

REUSO DE ÁGUA

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA



Eduardo Cabral da Silva
Luciana de Omena Gusmão
Cícero Fellipe Diniz de Santana
Wendell José Soares dos Santos



DIREÇÃO EDITORIAL: Betijane Soares de Barros
REVISÃO ORTOGRÁFICA: Editora Hawking
DIAGRAMAÇÃO E DESIGNER DE CAPA: Editora Hawking
O padrão ortográfico, o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas do autor. Da mesma forma, o conteúdo da obra é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu autor.



Todos os livros publicados pela Editora Hawking estão sob os direitos da Creative Commons 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR

2020 Editora HAWKING

Avenida Comendador Gustavo Paiva, 3330, Mangabeiras.

Em frente ao Extra Mangabeiras e próximo ao Shopping Maceió.

www.editorahawking.com.br

editorahawking@gmail.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Eduardo Cabral; Gusmão, Luciana de Omena; Santana, Cícero Fellipe Diniz; Santos, Wendell José Soares
S586R Reuso de água: sustentabilidade hídrica / Silva, Eduardo Cabral; Gusmão, Luciana de Omena; Santana, Cícero Fellipe Diniz; Santos, Wendell José Soares. – Maceió-Alagoas: Editora Hawking, 2020, v. 1, 286f: il.; 21,0 cm.

ISBN: 978-65-81683-23-8

Disponível em: www.editorahawking.com.br

1. Conservação. 2. Recursos hídricos. 3. Gerenciamento. I. Silva, Eduardo Cabral. II. Gusmão, Luciana de Omena. III. Santana, Cícero Fellipe Diniz. IV. Santos, Wendell José Soares. V. Reuso de Água: Sustentabilidade Hídrica. v. 1. Maceió-Alagoas: Editora Hawking.

CDD: 620

Índice para catálogo sistemático:

1. Conservação 333.9
2. Recursos hídricos 333.91

EDUARDO CABRAL DA SILVA
LUCIANA DE OMENA GUSMÃO
CÍCERO FELLIPE DINIZ DE SANTANA
WENDELL JOSÉ SOARES DOS SANTOS

REUSO DE ÁGUA: SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Maceió-AL
2020



Direção Editorial

Dra. Betijane Soares de Barros, Instituto Multidisciplinar de Maceió – IMAS (Brasil)

Conselho Editorial

Dra. Adriana de Lima Mendonça/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil), Universidade Tiradentes - UNIT (Brasil)

Dra. Ana Marlusia Alves Bomfim/ Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Ana Paula Morais Carvalho Macedo /Universidade do Minho (Portugal)

Dra. Andrea Marques Vanderlei Fregadolli/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dr. Fábio Luiz Fregadolli//Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Maria de Lourdes Fonseca Vieira/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Jamyle Nunes de Souza Ferro/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Laís da Costa Agra/Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ (Brasil)

Dra. Lucy Vieira da Silva Lima/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dr. Rafael Vital dos Santos/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil), Universidade Tiradentes - UNIT (Brasil)

SUMÁRIO

REUSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO HOSPITAL ESCOLA VETERINÁRIO EM CARUARU –PE.....	4
VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZAS EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR.....	69
ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA HABITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SAIRÉ – PE	112
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA O POLO COMERCIAL DE CARUARU– PE.....	174
IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZAS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM GRAVATÁ-PE.....	213

**VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS E
PLUVIAIS EM EMPREENDIMENTO PÚBLICO**

.....244

APRESENTAÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, a sociedade lida com os problemas e conflitos gerados a partir do uso indevido da água diante de sua disponibilidade e distribuição espacial. Por sua importância, os recursos hídricos influenciam a cultura, a economia e o destino de diversas civilizações, tanto no passado, no presente e no futuro.

Quem já trabalhou nas áreas voltadas para a gestão e planejamento dos recursos hídricos sabe que os conhecimentos, métodos e as tomadas de decisão relacionados com o manejo da água, já possuem uma gama de alternativas tecnológicas. Todavia, acabam por favorecer a aplicação de técnicas e procedimentos tidos como convencionais e que em muitos casos, não se adequam as realidades de cada caso. A má distribuição e escassez dos recursos hídricos em todo mundo, inclusive no Nordeste brasileiro, tem feito com que aquilo, que é considerado como imutável e tradicional, perca espaço para outras alternativas e soluções que visem tornar o aproveitamento dos recursos hídricos, o mais eficiente, efetivo e eficaz possível.

Por todas as consequências do desperdício da água e sua influência nos diversos segmentos da sociedade, o cenário atual de degradação ambiental e perdas dos bens naturais, conta com poucas formas e visões para as soluções de tais problemas. Uma dessas soluções é através do que hoje é conhecido como reuso das águas, uma linha de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e estratégia de gestão para otimização dos usos e aproveitamento deste recurso tão indispensável para a vida humana, como já é conhecido.

Este livro traz, portanto, uma abordagem muito útil para engenheiros, tecnólogos, arquitetos e técnicos de nível médio, que trabalhem na área de gestão e planejamento dos recursos hídricos

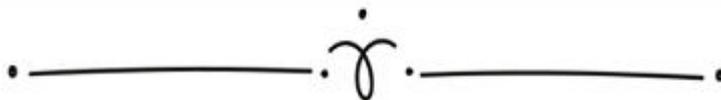
Cada capítulo poderá ser visto separadamente, auxiliando a leitura e compreensão dos vários conteúdos abordados. O livro traz tópicos importantes dentro do tema de reuso de águas que pode ser do interesse, principalmente dos profissionais que atualmente aplicam os conhecimentos dentro da construção civil. Assim o livro possui o intuito de contribuir para aplicação dos conhecimentos do reuso de águas nas obras civis.

Se tratando de conteúdos mais específicos, também buscou-se contribuir com o trabalho de profissionais que atuam na área de instalações prediais, com uma linguagem simples e atualizada, através de uma árdua pesquisa bibliográfica. O material constituinte do livro, são artigos e trabalhos de conclusão do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Unifavip/Wyden, em Caruaru-PE, que revelam o interesse comum de estudar e estimular a reflexão sobre os avanços nesta linha de pesquisa como forma de contribuir com a mitigação dos problemas ambientais no contexto dos recursos hídricos.

Agradecemos a todos os leitores e esperamos que a leitura das linhas que se seguem estimule o crescimento científico prático, sobre o reuso da água e suas diferentes dimensões dos aspectos relacionados, promovendo o desenvolvimento do leitor e a conscientização em torno do seu papel como cidadão e parte do meio ambiente.

Cícero Felliipe Diniz de Santana e
Wendell José Soares dos Santos.

CAPÍTULO 1



REUSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO HOSPITAL ESCOLA VETERINÁRIO EM CARUARU –PE

Submetido em: 04 de fevereiro de 2020.

Aceito em: 21 de abril de 2020.

Alexandre Diego Vieira Lopes¹

Eduardo Cabral da Silva²

Luciana de Omena Gusmão³

RESUMO

A escassez de água em diversas regiões do país juntamente com o crescimento populacional induz que sejam adotadas fontes sustentáveis de água para que não ocorra um futuro colapso do recurso. As águas cinzas disponibilizam de inúmeros benefícios através do seu reuso, como a economia de água e como consequências a economia financeira e o menor descarte da mesma,

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. a.diego.lope@gmail.com.

² Prof. Dr. Centro Universitário Unifavip/Wyden. eduardo.csilva@professores.unifavip.edu.br.

³ Prof^ª. Ma. Instituto Multidisciplinar de Alagoas – IMAS. log.gusmao2010@gmail.com.

diminuindo assim os poluentes despejados em rios ou cursos d'água. No presente trabalho foi executado o dimensionamento da captação, tratamento, armazenamento e sistema de distribuição de águas cinzas em uma Escola Hospital Veterinário na cidade de Caruaru - PE e a realização do orçamento seguida da análise financeira do projeto. Os dados para o dimensionamento foram obtidos através da análise dos projetos da Escola, sendo calculados os volumes de água para a contribuição e demanda de águas cinzas da edificação conforme a metodologia apresenta. O dimensionamento foi realizado através do método das unidades de Hunter de contribuição e a distribuição conforme a NBR 5626 / 1998. Dispondo dos dados, foi realizado o orçamento do sistema e analisado a quantidade de água economizada mensalmente, analisando em quanto tempo teria o retorno do investimento aplicado que conforme a análise, o tempo de previsão de retorno é de 25 meses.

Palavras-chave: Escassez hídrica. Recursos Hídricos. Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável, utilizada para praticamente todas as atividades realizadas pelo homem em todas as áreas, tais como, industriais, agropecuárias ou de uso urbano. A importância da água se reflete nos seus usos múltiplos e na necessidade básica desse mineral para a manutenção da vida (ÁGUAS, 2015).

Contudo, a poluição acelerada das fontes superficiais e a exploração aleatória das fontes subterrâneas, assim como, o desordenado uso e ocupação do solo afetam a disponibilidade de água própria para consumo direto. A escassez de água é um problema que atinge grande parte do planeta, uma das maiores bacias hídricas do mundo está localizada no Brasil, mas existem dificuldades presentes no abastecimento de água em determinadas regiões devido má distribuição geográfica dos recursos naturais (TUNDISI et al., 2010).

Com o frequente crescimento populacional e não acompanhamento de sistemas de saneamento devidamente planejados, os esgotamentos das edificações são descarregados em corpos ou cursos d'água mais acessíveis ao local sem nenhum tratamento, os poluindo e esgotando ou encarecendo cada vez mais o posterior tratamento dessas fontes hídricas (OLIVEIRA E MOLICA, 2017).

Existem diversas alternativas que favorecem a sustentabilidade desse recurso, como por exemplo, o reuso de águas pluviais, uso de água dessalinizada, reuso de águas cinzas, entre outros. A água que já foi utilizada para uma determinada atividade doméstica é chamada de

efluente doméstico. Esse efluente é dividido em águas cinzas e negras, sendo essas últimas não reutilizáveis devido ao seu alto grau de contaminação, diferentemente das águas cinzas, as quais, após um tratamento específico, pode ser reutilizada (CAVALCANTE, 2017).

Caruaru é localizado no Agreste Pernambucano, onde essa mesorregião é caracterizada por índices pluviométricos baixos, grandes períodos de seca, chuva escassa e localizada em poucos meses do ano, mantendo uma média de 200 a 800 milímetros anuais (MALVEZZI, 2007).

O sustento de uma residência durante um período de seca é de extrema importância, pois para o suprimento de água se dispõe apenas da água armazenada na edificação, muitas vezes sendo insuficiente, gerando gastos não planejados com abastecimentos através de caminhões pipas, mudando de forma considerável a rotina do habitante.

O sistema de reutilização de águas cinzas tem o intuito de minimizar o desperdício de água e prover de um sistema de abastecimento mais eficiente, com a edificação descartando uma quantia menor de água, contribuindo, evitando a falta de água para diversas

atividades e possibilitando que a mesma enfrente diversas situações de seca com efetividade (CAVALCANTE, 2017).

O trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica, ambiental e econômica da implantação de um sistema de reuso de águas cinzas em um Hospital Escola Veterinário em Caruaru – PE.

METODOLOGIA

O trabalho teve as referências teóricas adquiridas por meio de uma revisão bibliográfica correspondentes a diversos aspectos relacionados a reuso de águas cinzas e a escassez de água, através dos dados obtidos na revisão bibliográfica foi analisado o projeto hidrossanitário da edificação adquirindo seu respectivo consumo e geração de águas cinzas

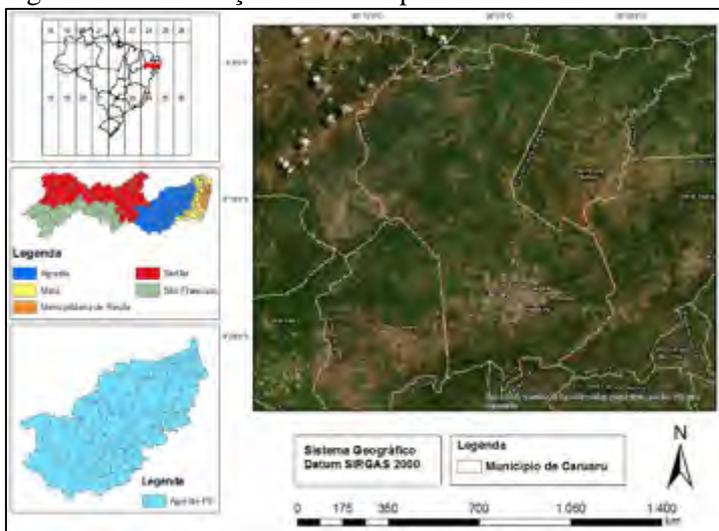
Área de estudo

O estudo será desenvolvido no município de Caruaru-PE, no Agreste pernambucano (Figura 1). Caruaru é o município mais populoso do interior de Pernambuco, com uma população de 361.118 habitantes

(IBGE, 2019) e, tem papel de destaque no Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco.

O Agreste Pernambucano é bastante afetado pela baixa disponibilidade hídrica, principalmente, o município de Caruaru, devido a sua elevada expansão urbana, industrial e atividade turística. As chuvas na região são irregulares e com grande variabilidade interanual (APAC, 2017). O município apresenta um índice pluviométrico médio de 1997 a 2017 de 649,86 mm anuais, sendo, maio, junho e julho os meses que dispõem do maior índice pluviométrico, onde juntos somam 42,48% do total anual, já os meses com menor índice são setembro, outubro, novembro e dezembro, juntos dispendo apenas de 10,26% com base nos dados obtidos na APAC.

Figura 1 – Localização do município de Caruaru.



Fonte: Autoria própria.

A edificação é a Hospital Escola Veterinário Unifavip/Wyden, localizada entre a Rua Prof. Lourival Vilanova e a Av. Paulo Santos no bairro Universitário, locada próximo a Justiça Federal do município de Caruaru, com coordenadas geográficas $8^{\circ}25'50.6''$ e $35^{\circ}96'93.8''$ é composta por 4 blocos, sendo eles A, B, C e D, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Planta de Coberta do Hospital Veterinário.



Fonte: Autoria própria.

Coleta de dados

Cômputo da demanda de água não potável

Para a obtenção do valor de demanda de água não potável na Escola Hospital Veterinário foram utilizadas as áreas de desembarque de animais, circulação externa, pátio de serviço e jardins a serem irrigados, sendo essas as áreas com finalidade de uso das águas tratadas, segue na Tabela 1 os dados obtidos.

Tabela 1 – Área de demanda de água não potável.

Ambiente	Área (m ²)
Pátio de serviço	154,43
Desembarque de animais	134,83
Circulação externa	132,17
Jardins	1112,66
Total	1534,09

Fonte: Autoria própria.

Cálculo da área de contribuição

A estimativa de produção de água cinza pode ser obtida através da Equação 1 (GONÇALVES, 2006):

$$Q = N \times Q \times T \times F \quad (1)$$

Onde:

N = População

Q = Vazão

T = Duração

F = Frequência

Condutores

O dimensionamento dos condutores será realizado de acordo com o Método Unidades de Hunter de Contribuição tendo o lavatório com o número de Hunter igual a 1, e o chuveiro, sendo chuveiro coletivo com número de Hunter igual a 4 (NBR 8160, 1999).

Tratamento de água

Para o uso que se pretende ter com a água cinza tratada, tendo como princípio a revisão bibliográfica e NBR 13969, 1997 a água foi classificada como de classe 2, sendo satisfatório para o seu tratamento, um tratamento biológico aeróbio, logo após filtração de areia e desinfecção, podendo ser substituído a filtração por membranas filtrantes, porém, devido à falta de área para a implantação do tratamento aeróbio, optou-se por a instalação de filtro anaeróbio e fossa séptica.

Para o dimensionamento da área do filtro será utilizada a Equação 2 e a Equação 3 para o dimensionamento do diâmetro do filtro.

$$A = \frac{Q}{TAS} \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{Q \times 4}{TAS \times \pi}} \quad (3)$$

Onde:

A = é a área do filtro, em m²

D = é o diâmetro do filtro, em m

Q = Vazão de esgoto afluente, em m³/dia

TAS = Taxa de absorção superficial em m³/m².dia

O volume da fossa séptica é calculado de acordo com a Equação 4 (MENEGATTI, 2016):

$$V = 1000 + N * (C * T + K * L_f) \quad (4)$$

Onde:

C = Contribuição (litros / pessoa * dia)

V = Volume do tanque, em m³

N = Quantidade de pessoas

L_f = Lodo fresco (l/pessoa x dia)

T = Período de detenção, em dias

K = Acumulação de lodo digerido, em dias

O volume útil do filtro anaeróbio é calculado de acordo com a Equação 5:

$$V = 1,6 * N * C * T \quad (5)$$

Sendo:

V = Volume útil do filtro

N = Quantidade de pessoas

C = Contribuição (litros/pessoa * dia)

T = Dias, coeficiente adquirido de acordo com a Tabela 4 da NBR 13969

Armazenamento da água tratada

O reservatório de águas cinzas tratadas será dimensionado de acordo com o uso e a geração mensal de águas cinzas, considerando o volume diário de captação dos chuveiros e lavatórios.

Sistema de abastecimento

O dimensionamento do sistema de abastecimento de águas cinzas será realizado de acordo com NBR 5626 (1998), onde o diâmetro de recalque será dado pela Equação 6:

$$D_{rec} = 1,3 * X^{0,25} * \sqrt{Q_{rec}} \quad (6)$$

Onde:

X = Número de horas que a bomba funcionara por dia/24

$$Q_{rec} = \text{Vazão de recalque} = Cd/Nh \quad (7)$$

Onde:

Cd = Consumo diário

Nh = Número de horas que a bomba funciona por dia

Dispondo do dimensionamento do diâmetro de recalque, o diâmetro de sucção é o diâmetro mais próximo e maior que o da tubulação de recalque (NBR 5626, 1998).

