dos resultados nas águas cinzas para fins de reutilizações não potáveis dos parâmetros coliformes termotolerantes foram entre 0,0 e $4,5 \times 10$ NMP/100 mL e coliformes totais ficaram entre $0,12 \times 10^1$ e $1,0112 \times 10^3$ NMP/100 mL (BARACUHY et al., 2015; FERRAZ e DA SILVA, 2015; COSTA et al., 2018).

A Tabela 43 apresenta os resultados das análises microbiológicas das coletas nos pontos do sistema STAC.

Tabela 43 – Resultado das análises de coliformes termotolerantes e coliformes totais nos pontos de coleta ABR, APF e ATR

Data da Análise Laboratorial	Pontos de coleta da amostra	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Coliformes Totais (NMP/100mL)
	NBR 15575-1/2013	0,0	0,0
28/01/2021	ABR	< 1,8	> 1600,00
	ABR *	> 1600,00	> 1600,00
	ATR	< 1,8	< 1,8
08/02/2021	ABR	< 1,8	> 1600,00
	APF	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	< 1,8	< 1,8
04/03/2021	ABR	< 1,8	> 1600,0
	APF	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	< 1,8	< 1,8
12/03/2021	ABR	< 1,8	> 1600,0
	APF	> 1600,0	> 1600,0
	ATR	< 1,8	< 1,8
16/03/2021	ABR	< 1,8	> 1600,0
	APF	< 1,8	> 1600,0
	ATR	< 1,8	> 1600,0
19/03/2021	ABR	< 1,8	> 1600,0
	APF	< 1,8	> 1600,0
	ATR	< 1,8	> 1600,0
23/03/2021	BRUTA	< 1,8	> 1600,0
	APF	< 1,8	> 1600,0
	ATR	< 1,8	> 1600,0
27/03/2021	ABR	> 1600,0	< 1,8
	APF	> 1600,0	< 1,8
	ATR	> 1600,0	< 1,8
31/03/2021	BRUTA	< 1,8	> 1600,0
	APF	< 1,8	> 1600,0
	ATR	< 1,8	< 1,8

Fonte: O autor, 2022

Os resultados obtidos foram baseados na faixa do limite de quantificação, que é a menor quantidade do analito na amostra que pode ser quantitativamente determinada com precisão e exatidão aceitáveis pelo laboratório, com variação entre 1,8 e 1600.

Os resultados obtidos no ponto de coleta ABR foram satisfatórios no tocante Coliformes Termotolerantes, pois, 8 (oito) amostras ficaram abaixo do limite de quantificação (< 1,8 NMP/100 mL) e apenas 1 (uma) ficou acima do limite de quantificação (> 1600 NMP/100 mL), o que representou 11,11% do total das amostras

analisadas. No caso dos coliformes totais os resultados alcançados ficaram acima do limite de quantificação (> 1600 NMP/100 mL) em 8 (oito) das 9 (nove) amostras analisadas correspondendo assim a 89,89% de amostras com presença de coliformes totais. Entretanto não se pode afirmar taxativamente sobre a existência ou ausência dos coliformes devido ao método adotado de limite de quantificação pelo laboratório.

No ponto de coleta APF os resultados para coliformes termotolerantes e coliformes totais foram iguais em 4 (quatro) amostras acima dos 1600 NMP/100 mL conforme o método adotado para analisar esses parâmetros, o que corresponde a 44,44% das amostras com valores acima do limite de quantificação. Já em 5 (cinco) amostras os resultados alcançados para coliformes termotolerantes ficaram abaixo do limite de quantificação e os obtidos para coliformes totais ficaram acima desse limite, o que correspondeu a 55,56% do total de amostras analisadas durante o período das coletas.

No ponto de coleta ATR, os resultados atingidos ficaram abaixo do limite de quantificação sendo somente a amostra com data de 27/03/2021 com resultado acima dos 1600 NMP/100 mL, todavia para coliformes totais o resultado foi menor que 1,8 NMP/100 mL, ou seja, abaixo desse limite quantitativo. Também foi possível avaliar que em 5 (cinco) amostras os resultados para coliformes termotolerantes e coliformes totais ficaram abaixo dos 1,8 NMP/100 mL, o que representou um percentual acima dos 55% de amostras com agentes microbiológicos abaixo do limite de quantificação adotado pelo laboratório.

Assim, de forma geral, foi possível avaliar a eficiência no processo de tratamento com os resultados obtidos nas amostras coletadas nos três pontos distintos mesmo tendo algumas dessas amostras apontado resultados distintos do desejado haja vista que em 8 (oito) das 9 (nove) amostras coletas os resultados para coliformes termotolerantes ficaram abaixo dos 1,8 NMP/100 mL e para coliformes totais 6 (seis) amostras apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação correspondendo assim, em valores percentuais, a 88,89% abaixo do limite de quantificação para coliformes termotolerantes e 66,67% abaixo do limite de quantificação para coliformes totais.

4.3.3. Avaliação dos resultados obtidos com os de outros estudos semelhantes

Os resultados obtidos da presente pesquisa foram avaliados com outros trabalhos selecionados por terem semelhanças com o método de captação e tratamento de águas cinzas. Os parâmetros médios físico-químicos e microbiológicos, das águas cinzas coletadas neste trabalho, foram avaliados com os resultados médios dos mesmos parâmetros de outras pesquisas de tratamento de águas cinzas para reúsos em bacias sanitárias de diferentes autores (RAPOPORT, 2004; MAY, 2009; DELL'UOMO, 2014; FERRAZ e DA SILVA, 2015; COSTA et al.; BOITRAGO, NERES, CARVALHO, 2018), conforme a Tabela 44.

Tabela 44 – Resultados médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas cinzas coletadas nos pontos bruta (ABR), pós-filtros (APF) e tratada (ATR) com outros autores

Parâmetros	Rapoport (2004)	May (2009)	Dell'Uomo (2014)	Ferraz e Da Silva (2015)	Costa et al. (2018)	Boitrago; Neres, Carvalho (2018)	Este Trabalho (ABR)	Este Trabalho (APF)	Este Trabalho (ATR)
Cloro Residual (mg/L)	0	1,25	1,5	0,2	N.A	1,15	0,08	0,12	0,79
Turbidez (UNT)	87,22	1,2	0,2	0,32	25,88	393	108,96	82,52	8,64
Cor Aparente (uH)	N.A	6	12	0,20	N.A	712,00	138,89	118,52	42,78
pH	6,11	6,8	6,0	7,54	7,47	6,99	9,18	7,92	7,71
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	0,83x10 ⁶	< 2,0	0	0,00	450,00	presente	< 1,8	> 1600,0	< 1,8
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	> 1,6x10 ⁷	< 2,0	0	1,20	N.A	presente	> 1600,0	> 1600,0	< 1,8

Legenda: N.A – não avaliado. Fonte: O autor, 2022

É possível verificar que as maiores diferenças dos parâmetros avaliados foram turbidez e cor aparente que apresentam resultados menores que o do presente trabalho, todavia no trabalho dos autores Boitrago, Neves e Carvalho (2018) os valores médios de turbidez e cor aparente estão consideravelmente maiores que os alcançados nesta pesquisa.

Os resultados obtidos de cloro residual e pH neste trabalho foram semelhantes aos dos demais trabalhos.

Os resultados dos parâmetros biológicos, os valores médios dos resultados para coliformes totais e termotolerantes, ficaram dentro do esperado para os resultados almejados no presente trabalho, apesar de o resultado médio de um dos autores citados ter ficado qualitativamente fora do resultado desejado.

Em todos os trabalhos diversos adotaram como fonte de desinfecção a cloração, que é uma das alternativas mais utilizadas e econômicas para esse tipo de tratamento de água.

4.3.4. Avaliação da eficácia do sistema de tratamento

No presente estudo também foi analisada a variação percentual dos parâmetros de qualidade da água em cada fase do sistema de tratamento com base nos resultados obtidos das análises das amostras coletadas em cada ponto de coleta determinado do sistema de tratamento das águas cinzas.

As correlações das análises de variação desses parâmetros foram as seguintes: o ponto de coleta APF sobre o ponto de coleta ABR, o ponto de coleta ATR sobre o ponto de coleta ABR e por fim o ponto de coleta ATR sobre o ponto de coleta APF sendo a correlação ATR sobre ABR a variação percentual onde se verifica a eficiência total do sistema de tratamento e a correlação ATR sobre APF a variação que determina a eficiência intermediária do sistema de tratamento.

Os parâmetros físico-químicos foram correlacionados com a média dos resultados obtidos de todas as amostras avaliadas pelo laboratório e as análises microbiológicas foram determinadas utilizando os valores extremos baseados nos resultados indicados pelo laboratório em que as amostras foram examinadas sendo assim, consideradas as variações $< 1,8$ NMP e > 1600 NMP, que são respectivamente os limites de quantificação mínimo e máximo.

A Tabela 45 ilustra a variação percentual desses parâmetros baseada nos resultados obtidos nos pontos determinados das coletas das amostras das águas cinzas.

Tabela 45 – Variação percentual das médias dos resultados obtidos de cada parâmetro avaliado em cada ponto de coleta do sistema de tratamento.

Parâmetros	NBR 15575-1/2013	NBR 16783/2019	ABR	APF	ATR	APF/ABR (%)	ATR/ABR (%)	ATR/APF (%)
Cloro residual	0,5 a 3,0	0,5 a 5,0	0,8	0,12	0,79	-85,00	-1,25	558,33
Cor aparente	< 15,0	N.D	138,89	118,52	42,78	-14,67	-69,20	-63,90
pH	6,0 a 8,0	6,0 a 9,0	9,18	7,92	7,71	-13,73	-16,01	-2,65
Turbidez	< 5,0	≤ 5,0	108,96	82,52	8,64	-24,27	-92,07	-89,53
Coliformes termotolerantes	0	N.D	< 1,8	> 1600	> 1600	> 1600	< 1,8	< 1,8
Coliformes totais	0	N.D	> 1600	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8

Legenda: N.D – não avaliado.