O dimensionamento da potência do motor bomba é obtido de acordo com a Equação 8:

$$Pot = \frac{\gamma \times Q_{rec} \times H_m}{75 \times N} \quad (8)$$

Onde:

Pot = Potência do motor bomba

Qrec = Vazão de recalque

N = Rendimento do motor

γ = Peso específico do fluido

Hm = Altura manométrica, calculada pela Equação 9.

$$H_m = H_{gs} + \Delta h_s + H_{gr} + \Delta h_r \quad (9)$$

Onde:

Hgs = Altura de sucção

Hgr = Altura de recalque

Δhr = Perda de carga de recalque, obtida pela Equação 10.

$$\Delta hs = J_u \times L \quad (10)$$

Onde:

L = Comprimento de recalque + comprimento equivalente das peças de recalque

J_u = Perda de carga unitária, calculada pela Equação 11.

$$J_u = 8,69 \times 10^5 \times Q^{1,75} \times D_{int}^{-4,75} \quad (11)$$

Onde:

D_{int} = Diâmetro interno da tubulação em milímetros.

$Q = 0,3 \times \sqrt{\sum Pr}$, sendo Pr o Peso relativo das peças hidráulicas que serão atendidas.

A verificação de pressão de montante é realizada por meio da Equação 12.

$$P_{jus} = P_{mon} \pm \Delta H - J$$

(12)

Onde:

ΔH = Variação de altura

P_{mon} = Pressão montante, vista que no ponto 0 = 0

J = Perda de carga

O cômputo da velocidade da água é obtida por meio da Equação 13.

$$V = \frac{4000 \times Q}{\pi \times D_{int}^2} \quad (13)$$

Onde:

Q = Vazão

D_{int} = Diâmetro interno

Análise da viabilidade econômica

A análise foi realizada a partir de comparativos da quantidade de água consumida na edificação com e sem

o sistema de reuso de águas cinzas e com a realização do orçamento do sistema de tratamento através de planilhas SINAPI e ORSE, sendo obtidos os valores economizados com o sistema e os comparando com o valor do orçamento do sistema, dispondo do resultado de quanto tempo será necessário para que o valor do orçamento seja retornado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dimensionamento do projeto

As áreas onde as águas cinzas serão utilizadas após o tratamento, conforme a Tabela 3 são: Pátio de serviço, desembarque de animais e circulação externa, juntas somando uma área de 421,43 m², consumindo 2 l/m² (SILVA, 2019) e sendo considerado que os pisos serão lavados 2 vezes ao mês, o que resulta em 1,69 m³/mês. Os jardins somam uma área de 1112,66 m², com um consumo de 3 l/m² (SILVA, 2019) e uma frequência de rega de 15 vezes no mês, resultando em 50,07 m³/mês, logo, a demanda total de águas cinzas da edificação é de 51,76 m³/mês.

Para os cálculos a seguir, considerou-se a utilização do lavatório por um tempo médio de 0,233 minutos, com uma vazão de aproximadamente 8,27 litros por minuto, e a do chuveiro com tempo médio de utilização de 10 minutos, vazão de 20 litros por minuto (PERSONA E MANDELLI, 2012). Considerou-se também que a frequência de lavagem de mãos diárias é de aproximadamente 16 vezes por pessoa, já o chuveiro é utilizado com uma frequência diária de 1,5 vezes por pessoa (GONÇALVES, 2006).

Sabendo que a Escola Hospital Veterinário funciona 3 turnos diários, e que cada aluno frequenta apenas 1 dos turnos, tem-se que as frequências de utilização serão divididas por 3, resultando em uma frequência diária de 5 vezes para lavagem de mãos e 0,5 vezes para uso do chuveiro, com os dados apresentados aplicados na Equação 1 tem-se o desenvolvimento do problema na Tabela 2.

Tabela 2 – Volume gerado de águas cinzas.

Peça hidráulica	Quantidade de água cinza gerada (l/dia)
Chuveiro	$Q_{ch} = 60 \times Q \times T \times F$ $Q_{ch} = 60 \times 20 \times 10 \times 0,5$ $Q_{ch} = 6000$
Lavatório	$Q_{lv} = N \times Q \times T \times F$ $Q_{lv} = 60 \times 8,27 \times 0,233 \times 5$ $Q_{lv} = 578,1$
Total (m³/mês)	131,562

Fonte: Autoria própria.

A captação e condução das águas cinzas até o sistema de tratamento e armazenamento serão realizadas através da tubulação dimensionada pelo método do número de Hunter de contribuição, segue na Tabela 3 os diâmetros nominais mínimos de descarga e tubo de ventilação, na Figura 3 a localização dos pontos de coleta, na Tabela 4 o dimensionamento dos ramais de esgoto de cada ponto e na Tabela 5 o dimensionamento dos subcoletores.

Tabela 3 – Diâmetro nominal mínimo de descarga e tubo de ventilação.

Peça hidráulica	Número de Hunter	Diâmetro nominal mínimo de descarga (mm)	Diâmetro nominal mínimo do tubo de queda (mm)
Chuveiro	4	40	40
Lavatório	1	40	40

Fonte: Adaptado de (NBR 8160, 1999).

Figura 3 – Localização dos pontos de coleta.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Dimensionamento dos ramais de esgoto.

Ponto	Aparelhos	Número de Hunter	Diâmetro Nominal (mm)
1	Quatro Pias Dois Chuveiros	12	75
2	Quatro Pias Dois Chuveiros	12	75
3	Cinco Pias	5	50
4	Quatro Pias	4	50
5	Quatro Pias Dois Chuveiros	12	75
6	Uma Pias	1	40
7	Oito Pias Dois Chuveiros	16	75

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Dimensionamento dos subcoletores.

Número de Hunter	Diâmetro Nominal (mm)
62	100

Fonte: Autoria própria.

Para dimensionamento do filtro de areia, a taxa de aplicação para cálculo da área superficial do filtro de areia deve ser limitada a 100 L/dia.m² (NBR 13969, 1997). Por meio da Eq. 3, chegou ao resultado do diâmetro de 9,15m.

As camadas de areia grossa com diâmetro de 0,093 mm podem ser empregadas com camadas de 25 cm a 100 cm, sendo adotado por questão de segurança a camada de 100 cm, a próxima camada é composta por brita 1, dispondo de uma espessura de 10 cm e em seguida uma camada de brita 4, possuindo uma espessura de 20 cm (TONETTI, 2005).

A obtenção do volume da fossa séptica será realizada de acordo com a Equação 4, sabendo que $N = 60$, $C = 50$, de acordo com os dados obtidos e com a NBR 7229, 1993 $T = 0,67$, $K = 5$, $L_f = 0,2$, dessa forma, chega-se num volume de 3.070l.

O volume útil do filtro anaeróbio é calculado de acordo com a Equação 5, considerando $N = 60$, $C = 50$, e $T = 0,58$, de acordo com a NBR 13969, assim, chegou-se ao volume de 2.784l.

Para o dimensionamento do reservatório, utilizou-se o volume útil do filtro vezes a quantidade de dias disponíveis em um mês, logo, 30×2784 , resultando em 83.520l, dessa forma, o reservatório terá $4 \times 8 \times 2,91\text{m}$. A localização escolhida foi ao lado do bloco D, possuindo uma tampa de acesso pré-moldada de 85×85 cm.

Para o abastecimento de águas cinzas, utilizou-se uma caixa d'água com volume de 5m^3 , distribuindo para os pontos de utilização de águas cinzas. O dimensionamento do conjunto motor-bomba foi realizado adotando um tempo diário de funcionamento de 6 horas e uma demanda do consumo diário máximo de água não potável de 4.180,84l. Utilizou-se a Eq. 7 para o cômputo da vazão de recalque, chegando-se ao valor de 696,81l/h ou 0,193 l/s.

Com os dados obtidos, o diâmetro de recalque foi dimensionado de acordo com a Equação 6, resultando em 12,78mm com arredondamento para o diâmetro maior e mais próximo temos 20 mm para o sistema de recalque, sendo utilizado para o sistema de sucção por norma o mais próximo e superior diâmetro comercial, sendo adotado 25mm para sucção.

Para resolver a Equação 9 foi necessário as alturas de recalque e sucção, sendo elas 5m e 3m respectivamente, a perda de carga de sucção e recalque serão encontradas pela Equação 10. O valor das perdas de carga - J_u foram obtidas com auxílio da Tabela 6, sabendo dos diâmetros de recalque e sucção e da vazão.

Logo, chegou-se nos valores $J_u = 0,02456$ e $J_u = 0,0808$ para sucção e recalque, respectivamente.

Os comprimentos e peças utilizadas no sistema de sucção e recalque são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Comprimentos sistema motor-bomba.

Sistema	Comprimento da tubulação	Peças hidráulicas	Comprimento equivalente	Comprimento Total (m)
Recalque	5,5	Joelho 90° (2)	2,4 (m)	7,9
Sucção	5,2	Joelho 90° (2)	3 (m)	8,2

Fonte: Autoria própria.

Dispondo das perdas de carga unitária e aplicando os valores obtidos na Tabela 7, na Equação 10, tem-se $\Delta h_s = 0,2\text{m}$ e $\Delta h_r = 0,638\text{m}$.

Com os dados obtidos e aplicados na Equação 9, tem-se $H_m = 8,84\text{m}$. Com dos dados obtidos, chega-se ao cálculo da potência do conjunto motor-bomba a partir da Equação 8, resultando em uma potência de $0,045\text{cv}$, sendo adotada uma bomba com potência comercial de 1cv .

Tabela 7 – Perda de carga unitária.

Diâmetro	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)	Q(l/s)	J(m/m)
12 mm	0,0 20	0,03 96	0,0 30	0,07 832	0,0 40	0,12 823	0,0 60	0,18 88	0,0 70	0,25 96	0,0 80	0,34 045	0,0 90	0,43 126	0,1 00	0,53 19	0,11 00	0,64 22
16m m	0,0 50	0,02 35	0,0 70	0,04 686	0,1 00	0,07 709	0,1 20	0,01 39	0,1 40	0,15 70	0,1 70	0,20 633	0,1 90	0,26 18	0,2 20	0,32 33	0,24 00	0,39 08
20m m	0,0 80	0,01 65	0,1 20	0,03 308	0,1 60	0,05 459	0,2 10	0,08 08	0,2 50	0,11 17	0,2 90	0,14 682	0,3 30	0,18 658	0,3 70	0,23 05	0,41 00	0,27 88
25m m	0,1 30	0,01 22	0,2 00	0,02 456	0,2 60	0,04 062	0,3 30	0,06 02	0,3 90	0,08 33	0,4 60	0,10 971	0,5 20	0,13 946	0,5 90	0,17 25	0,65 00	0,20 88
32m m	0,2 20	0,00 88	0,3 20	0,01 782	0,4 30	0,02 955	0,5 40	0,04 39	0,6 50	0,06 08	0,7 50	0,08 012	0,8 60	0,10 194	0,9 70	0,12 62	1,08 00	0,25 28
40m m	0,3 30	0,00 66	0,5 00	0,01 349	0,6 70	0,02 242	0,8 30	0,03 33	1,0 00	0,04 62	1,1 70	0,06 099	1,3 40	0,07 765	1,5 00	0,09 62	1,67 00	0,11 65
50m m	0,5 20	0,00 50	0,7 80	0,01 016	1,0 50	0,01 691	1,3 10	0,02 52	1,5 70	0,03 50	1,8 30	0,04 66	2,0 90	0,05 881	2,3 50	0,07 29	2,61 00	0,08 84
63m m	0,8 30	0,00 37	1,2 40	0,00 76	1,6 60	0,01 267	2,0 70	0,01 89	2,4 90	0,02 63	2,9 00	0,03 47	3,3 20	0,04 424	3,7 30	0,05 49	2,15 00	0,06 65
75m m	1,1 80	0,00 30	1,7 80	0,00 608	2,3 70	0,01 016	2,9 60	0,01 52	3,5 50	0,02 11	4,1 50	0,02 789	4,7 40	0,03 557	5,3 30	0,04 41	5,92 00	0,05 35

Fonte – Editada de Suzuki (2015).

Para torneiras de jardins, a vazão é de 0,2 l/s e o peso relativo é de 0,4 (NBR 5626, 1998), sendo utilizada uma tubulação com diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegadas, equivalente a 20 mm, com a verificação de velocidade (Equação 13) e pressão (Equação 12) que a água chega até o ponto de utilização, dispondo dos dados necessários na Tabela 8.

Tabela 8- Comprimentos sistema distribuição.

Ponto de utilização	Comprimento da tubulação	Peças hidráulicas	Comprimento equivalente	Comprimento Total
1	43,47 (m)	Entrada de borda (1) Registro gaveta (1) Tê saída lateral (1) Joelho 90° (2)	1 (m) 0,2 (m) 2,4 (m) 2,4 (m)	49,47 (m)
2	62,1 (m)	Entrada de borda (1) Registro gaveta (1)	1 (m) 0,2 (m) 2,4 (m) 7,2 (m)	70,9 (m)

		T saída lateral (1) Joelho 90° (6)		
3	52,94 (m)	Entrada de borda (1) Registro gaveta (1) Tê passage m direta (1) Joelho 90° (6)	1 (m) 0,2 (m) 0,8 (m) 7,2 (m)	60,14 (m)

Fonte: Autoria própria.

Com os dados obtidos até o presente e, utilizando as equações 12, 13 e 14, chega-se aos resultados expostos na Tabela 9, verificando que os dados do projeto atendem as condições de pressão e velocidade exigidas pela normatização.

Análise da viabilidade econômica

O orçamento do sistema foi realizado de acordo com as planilhas orçamentárias da SINAPI e ORSE, e resultaram num valor total do projeto orçado em R\$ 33.319,88.

A Compesa cobra uma taxa de R\$ 76,13 para 10 m³ de água por mês e um valor de R\$ 16,13 para cada m³ excedente de 10 m³, com um valor adicional para esgoto de 80% do valor total da água.

Tabela 9 – Verificação sistema de distribuição.

Ponto	Pr	Q	DN	Dint	V	Ju	Lreal	Leq	Ltotal	J	ΔH	Pmon	Pjus
1	0,4	0,19	20	17	0,84	0,07	43,37	6	49,37	3,35	4	0	0,65
2	0,4	0,19	20	17	0,84	0,07	62,1	10,8	72,9	4,95	6	0	1,05
3	0,4	0,19	20	17	0,84	0,07	52,94	9,2	62,14	4,22	6	0	1,78

Fonte: Autoria própria.

A quantidade de água que será economizada mensalmente com o sistema é de 51,76 m³/mês, o que resulta em uma economia de R\$ 1349,49/mês. Contabilizando o tempo de retorno do investimento, chega-se a um valor de 25 meses, conforme Figura 4.

Figura 4 – Análise de custo x benefício.



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

Devido à grande escassez no Agreste Pernambucano, o reuso de águas cinzas causa um amortecimento no desperdício da água e consequentemente na sua poluição, de forma rentável, já que o sistema oferece um retorno do capital investido em 25 meses e após esse tempo tem-se saldo positivo com o uso do sistema.

O sistema fornece dados positivos, não só financeiros, como também em termos ambientais, já que o sistema diminui significativamente a captação para utilização de água para diversos fins na edificação.

A implantação do sistema resulta em um menor despejo em esgotos urbanos, já que as águas que seriam despejadas serão utilizadas na própria edificação, evitando assim um descarte de 51,76 m³/mês.

REFERÊNCIAS

Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC. 2017. *Síntese Climática*. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/arquivos_portal/boletins/Bol etim%20climatico%20-%20Novembro_2017.pdf.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos – projeto e execução*. Rio de Janeiro, 1993.

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

BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. *ÁGUAS DO BRASIL, ANÁLISES ESTRATÉGICAS*. São Paulo 2010: Instituto de Botânica, 2010. 224 p. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>. Acesso em 22 de set. 2019.

CAVALCANTE, G. F. *Implantação de sistemas de uso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em um residencial multifamiliar de pequeno porte*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba). Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/implantacao-de-sistemas-de-uso-de-aguas-cinzas-e-aproveitamento-de-aguas-pluviais-em-um-residencial-multifamiliar-de-pequeno-porte.pdf>. Acesso em: 02 de jun. 2019.

GONÇALVES, R. F. Finep.gov. *Uso Racional da Água em Edificações*. 2006. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Usos_agua_-_final.pdf Acesso em 19 de 09 de 2019.

MENEGATTI, J. fecam., 2016. Disponível em https://static.fecam.net.br/uploads/417/arquivos/875006DimensionamentoFossa_e_Sumidouro.pdf. Acesso em 19 de set. 2019.

OLIVEIRA, E. J.; MOLICA, R. J. A poluição das águas e as cianobactérias. 2017. Disponível em:

<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/195/1/Cartilha%20a%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20das%20C3%81guas%20IFPE.pdf>

PERSONA, G.; MANDELLI, G. Y. Consumo de água nas torneiras dos banheiros da FEEC. 2012. Disponível em:

http://www.ib.unicamp.br/dep_biotologia_animal/sites/www.ib.unicamp.br.site.dep_biotologia_animal/files/5.%20CONSUMO%20DE%20C3%81GUA%20NAS%20TORNEIRAS.pdf Acesso em 19 de set. 2019

SILVA, D. S. *Análise da utilização de um sistema de reuso de águas pluviais e águas cinzas em uma edificação multifamiliar na cidade de Caruaru-PE*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFAVIP/WYDEN).

SUZUKI, R. 2015. *Sistema PEX*. Portal eletrônico. Disponível em:

<https://www.suzuki.arq.br/unidadeweb/aula%2012/aula12.htm>

TONETTI, A. L.; Coraucci Filho, B.; Stefanutti, R.; Figueredo, R. F.; São Pedro, C. C. O. *Revista Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 3, jul./set., Rio de Janeiro, 2005.

Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000300005. Acesso em: 02 de set. 2019.

CAPÍTULO 2



ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DO REUSO DE ÁGUA EM UM LABORATÓRIO EDUCACIONAL EXPERIMENTAL NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Submetido em: 02 de fevereiro de 2020.

Aceito em: 19 de abril de 2020.

Dêivid Santos do Nascimento¹
José Alexandre Neto²
Jeiziel Alves Silva de Assis³
Eduardo Cabral da Silva⁴
Luciana de Omena Gusmão⁵

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. deividsantos157@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. alexandre.jneto@hotmail.com.

³ Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. alvesjeiziel@gmail.com.

⁴ Prof. Dr. do Centro Universitário Unifavip/Wyden. eduardo.csilva@professores.unifavip.edu.br.

⁵ Prof^ª. Ma. do Instituto Multidisciplinar de Alagoas – IMAS. log.gusmao2010@gmail.com.

RESUMO

O reuso de águas é uma técnica de otimização dos recursos hídricos que vem apresentando diversas viabilidades em diversos tipos de empreendimentos e numa grande variabilidade de formas de utilização do efluente tratado. O presente estudo teve por finalidade realizar uma análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação de um sistema de reuso de águas no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, localizado na cidade de Caruaru-PE. Foram realizadas estimativas e medições, afim de mensurar a quantidade de água que está sendo desperdiçada e que pode ser reutilizada por meio de um sistema de reuso, que por sua vez, faz a captação da água e encaminha para um reservatório que foi dimensionado para atender as demandas diárias do laboratório. Foi realizado também o dimensionamento do sistema de reuso tomando por base critérios indicados pela NBR 5626/98, para dimensionamento de tubos, conexões e potência do conjunto motobomba, de forma a atender o sistema com eficiência. Foram obtidos resultados bastante significativos em relação a quantidade de água que está sendo desperdiçada, e que a implantação desse sistema pode ser bastante vantajosa, tanto do ponto de vista econômico, como ambiental. Comprovando assim os benéficos da utilização de um sistema de reuso de água em um empreendimento.

Palavras-chave: Escassez hídrica. Recursos Hídricos. Sustentabilidade.

1 - INTRODUÇÃO

A água é um componente indispensável para a vida. A escassez crescente dos recursos hídricos e o uso inconsequente, vem preocupando a sociedade e os órgãos competentes pelo seu gerenciamento. São lançadas campanhas, são desenvolvidos produtos e são estudadas tecnologias para que esse problema seja contido (SELLA, 2011).

Algumas regiões são mais afetadas com a escassez hídrica devido ao clima, baixos índices pluviométricos e falta de políticas públicas. O Brasil por se tratar de um país de grande extensão, apresenta em seu território diversos tipos de climas.

A região Nordeste do Brasil devido a sua localização, é impactada por quatro principais climas, são eles, Equatorial úmido, semiárido, tropical e Litorâneo úmido (CRUZ et al., 2016). Sendo o clima semiárido caracterizado por ter elevadas temperaturas, baixos índices pluviométricos, além de ter um solo de difícil escavação, dificultando a busca por fontes alternativas como águas subterrâneas. Com isso o semiárido se torna um dos climas que menos dispõe de recursos hídricos.

Dessa forma, é de grande importância saber como aproveitar da melhor maneira possível a pouca quantidade de água que é fornecida pela concessionária e, buscar formas de abastecimento alternativas como, utilização de água de chuva, reuso de águas cinzas e residuais.

A cidade de Caruaru que está localizada no agreste pernambucano, região que tem como clima o semiárido, sofre muito com a escassez hídrica e, para poder manter a população abastecida de água potável. A concessionária que administra os recursos hídricos na cidade de Caruaru realiza com frequência estratégias de racionamento, com vários dias com ausência de água pela concessionária nas residências, comércio e indústrias. Muitas vezes é necessário fazer o uso da opção de comprar água em caminhões pipa, que por sua vez estão indo buscar água em locais cada vez mais afastados, tornando o seu preço dependendo da quantidade necessária para manter o empreendimento bastante cara.

Uma instituição de ensino superior como o Centro Universitário Unifavip/Wyden, precisa suprir as necessidades hídricas de utilização de banheiros, laboratórios, jardins e limpeza em geral, dessa forma a

demanda por água se torna muito grande e com custo elevado.

Existe um elevado consumo de água nos laboratórios de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden com a realização de vários ensaios, e essa grande quantidade de água é descartada em seguida, sendo os efluentes lançados diretamente na rede coletora. Visto isso, quais medidas podem ser tomadas para que diminua esse desperdício de água e, que possa contribuir para uma melhora no sistema de abastecimento da instituição?

Com a realização de um projeto de reuso de águas que captará os efluentes do laboratório de físico-química, será gerada uma grande quantidade de água que quando reaproveitada, irá influenciar significativamente no consumo total de água potável na instituição, diminuindo a quantidade necessária de água a ser adquirida por meio da concessionária. Sendo realizado um estudo onde atestará a viabilidade técnica, econômica e ambiental, do projeto de reuso de águas do laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden.

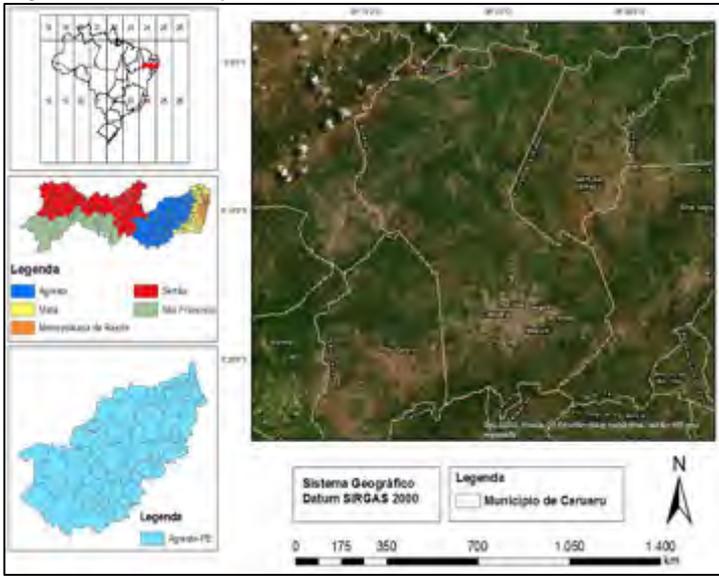
METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Caruaru situa-se no Agreste de Pernambuco (Figura 1), nas coordenadas geográficas Latitude 08° 17' 00" S e Longitude 35° 58' 34" W (Figura 3). Possui uma população estimada de 361.118 habitantes (IBGE, 2019).

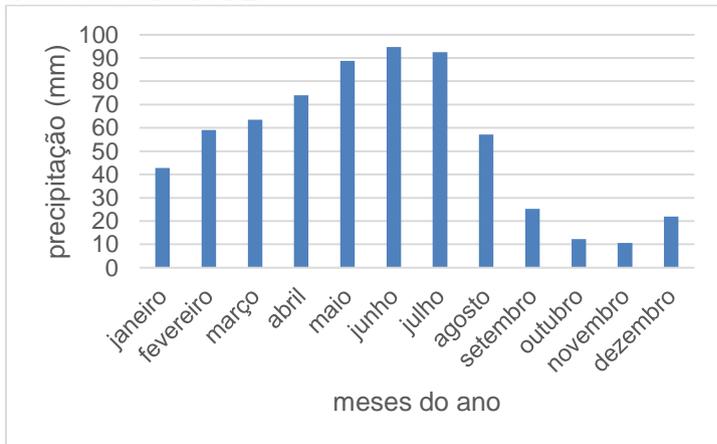
O clima da região é caracterizado como semiárido (CRUZ, 2016). A pluviometria no município de Caruaru apresenta grande variabilidade espaço-temporal e irregularidade interanual (Gráfico 2), o que impacta significativamente, no abastecimento para os usos múltiplos da água (LIMA e SILVA, 2017).

Figura 1. Localização da cidade de Caruaru.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1. Monitoramento dos índices pluviométricos da cidade de Caruaru-PE.



Fonte: Silva (2019).

O Centro Universitário Unifavip/Wyden localiza-se no município de Caruaru na Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru-PE, foi fundado em 2001 e está distribuído em uma área de 15.970,05m², é composto por três blocos, sendo os blocos A e B conjugados e, bloco C independente (Figura 2). A estrutura laboratorial é composta pelos laboratórios de Prática Contábil e Sistema, Enfermagem Dietética, Tecnologia da Construção e Hidráulica Física, assim como, uma ampla biblioteca, um estacionamento, jardins, etc.

Um dos laboratórios do Centro Universitário Unifavip/Wyden, é o laboratório de físico-química (Figura 3), onde são realizados vários ensaios diariamente. Esse laboratório está localizado no térreo do Bloco B e serve como espaço para realização de aulas práticas, pesquisas educacionais e científicas, dispendo de inúmeros equipamentos e aparelhos, como o destilador de água que é o responsável por produzir água destilada para utilização no laboratório de físico-química, trocador de calor utilizado para ensaios e experimentos envolvendo termodinâmica e, o destilador contínuo responsável por experimentos envolvendo destilações

mais complexas através de colunas que fazem um equilíbrio líquido-vapor.

Figura 2. Vista aérea do Centro Universitário Unifavip/Wyden, no Agreste de Pernambuco. Em detalhe a identificação dos blocos A, B e C.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3. Laboratório Experimental Multidisciplinar do Centro Universitário Unifavip/Wyden, no Agreste de Pernambuco.



Fonte: Autoria própria.

Coleta de Dados

Os dados foram coletados obedecendo uma sequência de passos, que foram desde a medição direta da água por meio da leitura do hidrômetro, até o objetivo de verificar a viabilidade, técnica, econômica e ambiental (Figura 4).

Os dados relativos ao volume de água utilizado pelo destilador foram coletados por meio da leitura direta, por meio de hidrômetro (Figura 5). Para os demais equipamentos, foram realizadas estimativas para o cômputo da vazão e, posteriormente, obtido o volume.

Também foi realizada uma entrevista não estruturada com o técnico do laboratório buscando dados para estimar a frequência de utilização de cada equipamento, assim como, o tempo de duração de cada experimento ou aula prática.

Figura 4. Fluxograma da Metodologia utilizada na presente pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5. Hidrômetro instalado para realização da medição da quantidade de água utilizada pelo destilador instalado no laboratório multidisciplinar do Centro Universitário Unifavip/Wyden.



Fonte: Autoria própria.

Dados de medição direta

Ao analisar a planta das instalações hidrossanitárias do bloco B, foi definido o ponto de instalação do hidrômetro. As medições duraram em média 40 minutos, tempo esse suficiente para realizar as medidas e relacioná-las com a finalidade proposta do equipamento e/ou experimento.

A Figura 6 mostra o destilador de água do laboratório de físico-química durante a destilação com o objetivo de quantificar a quantidade de água descartada

pelo extravasor ao longo do processo. Essa medição foi realizada pelo hidrômetro (Figura 5).

Figura 6. Equipamento de destilação de água no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, no Agreste Pernambucano.



Fonte: Autor (2019).

Dados de Estimativa

Tomando por base a NBR 5626 e informações recolhidas junto ao laboratorista, foi possível fazer uma estimativa do volume gerado pelos equipamentos de destilação contínua (Figura 7) e troca de calor (Figura 8) através da Equação 1, que por sua vez ficam cerca de 3 e

4 horas ligados respectivamente, com fluxo de água contínuo saindo de uma torneira de lavatório, para realizar um ensaio, e são realizados cerca de 8 ensaios por ano.

$$V = Q \times t \quad (1)$$

Onde V é o volume, Q é a vazão e t é o tempo que o equipamento está em funcionamento.

Figura 7. Equipamento de destilação contínua no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, no Agreste Pernambucano.



Fonte: Autor (2019).

Figura 8. Equipamento de troca de calor no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, no Agreste Pernambucano.



Fonte: Autor (2019)

Dimensionamento do sistema de reuso

Para dimensionar o reservatório, foi calculado o somatório dos volumes estimados e medido para os equipamentos de destilação contínua, trocador de calor e destilação de água de acordo com a Equação 2. O cômputo resultará no volume total que o reservatório precisará armazenar.

$$V = V_{dc} + V_{tc} + V_{da} \quad (2)$$

Onde V é o volume total, V_{dc} é o volume referente ao equipamento de destilação contínua, V_{tc} é o volume referente ao equipamento de troca de calor, e V_{da} é o volume referente ao equipamento de destilação de água.

O dimensionamento do conjunto motobomba inicia-se por calcular a vazão de recalque, Equação 3.

$$Q_r = \frac{C_d}{h_f} \quad (3)$$

Sendo Q_r a vazão de recalque, C_d o consumo diário em litros e, h_f o tempo de funcionamento da bomba em segundos.

Após o cálculo da vazão de recalque, foi possível calcular o diâmetro da tubulação de recalque Equação 4.

$$D_r = 1,3 \times X^{1/4} \times \sqrt{Q_r} \quad (4)$$

Sendo, D_r o diâmetro da tubulação de recalque, X a quantidade de horas que a bomba ficará ligada por dia e, Q_r a vazão de recalque.

Dessa forma, foi possível encontrar o diâmetro da tubulação de sucção, que de acordo com a NBR 5626/98,

é recomendável utilizar o diâmetro comercial imediatamente acima.

O passo seguinte foi o cálculo da perda de carga distribuída através da expressão de Fair-Whipplehs para tubos lisos Equação 5 e localizada Equação 6.

$$J_{\text{dist.}} = 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times D^{-4,75} \quad (5)$$

Sendo, $J_{\text{dist.}}$ o valor da perda de carga distribuída ao longo da tubulação, C é o coeficiente de rugosidade da tubulação, D é o diâmetro da tubulação e, Q é o valor da vazão.

$$J_{\text{loc.}} = \sum Le + L \quad (6)$$

Sendo, $J_{\text{loc.}}$ o valor da perda de carga localizada, Le é o somatório dos comprimentos equivalentes das conexões e, L é o comprimento da conexão em metros.

Assim foi possível calcular o valor da perda de carga total através da Equação 7.

$$J_{\text{total}} = J_{\text{dist.}} \times J_{\text{loc.}} \quad (7)$$

Com isso foi calculada a altura manométrica para as tubulações de sucção e recalque Equação 8, assim como a altura manométrica total Equação 9.

$$H_{\text{manométrica}} = H_{\text{geométrica}} + J_{\text{total}} \quad (8)$$

$$H_{\text{manométrica total}} = H_{\text{man. de sucção}} + H_{\text{man. de recalque}} \quad (9)$$

O cálculo da potência da bomba é feito através da Equação 10.

$$P = \frac{\gamma \times Q_r \times H_m}{75 \times \eta} \quad (10)$$

Sendo, γ o peso específico da água, Q_r é a vazão de recalque, H_m é a altura manométrica e, η é o rendimento da bomba.

Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental

Foi realizado um orçamento de acordo com os dados encontrados no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI e EMLURB pelo qual foi possível analisar os custos

envolvidos na implantação do projeto de reuso, podendo assim analisar o tempo e o valor necessário para custear o investimento e começar a ter ganhos financeiramente.

Realizou-se uma análise do local para descobrir o sistema de abastecimento, se ocorrerá por gravidade ou por meio de conjunto motobomba, assim como, uma investigação para possíveis locais de implantação de um reservatório que armazenará a água.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Cômputo da demanda

Por meio de uma estimativa, foi calculado o consumo dos equipamentos de destilação contínua e troca de calor, que resultaram em um volume de 1,62m³ e 2,16m³, respectivamente por ensaio, são realizados 8 ensaios em média por ano no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, resultando em um volume de 30,24m³ por ano como pode ser visto na (Tabela 1).

Para o equipamento de destilação de água, foi realizado um teste para produzir 5 litros de água destilada, que durou 40 minutos, e resultou em um

desperdício de 110 litros de água. São utilizados em média 40 litros de água destilada por semana no laboratório de físico-química do Centro Universitário Unifavip/Wyden, dessa forma tem-se uma estimativa de 10 meses de funcionamento por ano, sendo os meses com 4 semanas, resultando em uma necessidade de 1,6m³ de água destilada por ano, conseqüentemente tem-se um desperdício de 35,2m³ por ano, totalizando uma demanda total para esse equipamento de 36,8m³ por ano.

Tabela 1. Estimativa do volume de água gasto pelos equipamentos.

Equipamento	Método	Volume (m³)
Destilador de água	Medição direta (hidrômetro)	36,8
Trocador de calor	Estimativa	17,28
Destilador contínuo	Estimativa	12,96

Fonte: A autoria própria.

Dessa forma, ao somar o consumo de água dos três equipamentos, tem-se uma demanda de 67,04m³ por ano, sendo 65,44m³ de água que não é reaproveitada, um volume significativo de água que pode ser reaproveitada.

Armazenamento da Água

Considerando que os três equipamentos sejam ligados no mesmo dia, a soma do volume de água que passa pelos equipamentos resultará no consumo máximo diário de 3,964m³. Dessa forma o reservatório adotado para atender essa demanda será um reservatório de concreto enterrado com capacidade para armazenar 4000 litros de água.

Ao analisar o terreno e a disposição dos equipamentos dentro do laboratório, foi visto que o melhor local para a implantação do reservatório seria atrás do laboratório de físico-química (Figura 9), próximo a uma das torneiras do laboratório, que será utilizada para realização dos ensaios de destilação simples e troca de calor.

Figura 9. Local indicado para implantação do reservatório.



Fonte: Autoria própria.

Sistema de abastecimento

O sistema de abastecimento contará com um reservatório de 4000 litros, que irá realizar a distribuição da água através do ramal de distribuição e dos sub-ramais, para os pontos de utilização dos equipamentos.