Fonte: O autor, 2022

Cloro residual – A concentração diminuiu conforme o avanço das fases do sistema de tratamento, todavia a quantidade encontrada na água cinza tratada (ATR) foi a mesma da água cinza bruta (ABR) mesmo apresentando uma variação percentual negativa baixa (-1,25%), entretanto a variação entre os pontos ATR e pós-filtro (APF) apresentou um percentual positivo considerável (558,33%) dentro do limite determinado pela NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019, apesar das baixas concentrações verificadas em todos os pontos de amostragem do sistema de tratamento de águas cinzas.

Cor aparente – A cada fase do sistema de tratamento foi verificada a redução na concentração da cor aparente nas águas analisadas onde a variação entre a água ABR e ATR resultou numa redução de 69,20% desse parâmetro com um resultado satisfatório no sistema de tratamento. Contudo o valor médio alcançado da água cinza coletada no ponto ATR ficou 285,20% (42,78) acima do limite máximo permitido (< 15,0) pela NBR 15575-1/2013.

pH – Esse parâmetro apresentou redução de concentração a cada fase avançada do tratamento das águas cinzas. Entre os pontos de água ABR e APF houve redução de 13,73% e entre os pontos ATR e ABR a redução foi de 16,01%. Outro fator identificado sobre esse parâmetro foi a quantidade que ficou dentro da faixa de tolerância exigida pela NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019, apesar de no ponto de coleta da água ABR o

valor ter ficado 2,0% (9,18) acima do limite máximo permitido (6,0 a 9,0) pela NBR 16783/2019.

Turbidez – A redução desse parâmetro foi consideravelmente positiva no sistema de tratamento das águas cinzas atingindo uma redução de 92,07% em todo o sistema. Apesar do alto valor de redução conquistado não foi possível atender os limites máximos da NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019 haja vista que a média dos resultados das amostras das águas cinzas do ponto ATR ter sido de 8,64 UNT contra as $\leq 5,0$ UNT exigidas pela NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019.

Coliformes termotolerantes e totais – Esses parâmetros apresentaram valores distintos em todos os pontos de coleta das amostras do sistema de tratamento de águas cinzas e essas divergências de valores nos resultados laboratoriais das amostras podem ser justificadas pela baixa concentração de cloreto identificados nessas amostras, pois no ponto de água cinza ATR foi identificada a presença de coliformes termotolerantes mesmo tendo sido introduzido cloreto na água para a desinfecção da mesma, entretanto não foi identificada a presença de coliformes totais nesse ponto e no ponto APF. Agora no ponto de coleta ABR não foi identificada a presença de coliformes termotolerantes, mas foi identificada a existência de coliformes totais comprovando assim a divergência na análise desses parâmetros dos resultados obtidos pelo laboratório. A NBR 15575-1/2013 exige que não haja a presença de coliformes termotolerantes e coliformes totais nas águas cinzas tratadas para usos não potáveis, porém os resultados alcançados das amostras que ficaram abaixo do limite de quantificação ($< 1,8$ NMP) pode ser interpretado como ausente de coliformes caso seja considerada avaliação qualitativa desses parâmetros.

4.4. Avaliação da viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento STAC

4.4.1. Análise de custo: imóvel construído x em planta

A avaliação de viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento de águas cinzas para usos não potáveis tem que ser efetuada de forma distinta porque primeiramente precisa ser considerada se no local em que será instalado o sistema já

existe edificação ou se ainda será construída, pois essa informação fará diferença considerável na implantação do sistema de reúso. Em uma edificação já existente para implantação de um sistema de tratamento e reutilização de águas cinzas nas descargas sanitárias há a necessidade de intervenções e modificações no sistema de instalações hidrossanitárias do imóvel de maneira que não permita a conexão cruzada entre as tubulações de água potável e água cinza. Essas intervenções irão gerar custos de obras além da modificação na alimentação hidráulica haja vista que será necessário efetuar aberturas nas paredes e pisos de cômodos diversos danificando assim os revestimentos cerâmicos e pinturas das paredes e pisos. Uma edificação em projeto não há quaisquer intervenções que onerem o custo final de todo o sistema hidrossanitário pelo fato de estar diluído no custo total da construção da edificação.

Segundo Ferreira (2018) constatou em seus estudos de casos realizados para edificação residencial, a variação de preço de material foi considerável, Tabela 46, assim como a mão de obra, Tabela 47. O estudo de caso A foi com o uso Policloreto de Vinila (PVC), no estudo de caso B o material utilizado foi Polipropileno Copolímero Random (PPR) e no estudo de caso C o material empregado foi o Polietileno Reticulado (PEX).

Tabela 46 – Comparativo financeiro na aquisição de materiais para sistema hidráulico residencial

Descrição	Estudo de Caso A		Estudo de Caso B		Estudo de Caso C	
	R\$ Unitário	R\$ Subtotal	R\$ Unitário	R\$ Subtotal	R\$ Unitário	R\$ Subtotal
Apartamento Tipo 01	R\$1.755,24	R\$35.104,80	R\$2.367,18	R\$47.343,50	R\$1.906,16	R\$38.123,20
Apartamento Tipo 02	R\$1.903,94	R\$38.078,73	R\$2.390,92	R\$47.818,40	R\$1.861,08	R\$37.221,60
Apartamento Tipo 03	R\$1.858,44	R\$37.168,87	R\$2.434,30	R\$48.685,90	R\$1.981,76	R\$39.635,20
	R\$110.352,40		R\$143.847,80		R\$114.980,00	

Fonte: Ferreira, 2018

Tabela 47 – Comparativo financeiro de mão de obra para materiais distintos de sistema hidráulico residencial

Descrição	Estudo de Caso A		Estudo de Caso B		Estudo de Caso C	
	R\$ Unitário	R\$ Subtotal	R\$ Unitário	R\$ Subtotal	R\$ Unitário	R\$ Subtotal
Apartamento Tipo 01	R\$890,80	R\$17.816,00	R\$967,85	R\$19.356,96	R\$1.056,00	R\$21.119,95
Apartamento Tipo 02	R\$1.065,47	R\$21.309,33	R\$1.004,37	R\$20.087,42	R\$1.008,00	R\$20.159,95
Apartamento Tipo 03	R\$1.013,07	R\$20.261,33	R\$1.040,89	R\$20.817,87	R\$1.171,20	R\$23.423,94
	R\$59.386,65		R\$60.262,25		R\$64.703,84	

Fonte: Ferreira, 2018

A comparação dos sistemas hidráulicos residenciais é importante por haver atualmente no mercado tecnologias distintas e com isso preços diferentes. Wamberto et al. (2017) em seu trabalho sobre sistemas hidráulicos prediais residenciais elaborou um dimensionamento com materiais do tipo PVC e PEX chegando aos seguintes custos econômicos, Tabelas 48 e 49.

Tabela 48 – Orçamento contendo a lista de materiais, quantidades gastas e preços unitários e o gasto total com PEX no sistema hidráulico predial

Tubulações e conexões para o sistema PEX ramificado				
Descrição do item	Unidade de mercado	Quantidade utilizada	Preço unitário	Preço [R\$]
Tubo 32 mm	50 metros	74,73	10,61	792,8853
Tubo 25 mm	50 metros	44,89	6,61	330,5
Conexão Fêmea 25 mm	Unidade	8	28,53	228,24
Conexão Fêmea 32 mm	Unidade	5	27,96	139,8
Tê 25 mm	Unidade	16	20,64	330,24
Tê 32 mm	Unidade	19	32,07	609,33
Luva redução 32x25 mm	Unidade	17	16,68	283,56
Total				2.714,5553

Fonte: Wamberto et al., 2017

Tabela 49 – Orçamento contendo a lista de itens, quantidades gastas e preços unitários e o gasto total com PVC para o sistema hidráulico predial

Tubulações e conexões para o sistema em PVC				
Descrição do item	Unidade de mercado	Quantidade utilizada	Preço unitário	Preço [R\$]
Tubo 32 mm	50 metros	54	5,69	307,26
Tubo 25 mm	50 metros	118,9	2,66	316,274
Joelho 90° 32 mm	Unidade	9	1,05	9,45
Joelho 45° 32mm	Unidade	2	1,93	3,86
Joelho 90° 25 mm	Unidade	62	0,40	24,8
Joelho 45° 25 mm	Unidade	3	0,72	2,16
Tê 32 mm	Unidade	8	1,69	13,52
Tê 25 mm	Unidade	23	0,68	15,64
Tê de redução 32x25	Unidade	2	3,14	6,28
Bucha 32x25	Unidade	7	0,59	4,13
Luvax 32 mm	Unidade	7	1,21	8,47
Luvax 25 mm	Unidade	4	0,57	2,28
Registro Globo 25 mm	Unidade	6	10,8	64,8
Registro Gaveta 25 mm	Unidade	4	41,65	166,6
Total				945,524

Fonte: Wamberto et al., 2017

Para se chegar ao orçamento de implementação do sistema de tratamento de águas cinzas na edificação foi tomada como base de referência e custo o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) elaborado conjuntamente pela Caixa Econômica Federal (CEF) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e disponibilizada mensalmente no sítio da CEF de forma gratuita. A Tabela 50 traz de forma detalhada os custos orçamentários baseados na SINAPI para a montagem do sistema de tratamento de águas cinzas para reúso na descarga sanitária do imóvel.

O insumo de maior custo para a instalação do sistema de tratamento e reúso de águas cinzas é a bomba d'água centrífuga como sistema de recalque da água cinza tratada do reservatório inferior para o superior. Os demais insumos corresponderam a 51,67% do total de R\$ 5.496,43 (\$ 977,42)¹, que foi o valor total para instalar o sistema de tratamento e reúso de águas cinzas na descarga sanitária da residência.

¹ Cotação do dólar em maio de 2021: R\$ 5,6234

Tabela 50 – Planilha de custos proposta para montagem do sistema de tratamento STAC, baseada nos índices da SINAPI.