Para fazer o recalque dessa água, o sistema contará com o auxílio de 2 conjuntos motobomba, sendo um principal e outro reserva para o caso de ocorrer algum

problema com o principal o sistema continuar funcionando.

Para o dimensionamento do conjunto motobomba, foi considerado o consumo máximo diário que é de $3,964\text{m}^3$ e o tempo máximo estimado para a realização do ensaio mais demorado que é de 4 horas, resultando em uma vazão de $0,991\text{m}^3/\text{h}$.

$$Qr = \frac{3,964\text{m}^3}{4 \text{ horas}} \quad Qr = 0,991 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Após o cálculo da vazão, foi dimensionado o diâmetro da tubulação de recalque $13,78\text{mm}$, adotando diâmetro comercial de 15mm e 20mm para a tubulação de sucção que é o diâmetro imediatamente após.

$$Dr = 1,3 \times \left(\frac{4}{24}\right)^{\frac{1}{4}} \times \sqrt{\frac{0,991\text{m}^3}{3600\text{s}}} \quad Dr = 13,78\text{mm}$$

Dessa forma foi feito o cálculo da potência da bomba, iniciando pelo cálculo da perda de carga.

$$Jdist = 8,69 \times 10^6 \times 0,275^{1,75} \times 15^{-4,75}$$

$$Jdist = 0,00235\text{m}/\text{m}$$

Para a tubulação de recalque teve um valor de 0,00235m/m de perda de carga distribuída.

$$J_{dist} = 8,69 \times 10^6 \times 0,275^{1,75} \times 20^{-4,75}$$

$$J_{dist} = 0,0006m/m$$

Para a tubulação de sucção foi obtido um valor de 0,0006m/m de perda de carga distribuída.

A perda de carga localizada de recalque e sucção foram, 31,5m/m e 10,5m/m respectivamente.

Com isso foi possível calcular a perda de carga total para as tubulações de recalque e de sucção.

$$J_{total} = 31,5 \times 0,00235 \quad J_{total} = 0,07m$$

Para a tubulação de recalque o valor obtido foi um valor de 0,07m/m de perda de carga total.

$$J_{total} = 10,5 \times 0,006 \quad J_{total} = 0,0063m$$

Após o cálculo da perda de carga total, foi possível calcular o valor da altura manométrica.

$$Hm = 1,20 + 0,07$$

$$Hm = 1,27m$$

Para a tubulação de recalque foi calculado um valor de 1,27m de altura manométrica.

$$Hm = 1,00 + 0,0063$$

$$Hm = 1,0063$$

Para a tubulação de sucção o valor obtido foi 1,0063m de altura manométrica.

Assim, ao somar o valor da altura manométrica de recalque com a altura manométrica de sucção, obteve-se um valor de 2,2763m.

Então, com o valor da altura manométrica encontrado, foi possível calcular a potência da bomba a ser implantada no sistema.

$$Pot = \frac{1000 \times 0,991 \times 2,2763}{75 \times 70}$$

$$Pot = 0,43cv$$

Considerando um valor de 70% para o rendimento da bomba, foi encontrado um valor de 0,43cv, isso significa que a bomba necessária para atender ao sistema deve ter uma potência de 0,5cv.

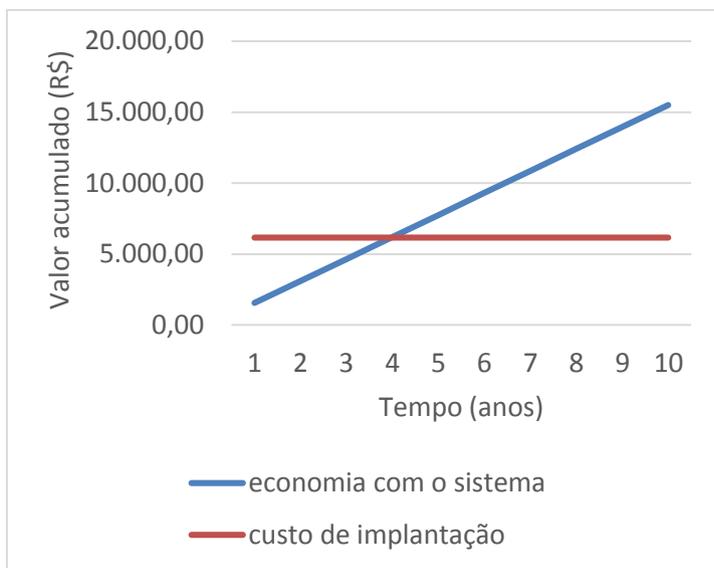
Viabilidade Econômica

Com a realização do orçamento por meio de algumas tabelas de referência, o valor encontrado para a realização deste sistema foi de R\$ 6.164,10 (seis mil cento e sessenta e quatro e dez centavos), conforme o apêndice A.

Ao analisar os dados, temos que, o consumo anual de água potável para realização dos ensaios é de 67,04 m³, em média 5,59m³ por mês e que de acordo com as tarifas da COMPESA em Agosto/2019, até 10 m³/mês a taxa é de R\$ 64,84 e acima de 10 m³/mês a taxa é de R\$ 12,85, dessa forma o valor gasto com água potável é de R\$ 71,83, e a taxa de esgoto é de 80% do valor da água, resultando em um valor de R\$ 57,47, dando um total mensal de R\$ 129,3.

O que torna a implantação do sistema uma economia, e em um ano o acumulado é de R\$ 1.551,6, dessa forma o tempo de retorno do investimento é de 3,97 anos como mostra o (Gráfico 3).

Gráfico 2. Relação Custo x Benefício.



Fonte: Autoria própria.

Com o sistema em funcionamento tem-se uma economia ao final de 10 anos que chega a ser mais que o dobro do investimento inicial para implantação.

Além da economia, a geração de efluentes é mínima com o sistema de reuso, pois, a água que é utilizada nos equipamentos retorna quase 100% para o reservatório, sendo seu desperdício praticamente nulo, o que ambientalmente é bastante viável.

CONCLUSÃO

Tendo em vista que a água é um dos bens mais preciosos que existem e que sua quantidade com qualidade, vem a cada ano diminuindo devido a vários fatores, dentre eles o desperdício e a falta de manejo adequado. Um sistema como esse, pode diminuir a demanda de água potável e a quantidade de efluentes produzidos pela instituição, consequentemente gerando menos poluição e mais economia.

O sistema mostrou-se bastante viável e com um retorno financeiro em menos de 4 anos, um prazo consideravelmente curto e, na qual a etapa mais onerosa do sistema é a instalação das bombas, com quase 50% do valor total orçado para implantação do sistema.

Além do retorno financeiro rápido o sistema contribui com uma menor geração de efluentes, pois apesar da água não ser misturada a nenhum poluente na realização dos ensaios, a mesma é descartada e despejada na rede coletora, havendo um grande desperdício de água potável.

Esse estudo teve uma grande importância, pois também ajudou na conscientização das pessoas que o ato

de ser sustentável e se preocupar com a natureza e buscar por fontes alternativas e inovadoras de reuso de águas, além de ser excelente para o meio ambiente, também pode ser bastante vantajoso financeiramente.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626 1998. *Instalação predial de água fria*, [S. l.], p. 1-41, SETEMBRO 1998.

ALMEIDA, O. A. *Qualidade da Água de Irrigação*. 1. ed. Cruz das Almas-BA: Embrapa, dezembro 2010. 218 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. *GEO Brasil: Recursos Hídricos*, [s. l.], janeiro 2007.

Agência Nacional de Águas - ANA. *Divisões hidrográficas do Brasil*. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy_of_divisoes-hidrograficas. Acesso em: 28 dez. 2019.

BEZERRA, L. V. *PROJETO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM HABITAÇÕES MULTIFAMILIARES NA CIDADE DE CARUARU – PE*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) - CENTRO UNIVERSITÁRIO DO VALE DO IPOJUCA, Caruaru, 2018.

BRAGA, R. G.; UBERTO JÚNIOR, L. AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA O REUSO DE ÁGUA CINZA EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ. In: *XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS*, [S. l.], ano 2016, p. 1-8, 21 set. 2016.

CARVALHO, N. L. *Reutilização de águas residuárias*. Monografias Ambientais, [S. l.], ano 2014, v. 14, n. 2, p. 3164-3171, 12 mar. 2014.

CAVALCANTE, K. B. *O Uso de Água Residuais e as Vantagens de sua Aplicação na Agricultura*. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Biologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

CEREZINI, M. T. GESTÃO SUSTENTÁVEL E INTEGRADA DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: 20 ANOS DA LEI DAS ÁGUAS NO BRASIL. *CAMINHOS DE GEOGRAFIA*, SP, ano 2017, v. 18, n. 64, p. 159-168, 20 dez. 2017. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40924/21649>. Acesso em: 3 set. 2019.

COMPESA. *Lei nº 11.445/2007, de 15 de janeiro de 2007*. [S. l.], ano 2007, v. 1, p. 1-20, 15 jan. 2007.

CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 56, 2016, Belém/Pará. *O TRATAMENTO DE ÁGUA: IMPORTÂNCIA E APLICAÇÃO DE SUA REUTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA [...]*. [S. l.: s. n.], 2016.

CORDEIRO, R. B. Purificação e reutilização de águas residuárias da produção de biodiesel por meio da eletrofloculação. *Revista Ecogestão Brasil*, 2015, v. 2, n. 2, p. 51-58, 30 jun. 2015.

CRUZ, M. S. Avaliação da estimativa de precipitações para diferentes modelos globais de clima (GCM) na região Nordeste do Brasil. *In: XIII SIMPÓSIO DE*

RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, Aracaju, p. 1-10, 8 nov. 2016.

LAZZAROTTO, P. R. *REUSO DE ÁGUAS CINZAS: IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM UM PREDIO RESIDÊNCIAL*. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LIMA, F. A.; SILVA, E. C. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM UM TRECHO DA BACIA DO IPOJUCA. In: *Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017*. Fortaleza (CE) DeVry Brasil - Damásio - Ibmec, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/45042-VARIABILIDADE-ESPACO-TEMPORAL-DA-PRECIPITACAO-PLUVIAL-EM-UM-TRECHO-DA-BACIA-DO-IPOJUCA>>. Acesso em: 02/12/2019 13:16

LUCENA, C. O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. *REGNE*, RN, ano 2018, v. 4, n. Especial, 10 nov. 2018. *E-book*.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Marina Silva. *RESOLUÇÃO No 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005*. [S. l.], 9 mar. 2006.

SALLE, M. B. *Reuso de águas cinzas: Avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências*. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de diplomação engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SANT'ANA, D. *Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações*. 2017. 79 f. - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2017.

SILVA, F. C. *Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas*. Orientador: António João Carvalho de Albuquerque. 2015. 490 f. Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas (Tese para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR, Covilhã, 2015.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. A. B., QUADROS, F. GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS COMO POLÍTICA DE GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS NO BRASIL. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, Santa Maria, ano 2017, v. 10, ed. 1, p. 101-115, jan/mar 2017.

SILVA, T. L. *AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL TÊXTIL POR REAGENTE FENTON*. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR – MG, [S. l.], 2017.

SOUSA, I. E. *Métodos de eliminação de fármacos e seus metabolitos ao nível das Estações de Tratamento de Águas Residuais*. Orientador: Alberto Teodorico Correia. 2015. 60 f. Métodos de eliminação de fármacos e seus metabolitos ao nível das Estações de Tratamento de Águas Residuais (Mestre em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2015.

CAPÍTULO 3



VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZAS EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

DOUGLAS DOS SANTOS SILVA¹
EDUARDO CABRAL DA SILVA²
LUCIANA DE OMENA GUSMÃO³

RESUMO

A captação e o aproveitamento de águas pluviais e cinzas propiciam inúmeros benefícios, desde a economia de água tratada, a minimização de enchentes nas áreas urbanas até a redução da poluição dos corpos hídricos. Dessa forma, este estudo dimensionou um sistema de captação, tratamento e armazenamento de águas pluviais e cinzas do Edifício Belleville, na cidade de Caruaru, Pernambuco. Para realização do projeto e dimensionamento do sistema, foi realizado o levantamento de dados através da análise de projeto do edifício e visitas *in loco*, bem como a verificação das principais variáveis necessárias para o desenvolvimento do projeto. O método utilizado para a determinação do

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. douglas_dsantoss@hotmail.com.

² Prof. Dr. do Centro Universitário Unifavip/Wyden. eduardo.silva@unifavip.edu.br.

³ Prof^ª. Ma. do Instituto Multidisciplinar de Alagoas – IMAS.

volume de água pluvial a ser armazenado, baseou-se na NBR 15527/2007, através do método de Rippl, no intuito de promover a regularização do abastecimento e economia de água tratada nas finalidades de lavagem de pisos e irrigação de jardins. Através da metodologia utilizada foi possível quantificar a demanda de água tratada utilizada nas atividades não potáveis e o custo associado a esses usos, como também a proposta de implantação de uma rede de distribuição da água não tratada. A proposta apresentou resultados satisfatórios visto sua viabilidade técnica e econômica do projeto, o qual tem previsão de retorno do investimento em 3,5 anos.

Palavras-chave: Captação de água pluvial. Método de Rippl. Reuso de água cinza. Escassez hídrica

INTRODUÇÃO

A água é um bem natural renovável e disponível de forma abundante na natureza, mas isso tem levando seu uso de forma irregular, e como consequência tem aumentado gradativamente sua escassez. Conforme (VON SPERLING, 2005), a água está disponível em grande quantidade no planeta, sendo que 97,0% deste recurso é salgada e, apenas 3,0% é doce. Dos 3,0% de água doce encontrada na Terra, 68,9% compõem as geleiras, 29,9% são águas subterrâneas, 0,9% estão

presente nos solos e pântanos e, apenas 0,3% compõem os rios e lagos.

O território brasileiro abriga uma grande concentração de recursos hídricos superficiais do planeta, com aproximadamente 12,0%. Porém essa distribuição é bastante irregular ao longo do território de dimensões continentais e com grandes heterogeneidades climáticas e geográficas (ANA, 2018).

A poluição dos corpos hídricos, o desmatamento, o aumento da população e as falhas no processo de captação e distribuição da água tem agravado a escassez hídrica. Dessa forma, surgiu uma importante necessidade de se economizar água, e assim o reuso de águas. Sendo auxiliado pelas novas tecnologias, que têm sido desenvolvidas no sentido de minimizar o uso da água, gerenciar melhor os recursos hídricos e reduzir o impacto das águas descartadas no sistema de drenagem.

O nordeste brasileiro é a região que mais sofre com a escassez de água, pois passa por constantes e longos períodos de seca, devido a irregularidades no regime pluviométrico. Sendo constante o número de cidades dessa região declararem situação de emergência por causa da seca.

Essa situação afeta toda a população, que usa a água como recurso indispensável para as tarefas diárias, bem como a agricultura e a indústria. Atualmente, por exemplo, a Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) adotou um rodízio para o abastecimento da cidade de Caruaru, que conta hoje com 5 dias com água e 10 dias sem água nas torneiras, sendo o abastecimento da cidade dividido em trechos.

No município de Caruaru, as águas da chuva são jogadas diretamente na rede de coleta pluvial ou em córregos próximos as edificações, bem como o esgoto, que vai direto para a rede de saneamento, onde é despejado nos cursos d'água sem nenhum tratamento.

Visto essas situações, será viável, economicamente e tecnicamente, a instalação de um sistema de captação, transporte, tratamento e armazenamento de águas pluviais e cinzas para réus/o em fins menos nobres?

A água é um bem essencial para a sobrevivência, sendo necessário um uso consciente, bem como seu armazenamento, transporte e distribuição. Tendo em vista o problema da crise hídrica, a redução dos mananciais de abastecimento e os rodízios de divisão de

água, a instalação de sistemas de reuso de águas torna-se uma alternativa bastante atraente.

Alguns empreendimentos residenciais e industriais possuem grandes áreas de captação de águas pluviais, como seus telhados, áreas cobertas ou impermeáveis. Da mesma forma, a captação de águas cinzas, através do uso de máquinas de lavar roupas, produzem um grande volume de efluente. Favorecendo a concepção de projetos sustentáveis que são favorecidos pela execução, que não necessitam de grande complexidade e nem de grandes áreas para implantação.

Como benefícios para implantação do sistema, tem-se a redução do uso da água vinda da concessionária e a compra de carros pipa, gerando uma diminuição no valor pago mensalmente com água potável, proporcionando o desenvolvimento da sustentabilidade e mais especificamente a sustentabilidade hídrica através de um consumo racional.

Do ponto de vista ambiental, o sistema também proporciona a redução do lançamento de águas pluviais diretamente nos corpos hídricos ou através da rede de águas pluviais, reduzindo as possibilidades de enchentes. E para as águas cinzas, reduz o lançamento sem

tratamento nos corpos hídricos, contribuindo para a redução da poluição.

Esse trabalho desenvolveu um projeto de reuso de águas pluviais e cinzas com intuito de diminuir o uso de água potável do Edifício Belleville, localizado em Caruaru-PE, melhorando o gerenciamento da água potável, contribuindo com a amortização na drenagem pluvial e diminuindo a poluição dos rios com o lançamento dos efluentes dos esgotos sem tratamento.

Desse modo, foi analisado um sistema para captação e utilização de águas pluviais e águas cinzas como alternativa para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos no Condomínio do Edifício Belleville, localizado na cidade de Caruaru-PE, com a perspectiva da otimização do uso e melhoria no abastecimento.