PLANILHA DE SERVIÇOS							
ITEM	SERVIÇOS	UNIDADE	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL	FONTE DE PESQUISA
1.0	Demolição de alvenaria	m ³	1,00	R\$ 0,00	R\$ 55,11	R\$ 55,11	97622
1.1	Demolição de argamassa de revestimento	m ²	2,80	R\$ 0,00	R\$ 3,21	R\$ 8,99	97631
1.2	Demolição de revestimento cerâmico	m ²	5,00	R\$ 0,00	R\$ 22,35	R\$ 111,75	97633
1.3	Demolição de concreto simples	m ³	1,50	R\$ 0,00	R\$ 272,36	R\$ 408,54	97628
1.4	Remoção de pintura	m ²	2,80	R\$ 0,00	R\$ 6,61	R\$ 18,51	88489
1.5	Retirada de entulho	m ³	3,00	R\$ 4,39	R\$ 2,22	R\$ 19,83	100981
1.6	Concreto não estrutural, preparo manual	m ³	2,50	R\$ 254,84	R\$ 131,14	R\$ 964,95	94975
1.7	Emboço paulista traço 1:4 com impermeabilizante	m ²	5,00	R\$ 22,01	R\$ 22,93	R\$ 224,70	87799
1.8	Azulejo assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante	m ²	5,00	R\$ 42,97	R\$ 18,41	R\$ 306,90	89170
1.9	Rejuntamento de azulejos	m ²	5,00	R\$ 1,30	R\$ 6,12	R\$ 37,10	87265
1.10	Emassamento de parede com massa corrida, 2 demãos	m ²	2,80	R\$ 16,41	R\$ 19,11	R\$ 99,46	87794
1.11	Tinta PVA, 2 demãos	m ²	2,80	R\$ 7,26	R\$ 6,61	R\$ 38,84	88489
1.12	Caixa d'água em polietileno com tampa - 500 litros	un	2,00	R\$ 215,30	R\$ 0,00	R\$ 430,60	34637
1.13	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 20mm	un	3,00	R\$ 2,58	R\$ 3,58	R\$ 18,48	89407
1.14	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 25mm	un	4,00	R\$ 3,33	R\$ 4,19	R\$ 30,08	89411
1.15	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 40mm	un	2,00	R\$ 8,03	R\$ 4,14	R\$ 24,34	89500
1.16	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 60mm	un	1,00	R\$ 32,33	R\$ 5,95	R\$ 38,28	89506
1.17	Conexões em PVC soldável/roscável Ø 100mm	un	2,00	R\$ 7,45	R\$ 5,44	R\$ 25,78	3520 + 88248 + 88267
1.18	Registro de gaveta com canopla Ø 25mm	un	2,00	R\$ 57,53	R\$ 0,00	R\$ 115,06	6013
1.19	Registro de pressão Ø 40mm	un	1,00	R\$ 54,27	R\$ 0,00	R\$ 54,27	11676
1.20	tubo de PVC soldável, Ø 20mm	m	4,00	R\$ 2,95		R\$ 11,80	9867
1.21	tubo de PVC soldável, Ø 25mm	m	6,00	R\$ 3,78	R\$ 0,00	R\$ 22,68	9868
1.22	tubo de PVC branco, sem conexões, ponta e bolsa soldável, Ø 40 mm	m	2,50	R\$ 12,36	R\$ 0,00	R\$ 30,90	9874

1.23	tubo de PVC soldável, Ø 60 mm	m	1,00	R\$ 23,88	R\$ 0,00	R\$ 23,88	9873
1.24	tubo de PVC branco, sem conexões, ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	m	3,00	R\$ 49,99	R\$ 0,00	R\$ 149,97	9872
1.25	válvula de retenção vertical em PVC de 1/2 a 1"	un	1,00	R\$ 32,40	R\$ 0,00	R\$ 32,40	21092
1.26	Tela mosquiteira Nylon 16x16 fio 31	m	0,03	R\$ 7,79	R\$ 0,00	R\$ 0,23	Média de mercado
1.27	Membrana ultrafiltração 2880	un	1,00	R\$ 731,04	R\$ 0,00	R\$ 731,04	Média de mercado
1.28	Mídia de vidro sintetizado	kg	1,00	R\$ 30,87	R\$ 0,00	R\$ 30,87	Média de mercado
1.29	Carvão ativado granulado	kg	0,80	R\$ 24,81	R\$ 0,00	R\$ 19,85	Média de mercado
1.30	Manta acrílica (Perlon) para filtragem mecânica	m	0,40	R\$ 14,50	R\$ 2,55	R\$ 6,82	Média de mercado
1.31	Bomba d'água centrífuga	un	1,00	R\$ 1.105,38	R\$ 128,82	R\$ 1.234,20	102113
1.32	Condutor flexível de cobre Ø 4,0 mm ² , isolamento 750 V - isolamento em PVC 70°C, anti-chama NBR 6148	m	2,50	R\$ 4,70	R\$ 1,91	R\$ 16,53	91928
1.33	Condutor flexível de cobre PP 3x4,0 mm ² , isolamento 750 V, isolamento em PVC 70°C, antichama	m	3,00	R\$ 13,30	R\$ 0,00	R\$ 39,90	4180 (ORSE)
1.34	Disjuntor termomagnético monopolar 10A a 30A	un	1,00	R\$ 50,07	R\$ 6,34	R\$ 56,41	93663
1.35	Eletroduto em PVC rígido de 1/2" a 1", inclusive conexões (luvas, curvas) e acessórios de fixação (abraçadeira tipo copo)	m	7,00	R\$ 2,04	R\$ 6,16	R\$ 57,40	91853
TOTAL				R\$ 2.839,86	R\$ 735,26	R\$ 5.496,43	
				\$ 505,01	\$ 130,75	\$ 977,42	
MATERIAL (%)				51,67%			
MÃO DE OBRA (%)					13,38%		
Cotação do dólar em maio de 2021: R\$ 5,6234							
Legenda: m - metro; un - unidade; m ² - metro quadrado; m ³ - metro cúbico							

Fonte: O autor, 2022

4.4.2. Tempo de retorno do investimento

O tempo de retorno financeiro para implementação do sistema de tratamento e reúso de águas cinzas na descarga sanitária da edificação escolhida será diretamente relacionado com o consumo de água potável pelos moradores do local e pela quantidade de água cinza produzida pelos acionamentos da máquina de lavar roupa semanalmente.

Conforme mencionado anteriormente, no capítulo metodologia, a região onde está a edificação não possui cobrança mensal pelo consumo de água potável e esgoto gerado devida intermitência no abastecimento de água por parte da empresa de abastecimento de água responsável pela localidade. Devida a essa não geração de cobrança mensal não há hidrômetro instalado e por isso foi considerada a leitura mensal efetuada no hidrômetro instalado exclusivamente para o desenvolvimento desse projeto. De base das leituras mensais registradas pelo marcador de água foi elaborado o cálculo da possível cobrança pela água consumida mensalmente com base na tarifa praticada pela empresa de abastecimento de água da região. Também foi instalado um segundo relógio marcador de água para registrar o consumo de água potável por cada acionamento da máquina de lavar roupas e também o consumo mensal. Baseado dessas informações registradas nos dois hidrômetros instalados na residência foi possível efetuar a comparação dos valores tarifários de água potável consumida e esgoto gerado mensalmente sem a reutilização de água cinza nas descargas sanitárias e com a reutilização da água cinza nos vasos sanitários. Assim, obteve-se a economia gerada e o cálculo do tempo de recuperação do investimento inicial efetuada para instalação do sistema de reúso de água cinza. Destaca-se que só haverá economia financeira para consumo de água potável acima de 15 m³ devida a estrutura tarifária da concessionária responsável pelo fornecimento de água utilizar uma cobrança mínima de até 15 m³ mesmo que não haja consumo de água dentro do mês.

Na Tabela 51 é possível avaliar o consumo mensal de água na residência bem como o volume de água cinza gerada pela máquina de lavar roupas e os valores cobrados por esses consumos, a partir do não reúso e com o reúso das águas cinzas para descarga sanitária.

Tabela 51 – Economia financeira do consumo de água com e sem o sistema de reúso da água cinza oriunda da lavadora de roupas.

CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL COME SEM REÚSO DA ÁGUA CINZA DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS										
Tarifa 1 _ Área B CEDAE		Medições sem Réuso			Medições com Réuso				Economia Gerada	
Faixa de consumo (m³)	Tarifa	HID-G (m³)	Valor da fatura mensal de água e esgoto		HID-MLR Mensal (m³)	Consumo HID-G - HID-MLR (m³)	Valor da fatura mensal de água e esgoto			
0 - 15	5,058294		Água	Água + Esgoto			Água	Água + Esgoto		
> 15	11,189559									
MÊS								R\$	%	
Março		3,51	R\$ 17,76	R\$ 35,52	0,88	2,63	13,31	R\$ 26,62	8,90	25,06
Abril		5,01	R\$ 25,35	R\$ 50,70	0,96	4,05	20,50	R\$ 40,99	9,71	19,15
Maio		5,83	R\$ 29,50	R\$ 59,00	0,95	4,88	24,69	R\$ 49,39	9,61	16,29
Junho		4,99	R\$ 25,22	R\$ 50,43	0,97	4,02	20,31	R\$ 40,62	9,81	19,46
Julho		5,11	R\$ 25,86	R\$ 51,72	0,85	4,26	21,56	R\$ 43,12	8,60	16,63
Agosto		5,00	R\$ 25,28	R\$ 50,55	0,87	4,13	20,88	R\$ 41,75	8,80	17,41
Setembro		5,69	R\$ 28,80	R\$ 57,60	0,88	4,81	24,35	R\$ 48,70	8,90	15,45
Outubro		5,17	R\$ 26,17	R\$ 52,33	1,04	4,14	20,92	R\$ 41,83	10,50	20,07
Novembro		5,02	R\$ 25,38	R\$ 50,75	0,89	4,13	20,88	R\$ 41,75	9,00	17,74
Dezembro		5,30	R\$ 26,78	R\$ 53,57	1,07	4,23	21,37	R\$ 42,74	10,82	20,21
Janeiro		6,69	R\$ 33,84	R\$ 67,68	1,05	5,64	28,51	R\$ 57,03	10,65	15,74
Fevereiro		4,94	R\$ 24,97	R\$ 49,94	1,06	3,88	19,62	R\$ 39,24	10,69	21,41
Março		5,65	R\$ 28,60	R\$ 57,20	0,99	4,67	23,60	R\$ 47,19	10,01	17,49
TOTAL		67,91	R\$ 343,50	R\$ 687,00	12,46	55,45	R\$ 280,49	R\$ 560,97	R\$ 126,02	18,34%

Fonte: O autor, 2022

Na Tabela 51 foi possível avaliar que durante todo o período de leitura o consumo de água potável na residência foi abaixo do volume de 15 m³, considerado dentro da primeira faixa de tarifa praticada pela concessionária responsável pelo fornecimento de água da região. O mês de janeiro foi onde houve o maior consumo de água potável (6,69 m³) e conseqüentemente o de maior tarifa cobrada (R\$ 67,68), caso houvesse cobrança pela companhia de abastecimento. Nesse mesmo mês foi possível identificar um consumo de 1,05 m³ de água pelos acionamentos da máquina de lavar roupas, o que corresponde a 15,69% do total de água potável consumida pelos habitantes da residência.

A economia gerada com a reutilização de água cinza durante o período de estudos foi de R\$ 126,02 conforme Tabela 51 e com base nessa economia foi calculado o *payback* descontado para amortizar o saldo inicial de investimento do sistema de tratamento cujo o valor foi de R\$ 5.496,43 (Tabela 50). A taxa de juros utilizada foi a Selic, taxa básica de juros aplicada no Brasil através do Banco Central do Brasil sendo que para o período do ano de 2021 essa taxa foi de 9,25% ao ano.

A Tabela 52 apresenta os dados considerados na determinação do tempo de retorno financeiro efetuado na implementação do sistema de reúso de água cinza (STAC) na edificação.

Tabela 52 – Dados considerados para determinação do tempo de retorno do investimento do STAC na edificação

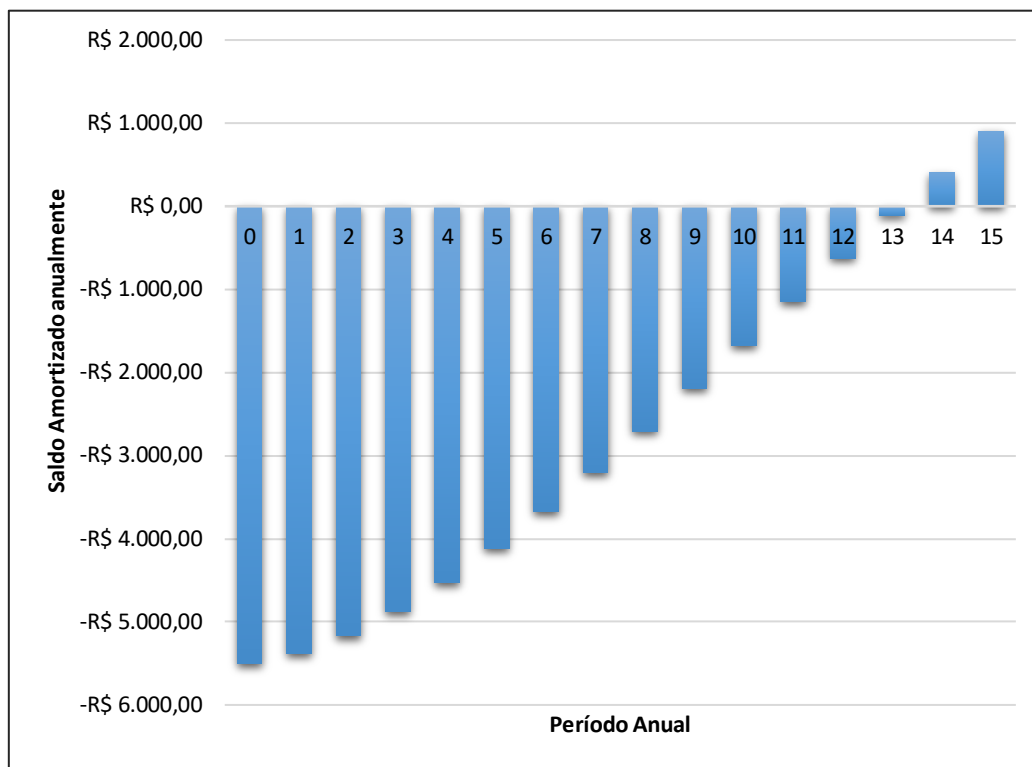
Itens	Valores Considerados
Custo da implantação do sistema de tratamento	R\$ 5.496,43
Economia Gerada no período de 1 ano	R\$ 126,02
Taxa Selic	9,25% a.a
Tempo de Retorno do Investimento	13 anos e 6 meses

Fonte: O autor, 2022

O período de retorno do investimento realizado pode ser considerado elevado pelo baixo consumo mensal de água na edificação haja vista que o mês em que o houve grande consumo de água não foi superior a 7,0 m³, situado na primeira faixa tarifária da concessionária de abastecimento de água da região.

A Figura 55 apresenta o período para se obter o retorno do investimento efetuado para instalação do sistema de tratamento de águas cinzas com objetivo de reúso nas descargas sanitárias da edificação selecionada desta pesquisa.

Figura 55 – *Payback* do investimento no sistema STAC para descarga na bacia sanitária do imóvel



Fonte: O autor, 2022

Ao analisar a Figura 55, a diminuição gradual da amortização é mais nítida a partir do décimo segundo ano, a partir do décimo terceiro ano essa diminuição é ainda mais perceptível no ano seguinte, destacada a amortização e o período de recuperação do investimento efetuado.

Os resultados obtidos através dessas análises demonstram uma relação direta com o volume consumido de água potável na residência pelo considerável tempo de recuperação do investimento evidenciando que para baixos consumos tendem a serem mais demoradas a recuperação do investimento.

Os custos das manutenções do sistema não foram inseridos no cálculo do tempo de retorno, pois a ideia era determinar somente o custo da montagem do STAC, porém essas manutenções correspondem a 18% (R\$ 996,58) do valor total de implantação do sistema devido à necessidade de substituição anual da membrana de ultrafiltração. A limpeza de cada reservatório foi realizada semestralmente bem como a troca dos pré-filtros para garantir a eficiência do STAC.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou um sistema de tratamento de águas cinzas captadas da máquina de lavar roupas para reúso na descarga de bacia sanitária em edificação residencial unifamiliar. Após os resultados obtidos a partir de análises quantitativas e qualitativas das águas cinzas coletadas nos pontos de água bruta (ABR), pós-filtro (APF), água tratada (ATR), conclui-se:

- O volume de água potável utilizada para descarga sanitária tem parcela significativa no consumo geral de água da residência, correspondente a 51,12% do total de água consumida no mês. O número de vezes que cada residente acionou a descarga sanitária diariamente durante o período da pesquisa foi outro fator contribuinte para se destacar porque a média diária desses acionamentos foi de 5 vezes resultando em 30 litros de água potável para esse fim. A média mensal foi de 140,9 vezes por pessoa, considerando todo o período desse trabalho, por todas as pessoas ocupantes da casa, foi de 5.494 acionamentos da descarga sanitária, o que corresponde a 32,96 m³ de água potável utilizadas somente para essa finalidade;
- A ausência de cobrança pelo fornecimento de água na região dificultou o desenvolvimento desse trabalho por não haver dados oficiais registrados do consumo de água no imóvel por um período anterior ao do presente trabalho. O abastecimento de água na região era intermitente, o que justifica o baixo consumo mensal registrado pelo hidrômetro (HID-G) instalado na entrada do imóvel;
- O volume de água cinza oriunda da máquina de lavar roupas não foi suficiente para suprir toda a demanda dos acionamentos na bacia sanitária, porém correspondeu a 35,12% do total dos 35,5 m³ de água potável descarregadas na bacia sanitária durante os 13 meses de pesquisa;
- Os parâmetros físico-químicos das águas cinzas coletas no ponto APF (pré-filtros 1 e 2) atenderam aos níveis exigidos pela NBR 15575-1/2013 e pela NBR 16783/2019 no quesito pH apenas com a utilização de carvão ativado, mídia de vidro e manta acrílica de perlon. A turbidez e cor aparente tiveram aumentos consideráveis de concentração após a passagem pelos pré-filtros, porém tal aumento está relacionado ao carvão ativado presentes nesses pré-filtros;

- A inclusão do purificador de água composto por membrana filtrante por ultrafiltração (*FireStraw Community*) reduziu drasticamente as concentrações de todos os parâmetros físico-químicos e biológicos atendendo os limites estabelecidos nas normas da ABNT NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019;
- As concentrações de cloro residual determinadas nas amostras analisadas ficaram abaixo das faixas determinadas pelas normas da ABNT NBR 15575-1/2013 e NBR 16783/2019, exceto em três amostras onde apresentaram respectivamente 0,90, 2,70 e 0,48 mg/L no ponto de coleta ATR atendendo assim as faixas exigidas pelas citadas normas;
- O sistema de tratamento para reúso de água cinza mostrou-se promissor, com base nos resultados obtidos durante o período de análises das amostras coletadas em três pontos distintos, para ser inserido no sistema de consumo de água potável para fins não potáveis em edificações residenciais;
- Mostrou que há redução no volume de água consumido e no esgoto coletado aumentando a reserva de água nas estações de tratamento e abastecimento, caso o sistema STAC seja utilizado em habitações como conjuntos habitacionais da cidade do Rio de Janeiro;
- A importância da implantação do sistema de reúso ainda durante o projeto de construção do imóvel evita custos, já em imóveis construídos não há como evitar custos devida as intervenções necessárias de alterações no sistema de instalações hidráulicas e sanitárias tendo seu tempo de retorno financeiro diretamente atrelado ao consumo de água potável e ao volume de água de reúso captado;
- O presente apresentou um tempo de retorno do investimento efetuado de 13 anos e 6 meses, porém esse período está relacionado ao baixo consumo de água na edificação, mas também pela precariedade no abastecimento de água pela concessionária responsável haja vista que a intermitência no abastecimento é diária. Agora considerando um cenário oposto ao deste trabalho certamente o tempo de retorno financeiro será menor viabilizando a aquisição do sistema de reutilização de água cinza em residências;

- O sistema STAC mostrou-se importante como opção de sustentabilidade ambiental haja vista a sua contribuição na redução do consumo de água potável contribuindo, assim, para a manutenção dos mananciais e volume de armazenamento dos reservatórios de captação de água, além de produzir menos esgoto, que em muitas cidades não são coletados e tratados em sua totalidade sendo lançados, sem qualquer tipo de tratamento, nos corpos hídricos deixando-os com níveis de contaminantes elevados.