METODOLOGIA

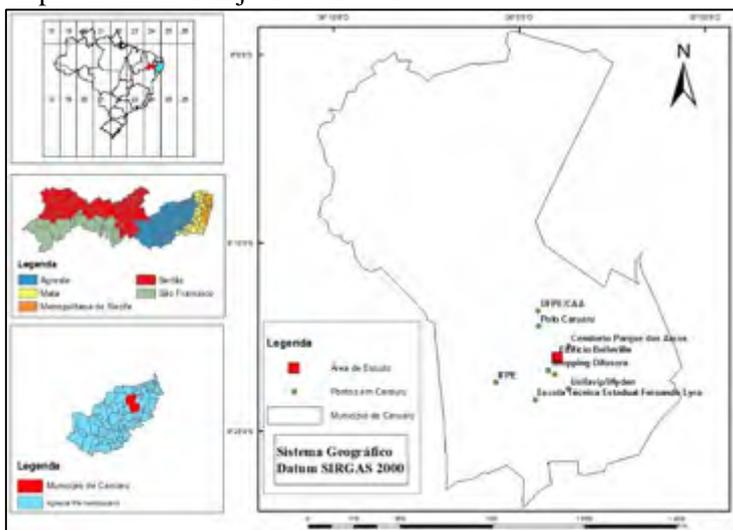
Área de estudo

Caruaru é um município brasileiro do estado de Pernambuco, situado na região Nordeste do país. Pertence à Mesorregião do Agreste Pernambucano. Foi fundada em 1857, sendo uma das primeiras cidades do

Agreste pernambucano. De acordo com o IBGE em 2010 o senso populacional era de 314.912 habitantes. A estimativa em 2018 era de 356.872 pessoas. Caruaru possui uma área territorial de 920,610 km², sendo a mais populosa cidade do interior pernambucano e a terceira mais populosa do interior nordestino.

Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima da cidade de Caruaru é o semiárido, o qual possui verões quentes e secos e invernos amenos e relativamente chuvosos. O índice pluviométrico é de apenas 551,0 milímetros anuais, isso ocorre devido às chuvas orográficas que ocorrem no Planalto da Borborema (entre as cidades de Gravatá e Pombos), que é uma barreira natural impedindo a passagem de chuvas mais intensas no município de Caruaru.

Figura 1 - Localização do município de Caruaru no Agreste pernambucano. Em detalhe, quadrado vermelho, o empreendimento objeto de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Objeto de estudo

O Condomínio do Edifício Belleville está localizado no Bairro Universitário, na Avenida Paris, nº 650, na cidade de Caruaru, com coordenadas geográficas $8^{\circ} 15' 56.8''$ S e $35^{\circ} 57' 49.3''$ W. Possui 28 andares, distribuídos em 4 pavimentos de garagens (Subsolo, Térreo, Vazado 1 e Vazado 2), 23 pavimentos tipos com 8 apartamentos por andar e 1 Salão de Festas na cobertura. Sendo 4 apartamentos com $60m^2$ (Sala e cozinha para dois ambientes, 2 quartos e 2 banheiros) e 4

apartamentos com 40m² (Sala e cozinha para dois ambientes, 1 quarto e 1 banheiro), por andar.

Com uma população de 4 pessoas nos apartamentos de 2 quartos e de 2 pessoas para os apartamentos de 1 quarto, e uma população total de 552 pessoas, possuindo dois reservatórios inferiores com capacidade total de 165.600 l e dois reservatórios superiores com capacidade total de 90.400 l.

Possui um terreno com 2.370m², área de construção de 16.446,90m² e a área de terreno natural de 658,08m². Todo esgoto captado da edificação é lançado na rede de esgoto da concessionária (COMPESA) e a água pluvial é lançada na rua, para o escoamento superficial até o sistema de drenagem urbana.

2.2 Coleta de dados e dimensionamento dos elementos do sistema de reuso

Demanda

Para a determinação da demanda de água não potável utilizada pelo edifício Belleville, foram realizadas análises de projeto para quantificar a área de vegetação a ser irrigada (Jardim 658,00 m²), e a área das garagens (4.824,96 m²) a ser lavada, sendo essas, as

atividades destinadas aos recursos captados das precipitações e das águas das máquinas de lavar, considerando a área total dos 4 pavimentos de garagem e dos jardins para irrigação.

Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados no estudo foram coletados no sítio eletrônico da Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC na escala diária. O posto pluviométrico utilizado no presente estudo é o de código nº 24, localizado na Cidade de Caruaru, com a série de dados disponíveis de abril de 1989 a março de 2019, para compor as séries históricas diárias da cidade de Caruaru. E a partir desses dados obteve-se as médias mensais, conforme mostra o Apêndice A.

Área de contribuição

Para a coleta de dados da área de contribuição, foi necessária análise do projeto do edifício para identificar a área de sua cobertura que é em laje impermeabilizada, bem como as cobertas das casas de gás e lixo, da guarita e ante câmara, e a área do vazado 2 (Garagem) que é

descoberta. Da mesma forma, foi analisado o quantitativo de pontos de máquina de lavar roupa.

As águas cinzas, de acordo com um estudo desenvolvido por New South Wales Health (2002 citado por GONÇALVES et al, 2006b, p. 166), a quantidade aproximada de esgoto bruto produzido em uma habitação pela lavanderia é de 135 L/dia. Possuindo o edifício 184 aptos, tem-se a contabilização desses 184 pontos, como possíveis pontos de captação.

Condutores

Os condutores de águas pluviais serão os mesmos dimensionados no projeto de águas pluviais pertencente ao conjunto de projetos hidrossanitários do edifício, tendo sua alteração no subsolo, que ao invés de ser jogado na rede de coleta urbana de águas pluviais, será conduzido aos tratamentos e armazenamento.

Para os condutores das águas cinzas originadas das máquinas de lavar será executado um sistema de captação de forma individual, sendo dimensionados de acordo com o Método UHC de acordo com a NBR 8160/1999, que considera o tempo de uso de cada aparelho sanitário e o tempo decorrido entre duas

utilizações consecutivas para estimar a vazão de projeto em forma probabilística. Dessa forma, as máquinas de lavar possuem um número de contribuição igual a 3 unidades de Hunter, o diâmetro do tubo de descarga é de 50 mm, conduzido até o tubo de queda também de 50 mm, porque tem uma contribuição máxima de 15 Unidades de Hunter por tubo de descida.

Tratamento da água

O tratamento das águas captadas provenientes das chuvas, de acordo com sua utilização, passará por um sistema de filtração simples para separação de folhas e sólidos de menor diâmetro, através do filtro VF 12, conforme Figura 2. Que é um filtro utilizado para grandes volumes e áreas de telhado de forma simples e autônoma, atendendo áreas de até 3.000 m² de captação, atendendo de forma segura o projeto. Posteriormente, a água é encaminhada para o processo de peneiramento e armazenamento.

Figura 2 - Filtro V12.



Fonte: Acquasave (2019).

Para o tratamento de águas cinzas, de acordo com a literatura, será utilizado um tanque séptico seguido de um filtro anaeróbio, um filtro de areia e uma etapa de desinfecção. Os volumes do tanque séptico e do filtro anaeróbio foram calculados pela quantidade diária máxima de água cinza produzida pelos 15 pontos de captação. Por facilidade de instalação, foi definido que o tanque séptico e o filtro anaeróbio seriam pré-fabricados, para instalação no local, facilitando sua instalação e economia de tempo.

O volume da fossa séptica é calculado pela Equação 1.

$$V_f = 1000 + N(C * T + K * L_f) \quad (1)$$

Onde:

V_f = Volume da fossa séptica;

N = Número de pessoas;

C = Taxa de contribuição (litros/pessoa x dia);

T = Tempo, em dias;

K = Acumulação de lodo digerido (dias);

L_f = Lodo fresco (l/pessoa x dia).

O volume do filtro anaeróbio é calculado pela Equação 2.

$$V_{fa} = 1,6 * C * T \quad (2)$$

Sendo:

V_{fa} = Volume do filtro anaeróbio;

C = Contribuição (litros/pessoa x dia);

T = Números de dias.

Sendo importante observar que entre o tanque séptico e o filtro anaeróbio deve ser previsto um desnível de aproximadamente 0,10 m. E o filtro anaeróbio deve

possuir uma cobertura em laje de concreto, com a tampa de inspeção localizada em cima do tubo-guia para drenagem.

O sistema de cloração adotado será o processo de pastilhas de hipoclorito de cálcio. Sendo a cloração realizada por um clorador flutuante de pastilhas, localizado dentro do reservatório inferior de águas cinzas tratadas.

Armazenamento das águas tratadas

O dimensionamento do reservatório de águas pluviais do edifício Belleville será baseado nos parâmetros utilizados no método de cálculo de Rippl, devido a facilidade na manipulação de dados e a opção da utilização de séries mensais das precipitações. O cálculo do volume se dá pelo acumulado da diferença positiva entre a demanda de água de a vazão da chuva, como mostra nas Equações 3 a 5.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (3)$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad (4)$$

$$V = \Sigma S(t), \text{ para valores } S(t) > 0 \text{ Tendo: } \Sigma D(t) < \Sigma Q(t) \quad (5)$$

Sendo:

$S(t)$ = Volume de água no reservatório no tempo “t” em m^3 ;

$D(t)$ = Demanda no tempo “t” em m^3 ;

$Q(t)$ = Volume de chuva aproveitável no tempo “t”;

V = Volume de água do reservatório m^3 ;

C = Coeficiente de escoamento superficial.

Para o dimensionamento do reservatório das águas cinzas tratadas será calculado considerando o volume diário da captação das máquinas de lavar e a capacidade de tratamento da estação de tratamento, sendo considerado o volume útil, o volume de afluentes do filtro anaeróbio.

Para o reservatório superior será adotado o volume máximo diário, que é de $19,74 m^3$, sendo a caixa d'água instalada no pavimento vazado 2, uma vez que será a partir desse pavimento que a água de reuso será utilizada.

Sistema de abastecimento

Para o dimensionamento e implantação do sistema de abastecimento com água de reuso, foram utilizados os métodos e parâmetros contidos na NBR 5626/1998 – Instalações de Água Fria. Dessa forma, inicialmente, para o dimensionamento das tubulações de sucção e recalque, será calculada a vazão de recalque, utilizando a Equação 6.

$$Q_r = \frac{cd}{h_f} \quad (6)$$

Onde:

Cd = Consumo diário em l;

hf = Tempo de funcionamento da bomba em s.

A partir da obtenção da vazão de recalque, usando a equação de Forchheimer, foi calculado o diâmetro da tubulação de recalque como mostra a Equação 7.

$$D_r = 1,3 \times X^{1/4} \times \sqrt{Q_r} \quad (7)$$

Onde:

D_r = Diâmetro de recalque em m;

Q_r = Vazão de recalque em m^3/s ;

X = Número de horas de funcionamento da bomba.

Com base nisso, o diâmetro da tubulação de sucção e extravasão é definido pelo diâmetro imediatamente superior ao de recalque, conforme recomendações da NBR 5626/1998.

Em seguida, foi realizado o dimensionamento do conjunto motor-bomba, através dos dados da vazão de recalque, eficiência do equipamento e altura manométrica, onde se faz necessário o cálculo das perdas de carga em todo o sistema.

As perdas de cargas distribuídas, ocorrem ao longo de toda a tubulação, de acordo com cada tipo de tubulação e seu respectivo diâmetro, conforme a Equação 8.

$$J_{dist.} = 10,643 \times C^{-1,852} \times D^{-4,87} \times Q^{1,852} \quad (8)$$

Onde:

$J_{dist.}$ = Perda de carga distribuída em m;

C = Coeficiente de rugosidade;

D = Diâmetro da tubulação em m;

Q = Vazão em m^3/s .

As perdas localizadas, existem nas conexões do sistema, onde cada uma delas tem o seu valor determinado da perda de carga, dependendo do seu diâmetro, e usando o método do comprimento equivalente, temos a Equação 9.

$$J_{loc.} = \sum L_e + L \quad (9)$$

Onde:

L_e = Comprimento equivalente da conexão em m;

L = Comprimento da conexão em m.

Em sequência tem-se a perda de carga total, através da Equação 10.

$$J_{total} = J_{dist.} \times J_{loc.} \quad (10)$$

E, a altura manométrica é calculada sabendo-se a perda de carga total do sistema e a altura geométrica, tanto para a sucção como para o recalque, e em seguida calculou-se a altura manométrica total conforme as Equações 11 e 12, respectivamente.

$$H_{manométrica} = H_{geométrica} + J_{total} \quad (11)$$

$$H_{manométrica\ total} = H_{man.\ Sucção} + H_{man.\ Recalque} \quad (12)$$

Com todas essas informações, é possível calcular a potência do conjunto motor bomba de acordo com a Equação 13, sendo encontrado a potência em cavalos.

$$P = \frac{\gamma \times Q_r \times H_m}{75 \times \eta} \quad (13)$$

Onde:

P = Potência em cv.

γ = Peso específico da água (1000 kgf/m³);

Q_r = Vazão de recalque em m³/h;

H_m = Altura manométrica em m;

η = Rendimento em %.

A tubulação que alimentará o ramal de águas de reuso, foi encontrada conhecendo o consumo máximo diário, que é de 20 m³, e adotando uma velocidade de 0,6 m/s.

Análise da viabilidade técnica e econômica

Logo após o dimensionamento do sistema de captação e reuso de água pluvial, foi verificada a viabilidade técnica de execução do projeto no Edifício Belleville, sendo analisadas as normas técnicas e legislações brasileiras.

Quanto a viabilidade econômica de implantação do projeto, serão avaliados os custos de implantação através de, orçamento com base no banco de dados do Sistema de Preços, Custos e Índices – SINAPI, referente a 03/2019 do estado de Pernambuco e da tabela de preços da Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife – EMLURB, referente a 06/2018.

Em seguida, foi realizada simulação do comportamento do sistema após a implantação, verificando a economia anual de água potável proporcionada por ele e o período de retorno do investimento, através de avaliação das tarifas de água e esgoto cobradas pela COMPESA para edificações de uso familiar.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Demanda

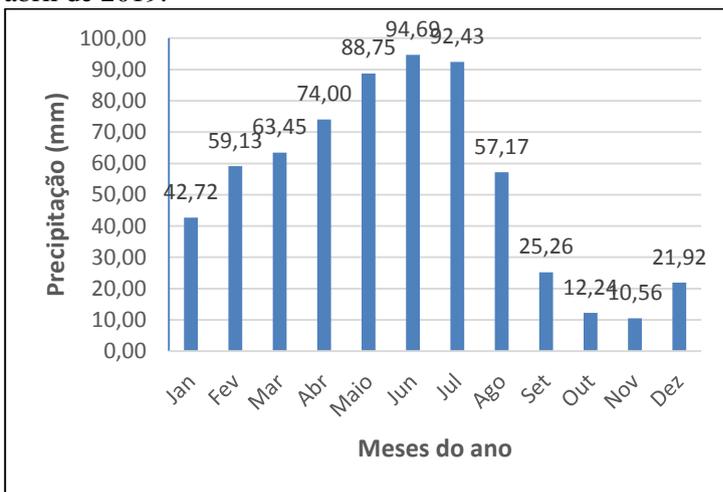
Por meio da análise de projeto, foi identificada que a área a ser lavada corresponde a área de piso dos 4 pavimentos de garagens, resultando em 4.825,00 m², consumindo 2 litros de água por metro quadrado; e área verde de 658 m², consumindo 3 litros de água por metro quadrado. Considerando a lavagem de pisos 2 vezes por mês (determinação do condomínio) e a rega de jardins (grama) a cada 3 dias, num total de 10 vezes por mês, resultando nos volumes de 38,60 m³ e 19,74 m³ mensais, respectivamente.

A demanda de água pluvial desse estudo é composta pela aplicação do recurso nas atividades de higienização de pátios e irrigação de jardins. Com base nisso e, no volume de 3.372,00 m³ referente a demanda mínima mensal de água tratada do Ed. Belleville, e o consumo não potável aplicado na limpeza das garagens e na irrigação resulta no total de 58,34 m³ mensais.

Dados pluviométricos

A partir dos dados coletados na APAC, foram calculadas as médias mensais como visto no Gráfico 1, no qual em sua análise é observado que o período de ocorrência de chuvas mais intensas na cidade de Caruaru-PE, compreende o trimestre entre os meses de maio a julho, com cerca de 43% do acumulado total da precipitação anual. O trimestre de menor intensidade pluviométrica compreende os meses de setembro a fevereiro, sendo os meses de maior demanda de água para fins menos nobres, por causa do verão, onde existe um aumento de temperatura.

Gráfico 1 – Variabilidade sazonal da média mensal da precipitação no município de Caruaru entre março de 1989 a abril de 2019.



Fonte: Autoria própria.

Área de contribuição

As áreas impermeabilizadas do edifício para captação das águas pluviais são a cobertura com área de 532,96 m², as cobertas da guarita e das casas de gás e lixo possuem uma área total de 33,39 m², e o pavimento vazado 2 possui uma área de captação de 616,90 m². Tendo um total de área de captação de 1.183,25 m².

Para as águas cinzas, tem-se a contribuição de 184 pontos de máquinas de lavar, distribuídos em 23 andares de apartamentos. Sabendo que a quantidade aproximada

de esgoto bruto produzido em uma habitação pela lavanderia é de 135 L/dia, temos um total de 24,84 m³/dia de esgoto produzidos na edificação.

Potencial de captação

O potencial de captação da água da chuva foi calculado por meio da Equação 4, para as taxas pluviométricas médias da série histórica em estudo, aplicando-se o coeficiente de Runoff no valor de 0,95, e fator de captação de 0,80, de acordo com os dados apresentados no Quadro 3.

Dessa forma, percebe-se que o sistema de captação de águas pluviais, proporciona o abastecimento integral do consumo de água não potável nos entre os meses de abril a julho, sendo necessário o complemento nos meses de agosto a março.

Quadro 3 – Potencial de captação mensal referente a série histórica de abr/89 a mar/19.

Meses	Precipitação média (mm)	Área de Captação (m ²)	Fator de captação	Coefficiente de Runoff	Volume captado (m ³)	Demanda mensal (m ³)	Diferença (m ³) (Vol. Cap - Demanda)
Janeiro	42,72	1.183,25	0,8	0,95	38,41	58,34	- 19,93
Fevereiro	59,13	1.183,25	0,8	0,95	53,17	58,34	- 5,17
Março	63,45	1.183,25	0,8	0,95	57,06	58,34	- 1,28
Abril	74,00	1.183,25	0,8	0,95	66,55	58,34	8,21
Maiο	88,75	1.183,25	0,8	0,95	79,81	58,34	21,47
Junho	94,69	1.183,25	0,8	0,95	85,15	58,34	26,81
Julho	92,43	1.183,25	0,8	0,95	83,12	58,34	24,78
Agosto	57,17	1.183,25	0,8	0,95	51,41	58,34	- 6,93
Setembro	25,26	1.183,25	0,8	0,95	22,72	58,34	- 35,62
Outubro	12,24	1.183,25	0,8	0,95	11,01	58,34	- 47,33
Novembro	10,56	1.183,25	0,8	0,95	9,50	58,34	- 48,84
Dezembro	21,92	1.183,25	0,8	0,95	19,71	58,34	- 38,63

Fonte: Autoria própria.

Para o complemento da demanda e para um menor custo de implantação, será captado de 5 a 15 pontos de águas de máquinas de lavar, como mostra no Quadro 4, no qual a demanda mensal irá determinar a quantidade de pontos captados.

Quadro 4 – Volume captado em relação a quantidade de pontos.

Quant. de pontos	Captação unit. (l)	Vol. águas cinzas diário captado (l)	Vol. águas cinzas mensal captado (l)
5	135,00	675,00	20.250,00
10	135,00	1.350,00	40.500,00
15	135,00	2.025,00	60.750,00

Fonte: Autoria própria.

De acordo com o mês do ano e a demanda necessária, a captação das águas cinzas será alternada entre a quantidade de pontos, como mostra o Quadro 5. Dessa forma, terá uma captação próxima da demanda, não gerando desperdício e nem custos desnecessários.

Quadro 5 - Volume total captado e forma de captação.

Meses	Vol. águas pluviais captado (m³)	Vol. águas cinzas captado (m³)	Vol. Total captado (m³)	Diferença (Captação – Demanda) (m³)	Forma de captação
Janeiro	38,41	20,25	58,66	0,32	Pluvial + 5 pontos Cinza
Fevereiro	53,17	20,25	73,42	15,08	Pluvial + 5 pontos Cinza
Março	57,06	20,25	77,31	18,97	Pluvial + 5 pontos Cinza
Abril	66,55	-	66,55	8,21	Pluvial
Maiο	79,81	-	79,81	21,47	Pluvial
Junho	85,15	-	85,15	26,81	Pluvial
Julho	83,12	-	83,12	24,78	Pluvial
Agosto	51,41	20,25	71,66	13,32	Pluvial + 5 pontos Cinza
Setembro	22,72	40,50	63,22	4,88	Pluvial + 10 pontos Cinza
Outubro	11,01	60,75	71,76	13,42	Pluvial + 15 pontos Cinza
Novembro	9,50	60,75	70,25	11,91	Pluvial + 15 pontos Cinza
Dezembro	19,71	40,50	60,21	1,87	Pluvial + 10 pontos Cinza

Fonte: Autoria própria.

Captação e condução das águas

A captação das águas da chuva, se dará através da utilização do sistema de captação já instalados no edifício, sendo a laje impermeabilizada o principal captador, conduzindo a água até os tubos de captação. Que ao invés de serem despejados na rede de drenagem urbana, serão conduzidos até o sistema de tratamento e armazenamento.

A captação das águas cinzas, se dará através de um sistema próprio, separado do sistema já instalado no edifício, utilizando-se das instalações já feitas nas paredes dos aptos, sendo instalado um novo sistema que conduzirá até o sistema de tratamento e armazenamento. Como visto, pelo método de unidade de Hunter, a captação é feita por uma tubulação de 50 mm.

A condução vertical das águas pluviais é composta por 8 tubos de queda de água pluvial (AP), numerados de 1 a 8, já instalados, de acordo com o projeto de instalações hidrossanitárias. Para a captação das águas das máquinas de lavar, a tubulação vertical é composta por tubos de 50 mm (de acordo com a Tabela 6 da NBR 8160), do 5º ao 1º andar dos pavimentos tipo,

onde serão captados, e conduzidos até o pavimento térreo, totalizando 24 m. Sendo composta por 3 tubos de queda (TQ), numerados de 1 a 3, nos apartamentos de final 06, 07 e 08 do 1º ao 5º andar dos pavimentos tipo.

Sendo conduzidos até o pavimento térreo, os tubos de queda de água pluvial e de águas cinzas, são conduzidos para área externa, até caixas de passagens. As caixas terão 1,20 m x 1,20 m, onde as tubulações irão despejar as águas captadas, sendo os condutores posteriores tendo seu diâmetro aumentado, adequando-se as normas, onde o tubo de água pluvial passa a ser de 200,0 mm e o de águas cinzas de 75,0 mm.

Tratamento das águas

Para o processo de filtração das águas das chuvas após a caixa de passagem, foi construída uma caixa de abrigo para o filtro de modelo VF 12, o qual tem capacidade de limpeza de 1555,2 m³/dia. Após essas etapas, a água com a sujeira é destinada as tubulações das galerias pluviais e a limpa é encaminhada para armazenamento. Nas caixas de passagens das águas cinzas, serão instaladas peneiras, para remoção de cabelo e partículas de sabão e felpas de tecido.

Para a desinfecção das águas pluviais, visando a eliminação de bactérias e microrganismos, foi planejada a instalação de um dosador de cloro automático no reservatório, de modo a promover a concentração de cloro residual entre 0,2 mg/l e 0,5 mg/l, conforme recomendado pelo Ministério da Saúde através da Portaria 2.914/2011.

Usando a Equação 2, foi encontrado o volume da fossa séptica, usando os parâmetros de acordo com a NBR 7229/1993, que é igual a 2.920,00 l.

E usando a Equação 3, foi encontrado o volume útil do filtro anaeróbio, usando os parâmetros de acordo com a NBR 13969/1997, que é igual a 2.689,20 l.

Dessa forma foram escolhidos a fossa séptica TS 5 e o filtro anaeróbio FA 2,8 da Naturaltec, todos com dimensões pré-estabelecidas pelo fabricante.

Armazenamento de águas tratadas

Para o dimensionamento do reservatório das águas pluviais captadas, foi utilizado a Equação 4, método de Rippl. Tendo como resultados o Quadro 6, o qual tem como maior acumulado o volume necessário para o armazenamento, que para esse estudo é de 180 m³,

assim a cisterna terá 12 x 6 (m), localizado ao lado da rampa de acessibilidade na frente do prédio, sendo construída em concreto armado, coberta com laje e duas tampas de acesso, para limpeza e manutenção.

Quadro 6 - Dimensionamento do reservatório pelo método Rippl.

Meses	Vol. águas pluviais captado (m ³)	Demanda mensal (m ³)	Diferença entre a demanda - vol. catado(m ³)	Diferença acumulada dos valores positivos
Janeiro	38,41	58,34	19,93	19,93
Fevereiro	53,17	58,34	5,17	25,09
Março	57,06	58,34	1,28	26,37
Abril	66,55	58,34	- 8,21	18,16
Maiο	79,81	58,34	- 21,47	-
Junho	85,15	58,34	- 26,81	-
Julho	83,12	58,34	- 24,78	-
Agosto	51,41	58,34	6,93	6,93
Setembro	22,72	58,34	35,62	42,55
Outubro	11,01	58,34	47,33	89,89
Novembro	9,50	58,34	48,84	138,73
Dezembro	19,71	58,34	38,63	177,36
Volume do Reservatório (m³)				177,36

Fonte: Autoria própria.

Para o dimensionamento do reservatório das águas cinzas tratadas, foi considerado o volume útil do

filtro anaeróbio, nesse caso considerando 81 m^3 , dessa forma o reservatório terá $3,6 \times 8$ (m), localizados ao lado da casa de gás e lixo, em concreto armado e laje de cobertura, com uma tampa de acesso para limpeza e manutenção.

Sistema de abastecimento

Para o sistema de abastecimento, foi previsto a instalação de duas caixas d'água com capacidade de armazenar 20 m^3 , que distribui água não potável através de um sistema de abastecimento secundário até os pontos de utilização.

Para o recalque da água pluvial e águas cinzas armazenadas nas cisternas, foram instalados 2 conjuntos motor-bomba, para cada cisterna, sendo um equipamento de uso principal e outro reserva, funcionando $1,5 \text{ h/dia}$.

Dessa forma, foi dimensionado o equipamento de bombeamento, determinando o consumo diário da demanda de água não potável máxima, que é de 20.000 l . E usando-se a Equação 5, temos que a vazão de recalque é de $13,33 \text{ m}^3/\text{h}$.

Posteriormente, foi dimensionado o diâmetro de recalque por meio da Equação 6, onde foi obtido o valor

de 39,55 mm, sendo adotado o tamanho de 40 mm, primeiro valor comercial acima do valor encontrado, para a tubulação de recalque e 50 mm para a tubulação de sucção.

Para o cálculo da potência das bombas de recalque, foram consideradas as alturas geométricas, que são 2,50 m e 3,30 m, para a sucção do reservatório de águas pluviais e cinzas, respectivamente; e para a altura geométrica de recalque, para ambos os reservatórios é igual a 8,50 m.

Em seguida foram calculadas as perdas de carga distribuída para sucção e recalque, utilizando a Equação 7, para ambos reservatórios, como mostra os procedimentos abaixo.

$$\begin{aligned} \text{Sucção: } J_{dist.} &= \\ 10,643 \times 150^{-1852} \times 0,05^{-4,87} \times 0,00185^{1,852} &= \\ 0,01873 \frac{m}{m} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Recalque: } J_{dist.} &= \\ 10,643 \times 150^{-1852} \times 0,04^{-4,87} \times 0,00185^{1,852} &= \\ 0,0555 \frac{m}{m} & \end{aligned}$$

Logo após, foram calculadas as perdas de carga localizada utilizando a Equação 8 para sucção (Equação

18) e recalque (Equação 19) do reservatório de águas pluviais e as perdas de carga localizada da sucção (Equação 20) e recalque (Equação 21) do reservatório de águas cinzas.

Águas Pluviais:

○ Sucção: $J_{local.} = 23,7 + 2,5 + 1,3 + 1 = 28,5 m$

○ Recalque: $J_{local.} = 0,2 + (5 \times 1,2) + 1 + 8,6 + 15,6 + 0,5 = 31,9 m$

Águas Cinzas:

○ Sucção: $J_{local.} = 23,7 + 3,3 + 1,3 + 0,5 = 28,8 m$

○ Recalque: $J_{local.} = 0,2 + (5 \times 1,2) + 3,2 + 8,6 + 4,7 + 0,5 = 23,2 m$

A perda de carga localizada, foi calculada sabendo que a perda de carga da válvula de pé com crivo e curva longa de 90° para PVC de 50 mm, são respectivamente 23,7 m e 1,3 m. E para a curva longa de 90° para PVC de 40 mm é de 1,2 m.

Para as perdas de cargas totais, usou-se a Equação 9, tanto para sucção como para recalque, para os sistemas de águas pluviais e cinzas.

Águas Pluviais:

$$\text{Sucção: } J_{total} = 0,01873 \times 28,5 = 0,5338 \text{ m}$$

$$\text{Recalque: } J_{total} = 0,0555 \times 31,9 = 1,77 \text{ m}$$

Águas Cinzas:

$$\text{Sucção: } J_{total} = 0,01873 \times 28,8 = 0,5394 \text{ m}$$

$$\text{Recalque: } J_{total} = 0,0555 \times 23,2 = 1,29 \text{ m}$$

Em seguida foi calculada a altura manométrica, dada pela Equação 10, para a sucção e o recalque, conforme procedimentos abaixo, para o reservatório de águas pluviais e cinzas.

Águas Pluviais:

$$\text{Sucção: } H_m = 2,5 + 0,5338 = 3,03 \text{ m}$$

$$\text{Recalque: } H_m = 8,5 + 1,77 = 10,27 \text{ m}$$

Águas Cinzas:

$$\text{Sucção: } H_m = 3,3 + 0,5394 = 3,84 \text{ m}$$

$$\text{Recalque: } H_m = 8,5 + 1,29 = 9,79 \text{ m}$$

Com esses dados, foi possível obter o valor da altura monométrica total, através da Equação 11, para o reservatório de águas pluviais e cinzas, respectivamente.

$$\begin{aligned} \text{Águas Pluviais: } H_{m \text{ total}} &= 3,03 + 10,27 = \\ &13,30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Águas Cinzas: } H_{m \text{ total}} &= 3,84 + 9,79 = \\ &13,63 \text{ m} \end{aligned}$$

Dessa forma é possível, através da Equação 12, calcular a potência da bomba, e tomando por base um rendimento de 70%, para o reservatório de águas pluviais e águas cinzas.

$$\begin{aligned} \text{Águas Pluviais: } Pot_{CV} &= \frac{1000 \times 6,67 \times 13,3}{75 \times 70} = \\ &16,90 \text{ cv} \end{aligned}$$

$$\text{Águas Cinzas: } Pot_{CV} = \frac{1000 \times 6,67 \times 13,63}{75 \times 70} = 17,32 \text{ cv}$$

Dessa forma, para o mercado, o conjunto motor-bomba que atente a essa especificação possui potência de 20 CV.

Para o sistema de distribuição, o diâmetro em mm para um consumo diário de até 25,4 m³, e uma velocidade de 0,6 m/s é de 25,0 mm, como o consumo diário do projeto é de 20 m³, então o alimentador predial é de 25,0 mm.

Para o ramal de distribuição, segundo Botelho e Ribeiro, 2010), para as vazões de 0,20 l/s e o peso relativo de 0,40 de torneiras de jardins, o diâmetro da tubulação é de 20,0 mm, porém para facilidade de instalação, a tubulação dos ramais, será igual a tubulação do alimentador, com diâmetro de 25,0 mm.

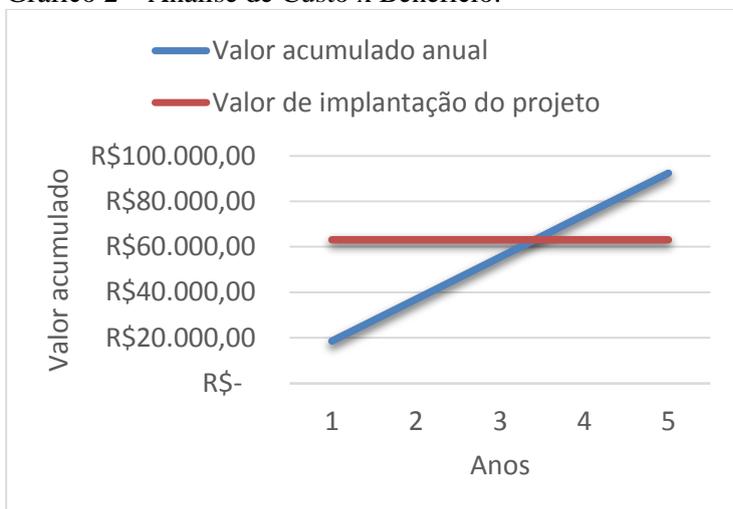
Análise da viabilidade de implantação do sistema

Após todo estudo, foi realizado o orçamento dos materiais e serviços necessários para implantação do sistema, com o uso de tabelas de referência de preços e

serviços, e chegou-se ao valor de R\$ 63.174,35 (sessenta e três mil, cento e setenta e quatro reais e trinta e cinco centavos).

De acordo com os dados analisados, o consumo mensal de água potável para lavagem de piso e irrigação de jardim é de 58,34 m³, que de acordo com as tarifas da COMPESA em maio/2019, até 10 m³/mês a taxa é de R\$ 76,13 e acima de 10 m³/mês a taxa é de R\$ 16,13, dessa forma, o valor gasto com água potável é de R\$ 850,37, e a taxa de esgoto é de 80% do valor da água, dando um valor de R\$ 684,68, e um total mensal de R\$ 1.540,54. O que se torna uma economia com a implantação do sistema, e em um ano o acumulado é de R\$ 18.486,25, sendo o tempo de retorno do investimento de 3,4 anos, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Análise de Custo x Benefício.



Fonte: Autoria própria.

O que apresenta um tempo de retorno pequeno, quando comparado com o estudo feito por (BEZERRA, 2017), para o aproveitamento de águas pluviais de um conjunto habitacional com vários condomínios na cidade de Caruaru. No estudo citado anteriormente, o valor do projeto foi de R\$ 73.879,15 e o tempo de retorno de 5 anos.

CONCLUSÃO

Por causa da escassez hídrica na região nordeste do Brasil, a captação de águas pluviais e cinzas pode

reduzir problemas como o desperdício. Assim, o processo de aproveitamento de dessas águas para fins não nobres auxilia as companhias de distribuição que tem função de garantir água potável para toda população, mas também contribui para a preservação ambiental e sustentabilidade do empreendimento.

O sistema mostra-se totalmente rentável quando se trata de custos, pois em pouco mais de 3 anos de utilização, todo o investimento é recuperado e o saldo passa a ser positivo, ou seja, antes desses 3 anos, o consumidor terá o valor economizado pagando os custos de implantação, após os 3 anos, toda economia vai direto para a conta dos moradores, reduzindo os custos mensais.

Foi possível verificar que a instalação dos reservatórios de armazenamento é a etapa mais onerosa do projeto, logo, de forma a viabilizá-lo técnica e economicamente, foi estabelecida sua instalação próximo da passagem das tubulações de captação de águas pluviais e de esgoto, visando minimizar custos de escavação e tubulação.