Para fins de futuros estudos recomenda-se maiores aprofundamentos nas análises da qualidade das águas cinzas e outros possíveis pontos geradores dessas águas para utilizações não somente na descarga de bacias sanitárias mais para todos os demais usos não potáveis residenciais, bem como maior período destinado às coletas das amostras para analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos, em especial quanto à dosagem de cloro inserida no tratamento de desinfecção, turbidez e cor aparente.

REFERÊNCIAS

ACUAPURA. **Clorin – desinfetante de água para consumo humano**. Disponível em: <https://www.lojaclorin.com.br/clorin-500-linha-de-tratamento-de-agua>. Acesso em 10 Jan 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **As regiões hidrográficas Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.23309814.pdf>. Acesso em 10 Jul 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf. Acesso em 13 Ago 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **As regiões hidrográficas**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas>. Acesso em 11 Nov 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas 2017**. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acesso em 12 Jul 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama das águas**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas>. Acesso em 11 Nov 2020.

ALMEIDA, J P DE; KUMMER, A C B; CARRANZA, G; CAMPOS, L C; SZÉLIGA, M R; ACEVEDO, M; GERVASONI, R; WIECHETECK, G K. **Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra**. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 25, nº. 1, p 107-114, 2020.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522020000100107&lang=pt. Acesso em 03 de Jun de 2020.

ALVES, W. C.; ZANELLA, L.; CASTRO, J. R. DE; QUEIROZ, R. S. DE. **Manual para aproveitamento emergencial de águas do banho e da máquina de lavar**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.ipt.br/noticia/1058-passo_a_passo:_aguas_cinza.htm. Acesso em 27 de set de 2022.

ANTAS, F. P. DE; DE FREITAS, J. J. R.; DE OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. DA S.; LIMA, A. DE O.; NETO, O. N. DE S. **Proposta de índice para avaliação da qualidade das águas de estações de dessalinização.** Rev. bras. eng. Agric. e amb., Campina Grande, v. 22, n. 10, p. 667-672, outubro de 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018001000667&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 28 de junho de 2020.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23rd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2017.

ARAÚJO, D., H. F. de; WATANABE, M. **Análise da evolução do desmatamento e do crescimento econômico da bacia hidrográfica do rio Muqui – Rondônia década de 1986 a 2020.** Repositório Institucional da Universidade Federal de Rondônia, 2021. Disponível em: <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3786>. Acesso em 25 de jan de 2023.

ARAÚJO, F. T. de V.; CABRAL DE MELO, N. G.; JUNIOR, A. H.; MONTEIRO JÚNIOR, O. A. de C. **Estudo de viabilidade técnica para implantação de um sistema de reúso de águas cinzas em um condomínio vertical em Fortaleza/CE.** A preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável 2, Editora Atena, Ponta Grossa - PR, v. 02, p. 128-138, 2019. Disponível em <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/a-preservacao-do-meio-ambiente-e-o-desenvolvimento-sustentavel-2>. Acesso em 11 de ago de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Ranking ABES da universalização do saneamento 2021.** Disponível em: https://www.abes-dn.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Ranking_2021_1917_7_compressed.pdf. Acesso em 28 de agosto de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160:** Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução: Setembro de 1999. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:** Instalações prediais de águas pluviais: Dezembro de 1989. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:** Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação: Setembro de 1997. Rio de Janeiro, 1997.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Fevereiro de 2013. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16782**: Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes: Novembro de 2019. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações: Novembro de 2019. Rio de Janeiro, 2019.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Editora Blucher, 9ª edição, 631p., 2015.

BAJPAI, M.; KATOCH, S. S.; CHATURVEDI, N. K. **Comparative study on decentralized treatment Technologies for sewage and graywater reuse – a review**. Revista Water Science e Technology, Londres –Reino Unido (UK), v. 80, n. 11, p. 2091-2106, 2019. Disponível em <https://iwaponline.com/wst/article/80/11/2091/72028/Comparative-study-on-decentralized-treatment>. Acesso em 27 de Nov de 2020.

BARACUHY, V. S.; PEREIRA, J. P. G.; FERREIRA, A. C.; SILVA, V. F.; NICOLA, S. **Eficiência na remoção de coliformes em águas cinza através da fitorremediação**. Revista Verde, Pombal - PB, v. 10, n. 1, p. 67-61, 2015. Disponível em <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3330>. Acesso em 27 de junho de 2020.

BARRADINHO, D.; SILVA, E. F. de S.; RIBEIRO, V. E.; CRUZ, W. F.; PERES, W. L. R. **Avaliação da viabilidade da implantação do sistema de reuso de águas cinza e pluviais em residências**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, São Paulo - SP, v. 04, n. 11, p. 05-25, 2018. Disponível em <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/sistema-de-reuso>. Acesso em 29 de jun de 2022.

BASTOS, P. K. X. **Apostila da disciplina construção de edifícios**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 20ª edição, 140p., 2019. Disponível em: <https://www.ufjf.br/pares/files/2013/06/APOSTILA-CONSTRU%3%87%c3%83O->

DE-EDIF%c3%8dCIOS-2019-1-PROF.-PEDRO-K-X-BASTOS-UFJF.pdf. Acesso em 29 de Jun de 2021.

BOITRAGO, R.S.; NERES, L.S.R.; CARVALHO, R.P.M. **Aproveitamento de água cinza para uso não potável em residências**. Brasília: Relatórios de Pesquisa de Iniciação Científica, Centro Universitário de Brasília, v. 3, n.1, 2017. Disponível em:<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/pic/article/view/5759>. Acesso em 07 Jul de 2022.

BRASIL. **Decreto nº 24.463, 10 de julho 1934**. Código de águas. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 11 Jun de 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Cantareira**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>. Acesso em 11 Jun de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 274, de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. D.O.U - Diário Oficial da União; Poder Executivo, 25 de janeiro de 2001. Brasília (DF): 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. D.O.U - Diário Oficial da União; Poder Executivo, 18 de março de 2005. Brasília (DF): 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. D.O.U - Diário Oficial da União; Poder Executivo, 16 de maio de 2011. Brasília (DF): 2011.

BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. D.O.U. – Diário Oficial da União; Poder Executivo, 09 de janeiro de 1997. Brasília (DF): 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 22 de Jun de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. D.O.U. – Diário Oficial da União; Poder Executivo, 09 de março de 2006. Brasília (DF): 2006.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar de prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação a unidades regionais, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/32462863/publicacao/32491972>. Acesso em: 11 Jun de 2021.

BRASIL. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Ministério da saúde. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em 07 de Mai de 2022.

BRASIL. **Projeto de Lei da Câmara dos Deputados Federais nº 2.541, de 2020**. Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2251907>. Acesso em: 20 de Ago de 2021.

BRASIL. **Projeto de Lei da Câmara dos Deputados Federais nº 4.162, de 2019**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento; a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos e Saneamento Básico; a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal; a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País; a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões; e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.

Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140534>. Acesso em: 20 de Ago de 2021.

BRASIL. Projeto de Lei da Câmara dos Deputados Federais nº 7.169, de 2017. Dispõe sobre a necessidade de prever nos projetos de edificações e empreendimentos urbanísticos, privados ou públicos, a existência de mecanismos para reutilização da água. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2126173>. Acesso em: 20 de Mai de 2020.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado Federal nº 58, de 2016. Disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas e altera as Leis nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana; nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/124972>. Acesso em 20 de Mai de 2020.

CAMPINAS. Lei nº 12.474, de 16 de Janeiro 2006, da Câmara Municipal de Campinas. Cria o programa municipal de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações e dá outras providências. Disponível em: <https://www.campinas.sp.leg.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao>. Acesso em: 18 de Jul de 2021.

CAMPINAS. Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Secretaria Municipal de Saúde. Resolução Conjunta nº 09, de 04 de Agosto de 2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. Disponível em: <https://www.campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/resolucao-09-2014.pdf>. Acesso em 18 de Jul de 2021.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2014, 341 p.

CASOLÓGICA. Como fazer o reúso de água dentro de casa?. Disponível em: <https://casologica.com.br/como-fazer-o-reuso-de-agua-dentro-de-casa/>. Acesso em 06 de set de 2022.

CEARÁ. **Lei nº 16023, de 20 de Junho 2016**, da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Lei-Estadual-n%C2%BA16.033-2016-Disp%C3%B5e-sobre-a-Pol%C3%ADtica-de-Re%C3%BAso-de-%C3%81gua-N%C3%A3o-Pot%C3%A1vel-no-Estado-do-Cear%C3%A1.pdf>. Acesso em: 11 de Jul de 2021.

CHERNICHARO, C; MOTA, C; ARAÚJO, J. **Covid-19 e o saneamento no Brasil**. Nota Técnica do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG): UFMG, 2020. Disponível em: <http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2020/03/COVID-19-e-o-Saneamento-no-Brasil.pdf>. Acesso em 06 de Mai de 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice D – índice de qualidade das águas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em 21 Nov 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Portal dos Mananciais**. Disponível em: <https://mananciais.sabesp.com.br/HidroMapas>. Acesso em 11 Jun 2021.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. **Novas concessionárias**. Disponível em: <https://cedae.com.br/riomaissaneamento>. Acesso em 25 ago 2022.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. **Tarifa diferenciada pela cobrança de água e esgoto**. Disponível em: <https://cedae.com.br/tarifas>. Acesso em 21 Jun 2021.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. **Estrutura tarifária pela cobrança de água e esgoto**. Disponível em: https://storage.googleapis.com/site-cedae/estruturatarifaria/ESTRUTURA_TARIFARIA_OUT_2021%20VIGENTE.pdf. Acesso em 21 Jun 2021.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. **Resolução nº 75, de 29 Junho de 2010**. Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/RESOLU%C3%87%C3%83O%20n%C2%BA%2075.pdf>. Acesso em 15 Jul 2021.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Panorama das águas Deliberação Normativa nº 65, de 18 Junho de 2020.** Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>. Acesso em 15 Jul 2021.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SANTA CATARINA. **Norma não é lei. Mas por força de lei é obrigatória, 26 de setembro de 2014.** Disponível em: <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=3077#.YyutzEzMLIU>. Acesso em 15 de set de 2022.