Além do fator monetário, o sistema propõe uma reutilização consciente da água pelos usuários, incentivando uma maior preocupação com o meio

ambiente e a preservação ambiental, diminuindo também a demanda dos mananciais da cidade de Caruaru, e uma consequente preservação de pequena parte de seus volumes, diminuindo também.

O estudo mostrou que cerca de 1.950 l de águas cinzas e pluviais deixaram de ser lançadas na rede de coleta urbana por dia, dando um total de 58.340 l por mês, que de forma incorreta são lançadas na rede de drenagem e jogadas nos córregos e rios que cortam a cidade.

O trabalho realizado é de suma importância, pois mostra a viabilidade do sistema, provando que o valor gasto para a implantação do projeto, é mínima quando incluído na fase de projeto, diminuindo a resistência por parte da população para utilização do sistema, além dos benefícios ambientais.

REFERÊNCIAS

ANA. 2018. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2018*. Ed. Especial. Brasília: s.n., 2018.

BOTELHO, M. H. C. & RIBEIRO JÚNIOR, G. A. *Instalações Hidráulicas Prediais Usando Tubos de PVC e PPR*. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B.B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. Gerenciamento de águas cinzas. In: GONÇALVES, R.F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações*. 1. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006b. P. 153-222. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Uso_agua_-_final.pdf> Acesso em: 8 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cidades*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/panorama>>. Acesso em: 4 fev. 2019.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

CAPÍTULO 4



ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA HABITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SAIRÉ – PE

HENRIQUE TAVARES LIMA¹

LUIS ERNESTO DE MEDEIROS ALAS²

VANESSA ARYANNE SOARES RIBEIRO³

CAIO VICTOR CORREIA FERREIRA DA SILVA⁴

EDUARDO CABRAL DA SILVA⁵

LUCIANA DE OMENA GUSMÃO⁶

RESUMO

A utilização de métodos alternativos da água representa um dos meios de manutenção do bem hídrico, que se trata de um recurso natural importante na manutenção da vida. Com o objetivo de reutilizar as águas pluviais em um

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. hencivil@hotmail.com.

² Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. luisernesto27@hotmail.com.

³ Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. vanessa_soares15@hotmail.com.

⁴ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden. caio_victor07@hotmail.com.

⁵ Prof. Dr. do Centro Universitário Unifavip/Wyden. eduardo.silva@unifavip.edu.br.

⁶ Prof^ª. Ma. do Instituto Multidisciplinar de Alagoas – IMAS.

ambiente residencial, foi elaborado um estudo de caso para implantação de um sistema de coleta e armazenamento de águas da chuva para uma residência no agreste pernambucano, onde foi prevista a demanda de água do imóvel para uso não consumptivo. Foi utilizado o DesviUFPE, desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco, como dispositivo de descarte de primeira chuva, por apresentar funcionamento automatizado e baixo custo de implantação no sistema. Por possuir uma área significativa para coleta, foi notado que os métodos práticos utilizados possuem variação de volume de um para outro, sendo o método de dimensionamento Australiano o mais condizente à utilização, por possuir uma gama maior de variáveis consideradas. Dada a demanda de utilização dos equipamentos não consumptíveis, foi calculado o consumo provável do sistema, apresentado em serviços internos e externos. Contando com a utilização do sistema, foi estimado o conjunto motor-bomba de utilização para bombear a água do tanque de reservatório para o tanque de distribuição, com o objetivo de verificar o consumo mensal de energia elétrica no bombeamento, onde apresentou baixo valor de operação. Por fim, é percebido que o sistema pode funcionar de maneira autônoma, sem depender da distribuição de água potável da concessionária, utilizando um grande reservatório de armazenamento de águas pluviais ou dimensionar tanques com volumes menores.

Palavras-chave: Sustentabilidade hídrica. Reutilização. Dimensionamento de reservatórios.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são um dos mais importantes para a manutenção da vida no planeta, logo, a sociedade caminha em passos constantes para evoluir as práticas no uso desse recurso indispensável para as necessidades ecológicas, econômicas e humanitárias.

Com o rápido crescimento populacional e expansão urbana, ambos sendo ditos como os principais responsáveis pela escassez de água na maioria das regiões do mundo, centros de coleta de águas provenientes de chuvas e tempestades, com planejamento, projetos e gerenciamentos competentes se tornarão uma diferente fonte de coleta de água, no caso de uma crise hídrica no mundo (DING, 2017).

Aproximadamente 97,5% da água existente no mundo é salgada, portanto, o seu consumo não é adequado para manutenção da vida humana e serviços de irrigação. Os 2,5% restantes, representa a água doce, onde 69% dessa margem de 2,5% se encontra nas geleiras localizadas nos polos, 30% são águas armazenadas em aquíferos, ou seja, águas subterrâneas e 1% encontra-se nas superfícies de rios. Portanto, o bom gerenciamento

desse recurso se faz indispensável para a manutenção da vida humana (BRASIL, 2018).

Assim, percebe-se que dada as dificuldades geradas na distribuição de água, o seu uso consciente, através de um sistema de coleta pluvial, pode ajudar no desperdício de água potável, portanto, classificar o seu uso indicando onde há a necessidade de potabilidade ou não é de suma importância para definir os usos, pois, segundo Chubaka et al. (2018), a ingestão da água proveniente das chuvas pode gerar danos à saúde, através de alguns agentes nocivos que podem estar presentes em águas pluviais.

Portanto, torna-se importante a implantação de sistemas de captura e reuso de águas pluviais em ambientes residenciais, pois dessa forma, pode-se priorizar o uso da água potável para o consumo e direcionar as águas provenientes das chuvas e tempestades para serviços de limpeza, manutenções de jardins, descargas e outros. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de um sistema de coleta de águas pluviais para reuso não potável da água em uma residência unifamiliar no condomínio residencial Bromélia da Terra em Sairé - PE.

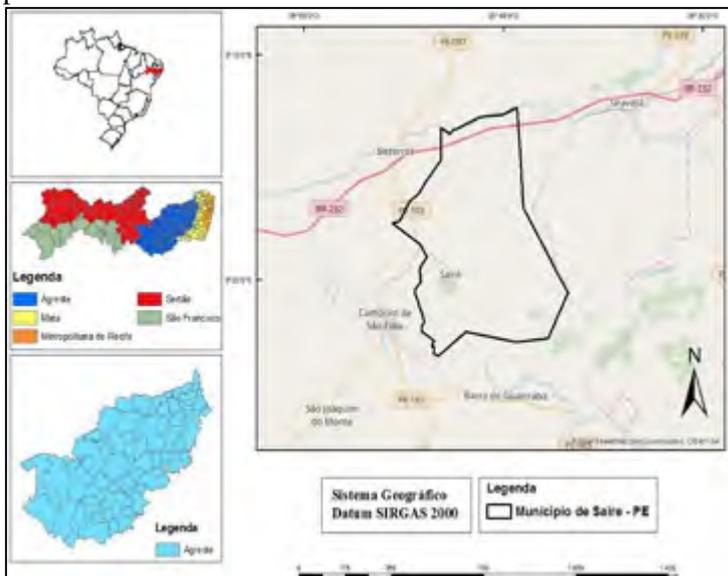
METODOLOGIA

Caracterização da Área de Estudo

Sairé é um município do estado de Pernambuco, localizado na mesorregião do agreste pernambucano (Figura 1), distante a 14 km da cidade de Bezerros, se encontra às coordenadas geográficas de latitude 8° 19' 40" Sul e longitude: 35° 42' 21" Oeste, possui 663 m de altitude média, área demográfica de 194 km² e uma população de 11.240 hab. segundo CENSO 2010 (BRASIL, 2019).

Possui clima tropical e no inverno chove menos que no verão, de acordo com a classificação de clima de Köppen e Geiger, caracteriza-se como Aw. Possui temperatura mediana de 21,0 °C e pluviosidade média anual de 842,0 mm, onde novembro se apresenta como o mês mais seco, com média de 17,0 mm e julho com a maior concentração de precipitações, com 139,0 mm de média pluviométrica (MERKEL, 2019).

Figura 1 - Localização do município de Sairé no Agreste pernambucano.



Fonte: Autoria própria.

O trabalho se desenvolveu numa residência unifamiliar, construída com apelo sustentável no condomínio residencial Bromélia da Terra, no município de Sairé, divisa com Gravatá, Figura 2.

A construção da edificação possui sua estrutura principal confeccionada em aço, proveniente de containers marítimos destinados ao descarte, ou seja, resíduos das operações navais de transporte de mercadoria.

Figura 2 - Residência para implantação do estudo.



Fonte: Autoria própria.

A edificação possui sua estrutura principal composta por containers marítimos destinados ao descarte, como visto na Figura 3, que permitiu reduzir custos de construção segundo o proprietário.

A edificação foi construída num terreno de 480,05 m², possuindo 313,02 m² de área construída dividido entre três pavimentos, que se dividem entre quatro quartos, todos com disposição de banheiro próprio, cozinha, área de serviço, varanda gourmet, área de lazer e dois W.C. sociais, onde possuem pontos de consumo d'água.

Figura 3 - Montagem da estrutura em containers.



Fonte: Autoria própria.

Estimativas de Consumos e Dimensões do Sistema de Captação

Previsão Pluviométrica

Nas obras hídricas, estudar os índices pluviométricos possuem o objetivo de obter o conhecimento de três variáveis que vão caracterizar os índices máximos, são eles a: Intensidade, Duração e Frequência (IDF) (TUCCI, 2007).

A relação entre a IDF, de acordo com Villela e Mattos (1975), é dada pela Equação 1.

Onde:

$$i = \frac{K * T_r^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

i – é a intensidade máxima de chuva em mm/h;

T_r – Tempo de retorno em anos;

t – duração da chuva, fixada em 5 minutos, de acordo com a NBR 10844/89;

k, a, b, c – são variáveis empíricas a depender da estação pluviométrica em estudo

O posto pluviométrico (código 835007) mais próxima da área de estudo localiza-se no município de Bezerros, no Agreste de Pernambuco, sob as coordenadas $-8,23^\circ$ de latitude e $-35,75^\circ$ de longitude.

Segundo o Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Ipojuca (2010), os parâmetros da equação de chuvas intensas, k, a, b e c , para a localidade têm valores pontuados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de variáveis da estação pluviométrica do município de bezerros.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	a	k	b	c
835007	Bezerros	0,20	750,67	10,52	0,75

Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Ipojuca (2010).

Capacidade de Coleta Pluvial

A captação das águas da chuva será realizada pela cobertura da edificação, que possui suas características de acordo com a tabela 9, onde as informações foram obtidas através da análise do projeto.

Tabela 9 - Dados da área de captação pluvial.

Área de cobertura de projeto	173,83 m²
Área de cobertura efetiva para Captação	160,05 m²
Material empregado para a confecção	Telhas em Alumínio
Percentual de inclinação	6%

Fonte: Elaboração própria (2019).

Tomaz (2009), diz que a variação do composto utilizado para fabricação do material empregado na

cobertura possui uma variação entre 0,80 e 0,90, de acordo com o coeficiente de runoff, representado pela letra “C”, onde o maior escoamento da água se dará quando esse valor estiver o mais próximo de 1. Os desperdícios de água presente nas considerações são dados por causa das limpezas, evaporações e outras causas. Segunda a Tabela 2, é possível identificar a alteração desse coeficiente em função do material empregado no telhado.

Tabela 2 - Coeficiente de runoff por Tomaz (2003).

Composto do material	Coeficiente de Runoff
Cerâmico	0,8 até 0,9
Revestimentos Esmaltados	0,9 até 0,95
Metais Ásperos	0,8 até 0,9
Cimentícios e similares	0,8 até 0,9
Plásticos e de PVC	0,9 até 0,95

Fonte: Tomaz (2009).

Portanto, dependendo dos materiais de confecção, essa variação de coeficiente pode ser em torno de 0,1 em

materiais mais ásperos e de 0,05 em compostos mais lisos.

Seguindo orientações da NBR 10844/89, a Equação 2, a seguir, descreve a área de captação resultante:

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \times b \quad (2)$$

Onde:

A – Representa a área de captação da cobertura;

a – Indica o comprimento paralelo ao plano da cumeeira ao fim da coberta; h – Dita a altura da cumeeira;

b – É a variável responsável a indicar o comprimento da coberta onde se despeja a água nas calhas.

De acordo com a NBR 10844/89, a área de contribuição do projeto são os elementos que possuem derivação para as tubulações e calhas de coleta, podemos determinar a vazão de projeto com a Equação 3:

$$Q = \frac{I \times A}{60} \quad (3)$$

Onde:

Q – Representa a vazão do projeto, dado em L/min;
I – É a intensidade pluviométrica dada pela equação 1, descrita no capítulo anterior;
A – Indica a área de captação de água para o sistema, representada pela equação 2, dita no capítulo anterior.

Dimensionamento de Condutores

Para dimensionar os condutores verticais, deve-se seguir as orientações da NBR 10844/89, onde definiu-se a Equação 4 de Manning-Strickler,

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (4)$$

Onde:

Q = Representa a vazão, dado em L/min; S = Seção molhada do condutor, em m²;

n = Coeficiente de rugosidade; R = Raio hidráulico dado em m; P = Perímetro molhado dado em m;

i = Declividade da calha dado em m/m; K =

Estabelecido em 60.000.

A Tabela 3 fornece os valores segundo a norma utilizada para os coeficientes de rugosidade necessário na equação 3:

Tabela 3 - Coeficiente de rugosidade em função do material.

Material	n
Plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não-analisado	0,013
Alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: NBR 10844 (1989).

Portanto, deve-se levar em consideração o material utilizado na confecção das calhas e tubulações. A Tabela 4 apresenta valores de capacidade em calhas semicirculares e que possuam seus coeficientes de rugosidade $n = 0,011$:

Assim, os resultados práticos são aplicáveis em calhas e tubulações que são vendidos comercialmente pré dimensionados, com diâmetros e materiais já definidos pelos fabricantes, como as calhas de PVC por exemplo.

Tabela 4 - Vazão em L/min para n = 0,011.

Diâmetro interno (mm)	Declividade		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Fonte: NBR 10844 (1989).

Para dimensionamento da calha com geometria retangular, foi utilizada a Equação 5 para determinar a área da seção molhada, em metros quadrados (m²), e a Equação 6 para determinar o raio hidráulico, em metros (m).

$$S = b \times y \quad (5)$$

Onde:

S – Informa a área da seção molhada em m²;

b – Indica a base da seção retangular do condutor, em

m; y – Diz a altura útil da seção molhada no condutor, em m.

$$Rh = \frac{b \times y}{2 \times y + b} \quad (6)$$

Onde:

Rh – É o raio hidráulico, em m;

b – Indica a base da seção retangular do condutor, em m; y – Diz a altura útil da seção molhada no condutor, em m.

Previsão de Consumo não Consumptível da Residência

Previsão de Consumo dos Equipamentos Sanitários

Há a dificuldade de estabelecer um valor e consumo exato para água não potável, independente da utilização doméstica, comercial ou industrial, pois não se distingue claramente quais são os usos não potáveis. Com base em um estudo volumétrico de estáticas de consumo, entre as edificações de alto e baixo padrão, pode-se determinar uma média (TOMAZ, 2009). A tabela 5 indica os parâmetros de uso interno e a Tabela 6 os parâmetros de consumo de áreas externas.

Tomaz (2009), indica que os consumos percentuais do uso da água potável dentro do ambiente residencial na Tabela 7, onde é possível determinar volumes de utilização de equipamentos dentro da estimativa de consumo existente.

Tabela 5 – Estimativa da demanda interna de água em residências.

Uso Interno	Unidades	Parâmetros		
		Baixo	Alto	Probabilístico Brasileiro
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5	4,00
Número pessoas na casa	pessoa	2	5	3,50
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5,00
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9,00
Vazamento bacias	Porcentagem	0	30	9,00

sanitárias				
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1,00
Duração do banho	Minutos	5	15	7,30
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,3	0,15
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2	0,10
Volume de água	Litros/banho	113	189	1130,,
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3	0,10

Volume de água	Litro/ciclo	18	70	18,00
Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108,00
Torneira da cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4,00
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4,00
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15

Fonte: Tomaz (2009).

Tabela 6 - Demanda de uso de água em áreas residenciais externas.

Uso externo	Unidades	Variáveis
Casas com piscina	Porcentagem	0,10
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2,00
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	150,00
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4,00
Mangueira de jardim 1/2" x 20m.	Litros/dia	50,00

Manutenção de piscina	litros/dia/m ²	3,00
Perdas p/ evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscinas	anos	10,00
Tamanho da casa	m ²	30,00 a 450,00
Tamanho do lote	m ²	125,00 a 750,00

Fonte: Tomaz (2009).

Tabela 7 - Média de consumo de água potável em âmbito residencial.

Tipos de usos da água	Percentual
Descargas na bacia sanitária	29%
Chuveiros	28%
Lavatório	6%
Pia de cozinha	17%
Tanque	6%
Máquina de lavar roupas	5%
Máquina de lavar louças	9%
Total	100%

Fonte: Tomaz (2009).

A separação dos consumos pode ser determinada de acordo com a utilização dos equipamentos e das atividades realizadas, segundo a Equação 7 (TOMAZ, 2009):

$$Vi = P \times P_p \times U \times d/1000 \quad (7)$$

Onde:

Vi - Representa o volume de utilização da atividade interna em questão, dado em m³/mês;

P – Indica a quantidade de pessoas que utilizam a atividade em questão;

Pp – É o peso de utilização dos equipamentos e/ou atividades de uso da água, com parâmetro indicado na Tabela 8;

U - É o parâmetro de consumo d'água, com unidade de volume relativo ao equipamento em uso, indicado na tabela 13;

d – Indica a quantidade de dias, fixado em 30 dias.