COSTA, L. S. DA; OLIVEIRA, L. R. DE; CASTRO, R. M.; CASTRO, M. N.; ALMEIDA, L. F. O.; CARVALHO, E. W. V. **Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis.** Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, vol. 08, n. 02, p 149 – 167, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/ric.2018.33196>. Acesso em 29 de Mar de 2022.

CUNHA, A H N; DE OLIVEIRA, T H; FERREIRA, R B; MILHARDES, A L M, DA COSTA E SILVA, S M. **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, vol. 7, n. 13, p 1225 – 1248, 2011. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/266699804/Artigo-o-Reuso-de-Agua-No-Brasil-A-Importancia-Da-Reutilizacao-de-Agua-No-Pais>. Acesso em 08 de Mar de 2020.

CURITIBA. **Lei nº 10.785, 18 de setembro de 2003.** Cria o programa de uso racional da água nas edificações – PURAE. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2010/00086319.pdf>. Acesso em: 27 de Jul de 2021.

DA LUZ, J.P.; TURATTI, L.; MAZZARINO, J.M. **Água – direito humano fundamental.** Revista Estudo e Debate, Lajeado, v. 23, n. 2, Dez. 2016. Disponível em: <http://www.meep.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/1139/1055>. Acesso em 07 Set de 2021.

DELL’UOMO, F.J.H. **Análise técnica e econômica dos processos de tratamento de águas cinza visando ao reúso.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica e Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (RJ): UFRJ, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/repository/farquivo=dissertpoli1331.pdf&fcodigo=4866>. Acesso em 18 de Nov de 2019.

DISTRITO FEDERAL. **Lei nº 5.890, de 12 de junho de 2017,** da Câmara Legislativa do Distrito Federal. Estabelece diretrizes para as políticas públicas de reúso da água no Distrito Federal. Disponível em: https://www.dodf.df.gov.br/index/visualizar-arquivo/?pasta=2017|06_Junho|DODF%20114%2016-06-2017|&arquivo=DODF%20114%2016-06-2017%20INTEGRA.pdf. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 929, de 28 de julho de 2017**, da Câmara Legislativa do Distrito Federal. Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal e dá outras providências. Disponível em: http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/e8ac10b417504d6fb30227641c9bd949/LC_929.html#art18. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

ELECTROLUX. **Manual de instruções da lavadora de roupas LTC10**. Disponível em: http://www2.electrolux.com.br/turboeconomia/downloads/man_LTE12.pdf. Acesso em: 18 de Mar de 2021.

EOS ORGANIZAÇÃO E SISTEMAS. **Formas de reúso de água**. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/agua-cinza-reutilizacao/>. Acesso em 20 Nov 2022.

ESPÍRITO SANTO. **Constitucional nº 107, de 13 de Março de 2020**, da Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo. Altera os arts. 192, 258 e 262 da Constituição Estadual, incluindo planos de reúso e reúso de águas dos recursos hídricos respectivamente. Disponível em: <http://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/ECE1072017..htm>. Acesso em: 11 de Jul de 2021.

FABRIMAR. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. Disponível em https://www.fabrimar.com.br/arquivos/catalogos/catalogo_de_produtos_2013.pdf. acesso em 11 de set de 2022.

FERRAZ, M.; SILVA, E. M. **Estudo de viabilidade de um sistema de tratamento para reutilização de água em finalidades domiciliares diversas**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria - RS, v. 19, n. 3, p. 702-712, 2015. Disponível em <https://doi.org/10.5902/2236117017648>. acesso em 11 de Jul de 2022.

FERREIRA, A.S. **Relação custo/benefício em instalações hidráulicas utilizando o sistema PEX, PPR e PVC em edificações de alvenaria estrutural**. Monografia apresentada à Universidade do Sul de Santa Catarina. Santa Catarina (SC): UNISUL, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/6014>. Acesso em 22 de Jun de 2021.

FIOCRUZ. **Agência FIOCRUZ de Notícias**. Fundação Oswaldo Cruz, 2020.

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; SILVA, L. D. D'O.; ACSELRAD, M. V.; FARIAS JÚNIOR, J. E. F.; COSTA, L. F. **Crise hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul:**

enfrentando a pior estiagem dos últimos 85 anos. Revista Ineana, Rio de Janeiro - RJ, v. 03, n. 1, p. 26-47, 2015. Disponível em http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_vpres_geiat/documents/document/zeww/mte4/~edisp/inea0118222.pdf. acesso em 11 de Jul de 2021.

FRACASSO, M.F.B.; MORAES, F. de A.B. **Processo de dessalinização de água do mar acoplado a um processo de cogeração de energia utilizando biomassa de Eucalipto.** Interciência e Sociedade, Mogi Guaçu, v. 5, n. 2, p. 51-74, Dez. 2020. Disponível em: <http://revista.francomontoro.com.br/intercienciaesociedade/article/view/146>. Acesso em 18 Abr de 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Diretriz Técnica nº 05, de 2017, Versão 2, de setembro de 2019.** Diretriz Técnica referente ao descarte e ao reúso de efluentes líquidos no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DT-005-2017.PDF>. Acesso em 11 Jul 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades.** Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf. Acesso em 11 Fev 2021.

FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS. **Resumo dos indicadores de meta e desempenho na AP-5.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/documents/4282910/d74f9381-e3a7-4406-ae0a-645dbc323747>. Acesso em 22 set 2022.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. **Efluentes industriais: estudo de tratabilidade.** Rio de Janeiro: Editora Publit, volume 1, 196p., 2015.

GOGA, T; FRIEDRICH, E; BUCKLEY, CA. **Environmental life cycle assessment for potable water production - a case study of seawater desalination and mine-water reclamation in South Africa.** Water SA, Pretoria, v. 45, n. 4, p. 700-709, Oct 2019. Disponível em: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502019000400018&lng=en&nrm=iso. Acesso em 28 Jun 2020.

GOIÁS. **Decreto nº 9.505, de 27 de agosto 2019,** da Secretaria de Estado da Casa Civil de Goiás. Regulamenta a Lei estadual nº 20.440, de 10 de abril de 2019, que institui o Selo Azul Sustentável, estabelecendo os critérios para obtenção do selo, a forma de concessão, seu modelo, confecção, uso e controle. Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/72417/decreto-9505. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

GOIÁS. **Lei nº 20.440, de 10 de abril 2019**, da Secretaria de Estado da Casa Civil de Goiás. Institui o Selo Azul Sustentável, de reconhecimento às iniciativas municipais que favoreçam o uso racional e a redução do consumo de água potável. Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/100641/lei-20440. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

GOOGLE EARTH. Aplicativo de mapas em três dimensões obtidos via satélite. Acesso em 03 de Jun de 2020. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-22.87932328,-43.52927334,41.03041619a,1206.62443201d,30y,0h,0t,0r>.

GUANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute – Jerusalem. In: **RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS**. Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001.

GUARAPARI. **Lei nº 3.942, de 18 de setembro de 2015**, da Câmara Municipal de Guarapari. Dispõe sobre a política de sustentabilidade e enfrentamento às mudanças climáticas do Município de Guarapari e dá outras providências. Disponível em: <http://www3.cmg.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/L39422015.html>. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

GRAYWATER Action. **About greywater reuse**. Disponível em: <http://greywateraction.org/content/about-greywater-reuse/>. Acesso em: 09 Abr de 2020.

HESPAÑHOL, I, 2003. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aquíferos**. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/ivan.pdf> Acesso em 20 Out de 2019.

HIDRAUCONEX. **Hidrômetro unijato composite 3/4 hidrometer**. Disponível em: <https://www.hidraconex.com/hidrometro-medidor-de-agua-unijato-composite-34-conexoes>. Acesso em 29 de Set de 2019.

ICASA LOUÇA SANITÁRIA. **Bacia sanitária com caixa acoplada linha Sabará**. Disponível em: <http://icasa.com.br/ic46-caixa-para-bacia-acoplada-com-mecanismo-ip36-bacia-para-caixa-acoplada-pop/>. Acesso em 19 de Abr de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico – 2010: Características da população e dos domicílios**. Resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf. Acesso em 15 de Jun de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da população – projeções da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade: 2010-2060.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em 05 de Set de 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Monitoramento sistemático rios do Estado do Rio de Janeiro.** Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/INEA-IQA-M%C3%A9dia-ERJ-2012-2021.pdf>. Acesso em 21 de ago de 2022.

JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995, 720 p.

KOG, Y. C. **Water reclamation and reuse in Singapore.** Journal of Environmental Engineering, v. 146, n. 4, Apr. 2020. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0001675>. Acesso em 08 Jun 2021.

LEAL, B. L. **Viabilidade de reúso de águas cinza, estudo de caso em condomínio vertical em Cuiabá – MT.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá (MT): UFMT, 2013. Disponível em: <https://www1.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/897b3c82d5e49f78e189ec880951cc16.pdf>. Acesso em: 15 Nov de 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LIFESTRAW. **Lifestraw community.** Disponível em: <https://lifestraw.com/products/lifestraw-community>. Acesso em 29 de Mai de 2021.

LYRA, B. U.; RIGO, D. **Impacto do desmatamento no regime de vazões da bacia hidrográfica do rio Doce.** Revista Ambiente & Água, v. 14, n. 4, e2370, Apr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2370>. Acesso em 26 jan 2023.

MANNA, S. **Treatment of graywater for reusing in non-potable purpose to conserve water in India.** International Journal of Applied Environmental Sciences, India, v. 13, n. 8, p. 703-716, 2018. Disponível em: http://www.ripublication.com/ijaes18/ijaesv13n8_01.pdf. Acesso em 28 Jun 2021.

MARTINS, A. S.; CARVAJAL, E.; SANTOS, J. A. A. dos; MOURA, P. G.; HAMDAM, N. B.; KOTOWSKI-FILHO, N. P.; JARDIM, R. **Eventos atrelados a**

Geosmina e 2-Metilisoborneol (2-MIB) em manancial de abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Estudo de caso. Repositório Institucional da FIOCRUZ, dez. 2021. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/50355>. Acesso em 26 jan 2023.

MARTINS, D. D. dos S.; MAIA, D. S.; AZEVEDO, A. A.; CAMARGO, R. V.; PEDROZA, M. M.; VALDÉS SERRA, J. C. **Avaliação da aplicabilidade do reuso da água cinza de máquina de lavar roupa após tratamento complete simplificado.** Revista AIDIS de *Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y practica*, v. 14, n. 2, p. 526-538, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.71040>. Acesso em 28 Jul 2022.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo (SP): USP, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082009-082126/pt-br.php>. Acesso em: 09 Jul de 2022.

METCALF & EDDY. **Wasterwater Engineering – Treatment and Reuse.** 4 ed. New York: McGraw Hill, 2003.

MONTEIRO, P.A.M. **Saúde humana, meio ambiente e utilização de água de reúso a partir de águas cinzas em edificações residenciais**, 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro (RJ): ENSP-FIOCRUZ, 2019.

MULTRIO. **Da série bairros cariocas.** Disponível em: <http://www.multirio.rj.gov.br/index.php/leia/reportagens-artigos/reportagens/504-capela-de-engenho-inspira-o-nome-de-santissimo>. Acesso em 11Mar 2021.

MURILO CARDOSO. **Mapas das regiões hidrográficas, bacias hidrográficas e sub-bacias do Brasil.** Disponível em: <http://murilocardoso.com/2012/01/23/mapas-regioes-hidrograficas-bacias-hidrograficas-e-sub-bacias-do-brasil/>. Acesso em 13 Nov 2020.

NASCIMENTO, A. V. de S.; PASSOS, E. S.; SOARES, J. H. da A. **Águas residuárias em Sergipe: um enfoque para o reuso de águas cinzas e residuárias e o aproveitamento do lodo de esgoto urbano.** Revista Interface de saberes: Ambientes, sociedades e interdisciplinaridade, n. 1, cap. 1, p. 19-34, dez. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350199392_AGUAS_RESIDUARIAS_EM_SERGIPE_UM_ENFOQUE_PARA_O_REUSO_DE_AGUAS_CINZAS_E_RESIDUARIAS_E_O_APROVEITAMENTO_DO_LODO_DE_ESGOTO_URBANO. Acesso em 25 jan 2023.

NITERÓI. **Lei nº 2856, de 2011**, da Câmara dos Vereadores de Niterói. Estende as obrigações da Lei nº. 2630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Disponível em: http://pgm.niteroi.rj.gov.br/legislacao_pmn/2011/LEIS/2856_Dispoe_sobre_o_Sistema_de_Coleta_e_Reutilizacao_de_Aguas_Servidas_Publicas_e_Privadas.pdf. Acesso em: 27 de Mai de 2021.

OH, K.S; LEONG, J Y C; POH, P E; CHONG, M N; LAU, E V. **A review of greywater recycling related issues: challenges and future prospects in Malaysia.** Journal of Cleaner Production, vol. 171, p 17–29, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617322710?casa_token=P9UexfBUFEkAAAAA:viKD0nJ2tHD7CQKUInAxuObeJXpVuXy_dAYV0GEHVX5XlZwFGFa_SIM5XdfDuSUIFI1Meih8hzU. Acesso em 03 de Jun de 2020.

OH, K.S; POH, P.E., CHONG, M.N.; CHAN, E.S.; LAU, E.V., SAINT, C.P. **Bathroom greywater recycling using polyelectrolyte-complex bilayer membrane: Advanced study of membrane structure and treatment efficiency.** Journal Carbohydrate Polymers, vol. 148, p 161-170, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861716304003>. Acesso em 09 de Dez de 2020.

OLIVEIRA, F. G. **Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro.** Dissertação apresentada à Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (RJ): UERJ, 2020.

OLIVEIRA, L. H. DE; ILHA, M. S. DE O.; GONÇALVES, O. M.; YWASHIMA, L.; REIS, R. P.A. **Levantamento do estado da arte: água.** Projeto Finep: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável, São Paulo, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/tecnologias-para-construcao-mais-sustentavel/HabitacaomaisSustentavel_D2.1_agua.pdf. Acesso em 25 de Jun de 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 25 de Jun de 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População Mundial de habitantes 2017.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/audio/2017/06/1207701>. Acesso em 05 de Set de 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População Mundial nos próximos 30 anos.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>. Acesso em 05 de Set de 2021.

O'NEILL, BRIAN F.; BOYER, ANNE-LISE. **Water conservation in desert cities: from the socioecological fix to gestures of endurance**. Ambiente e Sociedade, vol. 23, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2020000100307&lng=en&nrm=iso. Acesso em 20 Jun de 2020.

PROGRAMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Índice e indicadores de água – revisão literária**. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em 22 Nov 2020.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: Caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial**. Dissertação apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro (RJ): ENSP-FIOCRUZ, 2004. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CRUZ_b82c530d0d6261570cb144fce94e88ee. Acesso em 09 de Jul de 2022.

REIS, F. M. P. DOS; COSTA, T. V. B.; ALVES, F. **Reúso de águas cinzas em habitações populares no Estado de Minas Gerais, Brasil**. Revista Petra, vol. 4, n. 1, p. 1 – 22, 2020. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-izabela/index.php/ptr/article/view/1012>. Acesso em 22 Jun de 2021.

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 3158, de 1981**, da Câmara dos Vereadores do Rio de Janeiro. Estabelece a denominação, a codificação e a delimitação dos bairros da cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/1981/316/3158/decreto-n-3158-1981-estabelece-a-denominacao-a-codificacao-e-a-delimitacao-dos-bairros-da-cidade-do-rio-de-janeiro-1981-07-23-versao-original>. Acesso em: 11 de Mar de 2020.

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 47403, de 2020**, da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Dispõe sobre a política de reúso de água para fins não potáveis no âmbito do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ioerj.com.br/portal/modules/conteudoonline/mostra_edicao.php?session=VVZSVmVFMVXXWHBOVkdKMFQwUldSRkZUTURCUFZVa3dURIZKTKU1VVNYUIJNRIY0VG1wWk0wOVVVWHBPUkd4Q1RWUlp1VTVxYXpOUFZFRjVUMEU5UFE9PQ==. Acesso em: 11 de Jul de 2021.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 9164, de 2020**, da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Regulamenta os procedimentos para armazenamento e retardo de água de chuva em perímetros urbanos para aproveitamento e postergação de sua descarga na rede pública, além da acumulação de água cinza clara para seu tratamento e uso em fins cuja água não necessite ter caráter potável consoante as normas técnicas e dá outras providências e revoga a Lei nº 7.463, de 18 de outubro de 2016. Disponível em:

http://www.ioerj.com.br/portal/modules/conteudoonline/mostra_edicao.php?session=V GpCWk1VNUVVVVEpPTUUXMFRXcFJkMDIUTURCU1ZGRjNURIZGZVU5VVVY Uk5WRVYzVDBSa1JVOVVaeKZPTUuwMFRWUlpIVTVxYXpSTIZGa3hUVUU5U FE9PQ==. Acesso em: 11 de Jul de 2021.

RIO DE JANEIRO. **Projeto de Lei nº 2015, de 2016**, da Câmara dos Vereadores do Rio de Janeiro. Institui o programa municipal de conservação e uso racional da água em edificações no município do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/scpro1316.nsf/b63581b044c6fb760325775900523a41/dbeaca2f190d50d383257fff007161f6?OpenDocument>. Acesso em: 17 de Mai de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução nº 419, de 2020**, da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/24135755-419-2020-estabelece-criterios-e-procedimentos-para-a-utilizacao-de-agua-de-reuso.pdf>. Acesso em: 11 de Jul de 2021.

RODRIGUES, R.S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no**

Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo (SP): USP, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03112005-121928/pt-br.php>. Acesso em 19 de Mai de 2020.

ROSA JÚNIOR, L. dos S.; ALMEIDA, H. da S.; PEREIRA, L. M.; HOLANDA, B. S. de; MALAQUIAS, N. P.; CIRINO, L. dos S.; DIAS, A. G. S.; MORAIS, A. B. P. de; MAGALHÃES, E. P.; PALMEIRA, T. dos S.; SOUTO, C. K. B.; SOUZA, I. G. M. de. **Aproveitamento do lodo de esgoto proveniente de tanque séptico visando a recuperação de solos degradados**. Revista Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, vol. 1, cap. 19, p. 235 – 243, 2019. Disponível em: <https://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/825>. Acesso em 25 jan de 2023.

SANT'ANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações – padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção**. Relatório técnico apresentado para a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. Distrito Federal (DF): Convênio ADASA/UnB, 2017. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_2_padroes_qualidade.pdf. Acesso em 23 Jun de 2021.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Uso racional da água, 2018**. Disponível em:

http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/SITE_SEMA/RECURSOSHIDRICOS/CARTILHAS/Cartilha_Uso_Racional_da_Agua_oficial.pdf Acesso em: 10 de Abr de 2020.

SERMEJIAN, L; SHANABLEH, A; SEMREEN, M H; SAMARAI, M. **Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates.** Environment International, vol. 121, P. 1, p 325 – 331, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018310110>. Acesso em 03 de Jun de 2020.

SILVA, S M O; SOUZA FILHO, F DE A; CID, D A C; AQUINO, S H S DE; XAVIER, L C P. **Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 24, nº 2, p 239 – 250, 2019.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200239&lang=pt. Acesso em 03 de Jun de 2020.

SILVA, W. M.; SOUZA, L. O. de; REGO, L. H.A.; ANJOS, T. C. dos. **Avaliação da reutilização de águas cinzas em edificações, construções verdes e sustentáveis.** Enciclopédia Biosfera, vol. 6, nº 11, p 01 – 15, 2010.

Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/avaliacao%20da%20reutilizacao.pdf>. Acesso em 20 de Ago de 2021.

SINGAPURA. **Newater** 2003. Singapore’s National Water Agency. Disponível em: <https://www.pub.gov.sg/watersupply/waterquality/newater>. Acesso em: 05 de Set de 2020.

SISTEMA DE ÁGUAS PLUVIAIS. **Projeto do laboratório de hidrologia aplicada e hidráulica experimental.** Disponível em: <https://projetosapuerj.com>. Acesso em 23 de nov de 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Painel do setor saneamento.** Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso em 14 de Jul de 2021.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.174, de 22 de Abril de 2007**, da Câmara Municipal de São Paulo. Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático e revoga a Lei Municipal nº 13.309/2002, no âmbito do Município de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16174-de-22-de-abril-de-2015>. Acesso em: 22 de Ago de 2021.

TANG, C. Y.; YANG, Z.; GUO, H.; WEN, J. J.; CORNELISSEN, L. D. N. E. **Potable Water Reuse through Advanced Membrane Technology**. Environmental Science e Technology, issue 52, vol. 18, p 10215 – 10223, 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.8b00562>. Acesso em 22 Jun de 2020.

TELLES, D. D'A. e Costa, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010, 408 p.

TIGRE SOCIEDADE ANÔNIMA. **Tratamento de água e efluentes**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/tratamento-de-agua-e-efluentes>. Acesso em: 21 de Jul de 2021.

TOMAZ, P., 2013. **Água de reúso**. Disponível em: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/61/agua-de-reúso-coordenador-da-norma-da-abnt-fala-291278-1.aspx> Acesso em: 21 de Jun de 2019.

TOMAZ, P., 2010. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf Acesso em: 21 de Jun de 2019.

TORTAJADA, C.; NAMBIAR, S. **Communications on Technological Innovations: Potable Water Reuse**. Journal Water, vol. 11, issue 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11020251>. Acesso em 09 de Jun de 2020.

VILA VELHA. **Lei nº 4.503, de 29 de janeiro de 2007**, da Câmara Municipal de Vila Velha. Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações e dá outras providências. Disponível em: <https://www.vilavelha.es.gov.br/legislacao/Arquivo/Documents/legislacao/html/L45032007.html>. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

VILA VELHA. **Lei nº 5.261, de 02 de janeiro de 2012**, da Câmara Municipal de Vila Velha. Acrescenta Dispositivos à Lei nº 4.503/07, que Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações e dá outras providências. Disponível em: <https://www.vilavelha.es.gov.br/legislacao/Arquivo/Documents/legislacao/html/L52612012.html#a2>. Acesso em: 12 de Jul de 2021.

VOLSCHAN JÚNIOR, I. **Causa e efeitos da poluição por esgotos sanitários e a crise do abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Plurale em site, Rio de Janeiro - RJ, 2020. Disponível em: <https://www.plurale.com.br/site/noticias->

detalhes.php?cod=17303&codSecao=11&oMnu=especiais&sub=agua. Acesso em 13 de Jul de 2021.

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

WAMBERTO, A. F.; ROBÉRIO, H. C. A.; VINYCIUS, R. dos S. S.; ALANNE, F. de S.; PALOMA, C. M. de F.; MARIA, J. de S. C. **Uma abordagem sobre sistemas hidráulicos prediais utilizando materiais não convencionais**. Revista FENEC , vol. 1, nº. 2, p 527-536, 2017.

Disponível em: <https://www.revista.fenec.com.br/wp-content/uploads/2020/12/61-UMA-ABORDAGEM-SOBRE-SISTEMAS-HIDRAULICOS-PREDIAIS.pdf>. Acesso em 23 de Jun de 2021.

ZHU, J; WAGNER, M; CORNEL, P; CHEN, H; DAI, X. **Feasibility of on-site grey water reuse for toilet flushing in China**. Journal of Water Reuse and Desalination, vol. 08, P. 1, p 1 – 13, 2018. Disponível em: <https://iwaponline.com/jwrd/article/8/1/1/38006/Feasibility-of-on-site-grey-water-reuse-for-toilet>. Acesso em 03 de Jun de 2020.

APÊNDICE A - Manual de diretrizes do STAC

INTRODUÇÃO

O presente manual de diretrizes do Sistema de Tratamento de Águas Cinzas (STAC) traz recomendações e orientações quanto à utilização, à montagem e as manutenções para o correto funcionamento do sistema nas edificações.

Primeiramente serão descritas as possíveis utilizações do STAC nas edificações, em seguida serão descritas as orientações de montagem do sistema de tratamento de reúso e, por último, as orientações sobre a manutenção e limpeza do sistema de tratamento.

UTILIZAÇÃO

O Sistema de Tratamento de Águas Cinzas (STAC) foi desenvolvido para captar as águas oriundas das máquinas de lavar roupas e após tratadas pelo sistema de filtragem e desinfecção serem reutilizadas nas descargas das bacias sanitárias, entretanto, pela qualidade de polimento obtida dessas águas, o reúso pode ser estendido para outras finalidades domésticas não potáveis como lavagem de carros, rega de jardins e lavagem de pisos e calçadas. O sistema pode ser utilizado em pequena escala (apenas uma residência) como também em escala maior como em conjuntos habitacionais, hotéis, escolas e condomínios residenciais.

MONTAGEM

A montagem do sistema possui uma sequência e a necessidade de profissional com conhecimento de instalações hidráulicas, elétrica e pintura. Caso haja a necessidade de aberturas na parede e alterações nas instalações hidrossanitárias e nos revestimentos cerâmicos, recomenda-se a contratação de profissional qualificado.

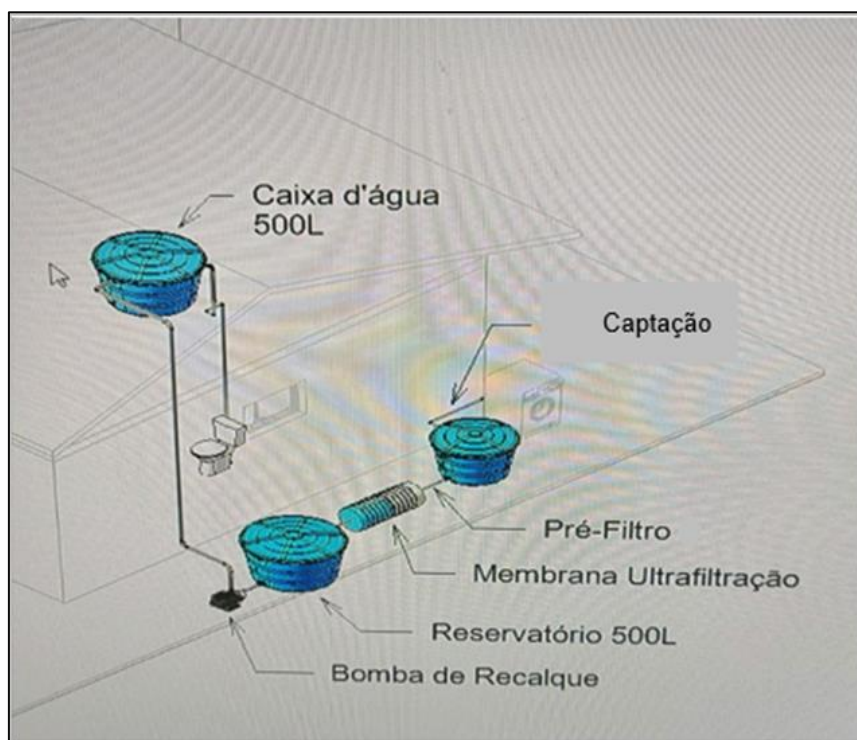
Após determinado o melhor local de instalação do sistema STAC e devem seguir o seguinte passo a passo:

- I. Instalar o reservatório de captação da água cinza bruta o mais próximo possível do tanque de lavar roupas e direcionar a tubulação desse tanque para o reservatório de captação;

- II. Instalar o pré-filtro de tratamento logo após o reservatório de captação das águas cinzas deixando-o com uma inclinação de 2% para que o escoamento seja realizado por gravidade para o segundo reservatório de armazenagem;
- III. Conectar o filtro de ultrafiltração por membrana logo após o pré-filtro de carvão ativado, mídia de vidro sintetizado e manta acrílica de perlon, para que seja realizada a penúltima etapa do processo de tratamento;
- IV. Instalar o segundo reservatório para armazenar as águas cinzas tratadas pelo pré-filtro e membrana de ultrafiltração, para realizar a cloração dessas águas através de dosador. Instalar bomba d'água para recalca-la para o reservatório superior;
- V. Instalar um reservatório superior, exclusivo para as águas cinzas tratadas, com as tubulações ligadas até o ponto de uso (bacia sanitária).

A montagem do pré-filtro depende do volume de água cinza a ser captada e tratada, pois o dimensionamento do mesmo está diretamente ligado ao volume de água cinza a ser captada. A mesma orientação é seguida para a escolha da membrana de ultrafiltração e da capacidade dos reservatórios. Determinado o volume de captação, monta-se o pré-filtro conforme abaixo:

Sistema STAC



Pré-filtro de tratamento do STAC



MANUTENÇÃO

O sistema necessita de manutenções periódicas como limpeza dos reservatórios, cloração, troca do pré-filtro e da membrana de ultrafiltração para garantir a eficiência de tratamento do sistema.

A limpeza dos reservatórios deve ser realizada a cada 6 meses para a retirada dos resíduos acumulados no fundo e nas paredes desses reservatórios.

O pré-filtro precisa ser recomposto a cada 6 meses, trocando-se, principalmente a manta acrílica e o carvão ativado que vão perdendo sua eficiência com o fluxo de águas cinzas tratadas. A mídia de vidro sintetizada pode ser trocada a cada 12 meses ou por período maior por ser material resistente e que propicia o crescimento de colônia de microrganismos essenciais no processo de tratamento das águas cinzas, porém o período de troca desse material não pode exceder 18 meses.

A membrana de ultrafiltração, apesar de ser composta de material flexível, possui grande resistência e o prazo de troca, recomendado, são 12 meses podendo ser por período maior conforme o volume de água cinza tratada, porém esse prazo de troca não pode exceder o período de 24 meses devido ao acúmulo de microrganismos que reduz a eficiência do tratamento.

Seguidas todas essas orientações o Sistema de Tratamento de Águas Cinzas (STAC) terá sua funcionalidade atendida e eficácia garantida.