Na quantificação de uso de água em ambientes externos, é possível determinar as médias de consumos através dos serviços e consumos presentes na Tabela 9, assim como, Tomaz (2009) também determina que o volume pode ser dado através da Equação 8:

$$Ve = U \times v \times d/1000 \quad (8)$$

Sendo:

Ve - Representa o volume de utilização da atividade externa em questão, dado em m³/mês;

U – Indica a unidade da atividade analisada, presente na Tabela 9;

v – É a variável de utilização dos equipamentos e/ou atividades de uso da água em ambientes externos, com parâmetro indicado na Tabela 9;

d – Indica a quantidade de dias, fixado em 30 dias.

Dessa forma é possível identificar as utilizações dos equipamentos de maneira individual, descrevendo o percentual de uso do sistema através da Tabela 10 e da Equação 9 (TOMAZ, 2009):

$$V_s = \sum V_t + V_e \quad (9)$$

Onde:

V_s – Representa o volume do somatório das demandas Internas (V_i) e das demandas externas (V_e).

Previsão de Capacidade do Reservatório de Armazenamento

Segundo orientações pertinentes da NBR 5626/98, os tanques destinados as reservas de águas da chuva precisam ser confeccionadas em material que possua resistência a corrosão ou então que o revestimento interior do reservatório possua proteção anticorrosiva.

Segundo a NBR 15527/07, vários são os métodos possíveis para dimensionamento do tanque de armazenamento das águas pluviais. Os métodos podem levar em consideração a variação de demanda do sistema de coleta, podendo atender curtos ou longos períodos, dependendo do uso do sistema.

Método de Rippl

Para Campos (2007), essa metodologia é a que possui maior facilidade em sua utilização, também é

conhecido como Diagrama de Massas. Porém, há pontos a serem observados nessa metodologia, pois, essa metodologia teve como base o desenvolvimento de armazenamento para grandes unidades de reserva, podendo causar um superdimensionamento no volume reservado.

Rocha (2006), diz que essa metodologia é aplicada quando a demanda que existe do sistema possui volume igual ou menor ao que é coletado, dentro de um determinado período, nesse caso, permitindo a utilização do sistema em sua plenitude mesmo em períodos de estiagem.

O tanque terá o volume de acordo com as proporções de uso e índices pluviométricos captáveis, de acordo com a Equação 10:

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (10)$$

Onde:

$S(t)$ – Dimensões volumétricas do tanque em determinado tempo “t”;

$Q(t)$ – Volume captado das águas da chuva em determinado tempo “ t ”;

$D(t)$ – Consumo demandado pelo sistema em um determinado tempo “ t ”.

A quantidade de água da chuva captada no determinado tempo “ t ” é dada de acordo com a Equação 11:

$$Q_{(t)} = C \times \textit{precipitação}_{(t)} \times \textit{área de captação} \quad (11)$$

Onde:

C – é o coeficiente de runoff, estabelecido em 0,80.

Por fim, utiliza-se da Equação 12 para determinar o volume do tanque, somando os valores não nulos nos intervalos de tempo “ t ”, considerando que demanda em função de “ t ” deve ser menor que a vazão no mesmo intervalo;

$$V = \sum S_{(t)} \quad (12)$$

Onde:

V – Será o volume total do reservatório;

S(t) – Representa os volumes calculados na Equação 10.

Método de Azevedo Neto

Retrata a metodologia prática, onde se manipula a média anual dos índices de precipitação também somando os meses com índices pluviométricos baixos. O volume do reservatório para uso não potável é dado pela Equação 13:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (13)$$

Sendo:

P – Índice médio da precipitação anual, em milímetros (mm);

T – Quantidade de meses onde houve seca e/ou pouca chuva;

A – Área de captação da água pluvial, em m²;

V – Volume do tanque reservatório de água, dado em litros.

Método de prático Alemão

Rocha (2006) diz que para certos autores, esse método não apresenta boa confiabilidade, pois, possui uma quantidade de grandezas que são generalizadas e possuem variabilidade muito grande, considerando as precipitações, e os usos de água potável como também de água pluvial.

É um método empírico, que adota o menor volume calculado, sendo de 6% do volume de consumo presente no intervalo de um ano ou 6% do volume de precipitação que é aproveitado nesse mesmo intervalo, de acordo com a Equação 14:

$$V_{adt.} = \text{mín.}(V; D) \times 0,06 \quad (14)$$

Onde:

$V_{dot.}$ – É o volume do reservatório, em m^3 ;

V – Volume de aproveitamento da água de chuva em um ano, em m^3 ;

V – Volume anual da demanda de água não potável, em m³.

Método de prático Australiano

Com a utilização de índices de precipitações mensais, essa metodologia aplica a equação 15 para determinar o volume mensal captado:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (15)$$

Onde:

Q – Representa a quantidade de água coletada por mês, em m³; A – Área utilizada para captar as águas da chuva;

C – Coeficiente de runoff, dado por 0,80, devido ao material empregado na cobertura;

P – Índice médio de precipitação por mês, em mm;

I – Perdas consideradas por questões de evaporação, limpeza de cobertura pelas primeiras águas e outros, determinado em 1 mm.

O volume do tanque será dado por tentativas, onde os valores do reservatório sejam conseguidos

através de informações confiáveis, de acordo com a NBR 15527/07, utiliza-se as Equações 16, 17 e 18:

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (16)$$

Onde:

$V(t)$ – Volume presente no tanque ao fim do mês, de água captada, em m^3 ;

$T(t-1)$ – Volume presente no tanque ao início do mês, de água captada, em m^3 ;

$Q(t)$ – Volume de água em um mês, em função do mês representado por “t”;

$D(t)$ – Representa a necessidade de uso do sistema em um intervalo mensal, em m^3 .

Como no primeiro mês do sistema instalado, o reservatório encontrara-se vazio, será definida sua correção através da Equação 17:

$$(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) < 0; \quad (17)$$

toma – se $V_{(t)} = 0$

Determinado os volumes, utiliza-se a Equação 18 para verificações de eficácia do uso no sistema:

$$P_r = \frac{Nr}{N} \quad (18)$$

Onde:

P_r – Representa a falha do sistema;

Nr – É o número de meses onde;

$V(t) = 0$, ou seja, não supriu a demanda;

N – Considera a quantidade de meses analisados.

A confiança do tanque é dada pela Equação 19, onde já se obteve os volumes dos reservatórios:

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad (19)$$

Sendo seu valor recomendado não se encontre abaixo de 90%.

Sistema de Bombeamento da Água Coletada

As águas pluviais que são coletadas pelo sistema de cobertura, utilizarão os condutores horizontais e

verticais, como tubos e calhas para destinar ao reservatório de armazenamento pluvial através do meio gravitacional. Segundo NBR 12214/92, existem certos requisitos na elaboração do projeto, observando o que é recomendado nos tubos de recalque e de sucção, nas alturas e vazões no conjunto motobomba.

Foi estimada a potência do conjunto motobomba para utilização do sistema, o tempo de utilização do equipamento e a vazão do mesmo, tudo dentro do intervalo de um mês. O Custo de utilização de equipamento no intervalo de um mês foi definido através da unidade de cobrança da energia da CELPE (R\$. kWh⁻¹) constatado em conta fornecida.

Marinoski (2007) constatou que a taxa de consumo elétrico do conjunto motobomba pode ser relacionado ao custo de utilização de acordo com a Equação 20, onde não se considera impostos:

$$C_{EE} = P_{MB} \times t \times V \quad (20)$$

Onde:

Cee – Custo em R\$ da utilização do conjunto motobomba;

Pmb – Potência, em kW, do conjunto motobomba;

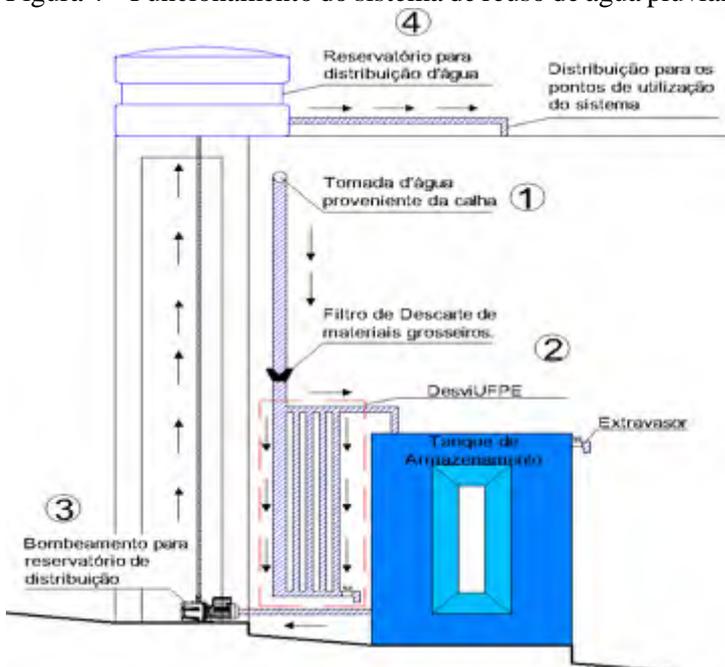
t – Indica o tempo de uso do conjunto motobomba, em horas por dia;

V – Representa o custo em R\$. kWh^{-1} da utilização do motobomba.

Fluxograma do projeto

A proposta do projeto pode ser descrita através do fluxograma presente na Figura 4, onde a coleta se dará através das calhas de cobertura, que por sua vez estará conectada ao sistema de descarte de primeira chuva DesviUFPE antes de seguir para o reservatório de armazenamento, onde a partir da utilização de um sistema de bombeamento, será possível transferir a água coletada para o reservatório de distribuição para os equipamentos de utilização do sistema.

Figura 4 – Funcionamento do sistema de reuso de água pluvial.



Fonte: Autoria própria.

O sistema será dividido em quatro principais etapas para seu funcionamento global, sendo dividido da seguinte forma:

- Captação d'água pluvial pelo sistema de cobertura e direcionamento dado pelo sistema de calhas;
- Filtração de materiais grosseiros

provenientes da cobertura e calhas, descarte da primeira água da chuva e armazenamento;

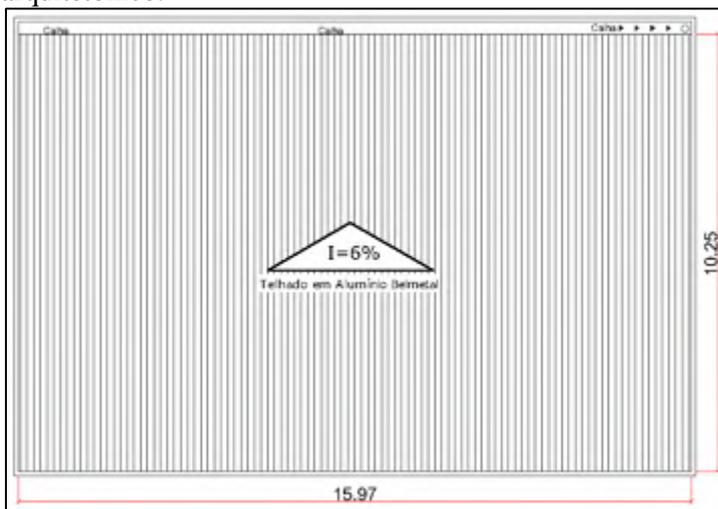
- Bombeamento para reservatório superior através de bomba hidráulica;
- Direcionamento da água armazenada no reservatório superior para os equipamentos ligados ao sistema de reutilização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dimensionamento da área de captação

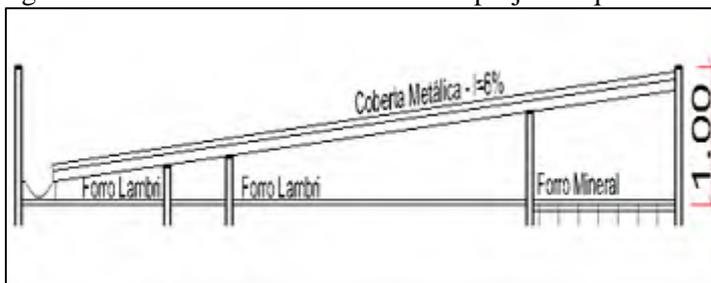
Na Figura 5 está a exposição da área útil de utilização do sistema, assim como na Figura 6 encontra-se a representação da altura da linha da cumeeira. Ambas as Figuras exemplificam as variáveis utilizadas para obtenção dos resultados:

Figura 52 - Área útil de cobertura extraída do projeto arquitetônico.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Altura da cumeeira retirada de projeto arquitetônico.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados das variáveis intensidade de chuva, área de captação da água da chuva e a vazão de projeto.

Tabela 8 - Vazão do projeto dimensionado.

Intensidade (I)				
Variáveis:	a	K	b	c
	0,2	750,67	10,52	0,75
I	132,46 mm			

Área de Captação (A)				
Variáveis:	a	h	b	
	10,25	1	15,97	
A	171,68 m²			

Vazão de Projeto (Q)				
Variáveis:	I	A		
	132,46	171,68		
Q	379,01 L/min			

Fonte: Autoria própria.

A vazão máxima encontrada, dentro de um intervalo de tempo de retorno estabelecido em 5 anos, por se tratar de coleta de águas através de um sistema de cobertura, é de 379,01 L/min.

Dimensionamento do DesviUFPE

De acordo com Alves et al. (2014), o volume d'água a ser desviado é dado em 1 litro para cada 1 m² da área de captação. Portanto, pode-se determinar o volume de descarte através da Tabela 9:

Tabela 92 - Dimensionamento do DesviUFPE.

Área de Captação (m ²)	Volume de Descarte (L)	Volume do tubo de 100mm (L/m)	Quantidade de tubos de 100mm (m)
171,68	171,68	7,85	22

Fonte: Autoria própria.

Dimensionamento dos condutores horizontais

Na Tabela 10 estão contidos os valores obtidos para a seção molhada do condutor, o raio hidráulico e para a vazão do condutor, dimensionados para direcionamento da água captada para o reservatório d'água.

Tabela 10 - Dimensionamento dos condutores horizontais, 25x15cm em aço.

Seção molhada (S)					
Variáveis:	b	y			
	0,25	0,15			
S	0,0375				

Raio Hidráulico (Rh)					
Variáveis:	b	y			
	0,25	0,15			
Rh	0,068182				

Vazão de Projeto (Q)					
Variáveis:	K	S	n	Rh	i
	60000	0,0375	0,11	0,068182	0,02
Q	482,78 L/min				

Fonte: Autoria própria.

A vazão de condutor obtida, tendo as dimensões de base e altura útil da seção molhada, respectivamente, foi de 482,78 L/min, portanto superior à vazão de captação da cobertura, estimada na Tabela 7, de 379,01 L/min. A NBR 10844/89 também informa valores de vazão para condutores semicirculares com medidas comerciais; de acordo com a Tabela 4, um condutor com 125mm de diâmetro, confeccionado em material com coeficiente de rugosidade $n = 0,11$ (plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos) e inclinação de 2% possui vazão calculada em 466 L/min, onde também atenderia a necessidade do projeto.

Previsão de consumo

O consumo da edificação foi medido seguindo as orientações dada através da análise de consumo internas e externas, direcionado para os equipamentos e utilizações passíveis de uso não potável da água, de

acordo com a Tabela 11. Foram utilizadas variáveis e equações segundo método de avaliação de Tomaz (2009) e valores para variáveis de usos externos de Pereira (2018).

Tabela 11 - Previsão de consumo não potável da residência.

Usos internos	Nº de pessoas	Peso de Utilização	Consumo	30 dias/1000	Volume
		descarga/pessoa/dia	litros p/ descarga		(m³/mês)
Descarga Sanitária	2	5	9	0,03	2,7
		carga/pessoa/dia	litros p/ ciclo		
Lavagem de roupas	2	0,2	170	0,03	2,04
Usos externos	Variável	Peso de Utilização	Consumo	30 dias/1000	
	Área (m²)	litros/dia/m²	12		
			vezes/mês		
Jardim	50	1,5	0,4	0,03	0,9
	Unidades	litros/lavagem	2		
			vezes/mês		

Limpeza automotiva	2	50	0,002	0,2
Volume total por mês (m³):				5,84

Fonte: Autoria própria.

A análise de consumo levou em consideração o atual perfil de utilização dos moradores, considerando que a residência é habitada por duas pessoas, com dois carros e a manutenção de um jardim com 50,00m², de acordo com o proprietário.

Dimensionamento do reservatório

Segundo o método de Rippl, utilizou-se as médias de precipitação mensais no intervalo de janeiro de 2018 a dezembro do mesmo ano para obtenção dos valores pluviométricos e dimensionamento do sistema, de acordo com a Tabela 12:

Tabela 12 - Dimensionamento pelo método de Rippl.

Meses	Chuva média mensal (Est 67 - APAC) (mm)	Demanda mensal (m³)	Área de Captação (m²)	Volume da Chuva Mensal (m³)	Diferença entre volume de demanda e volume de chuva (m³)	Diferença acumulada (m³)
Jan	17,5	5,84	171,68	2,40352	3,43648	3,43648
Fev	140,5	5,84	171,68	19,296832	-13,456832	0
Mar	49	5,84	171,68	6,729856	-0,889856	0
Abr	186	5,84	171,68	25,545984	-19,705984	0
Mai	45,5	5,84	171,68	6,249152	-0,409152	0
Jun	21	5,84	171,68	2,884224	2,955776	2,955776
Jul	10	5,84	171,68	1,37344	4,46656	4,46656
Ago	10	5,84	171,68	1,37344	4,46656	4,46656
Set	3,5	5,84	171,68	0,480704	5,359296	5,359296
Out	1	5,84	171,68	0,137344	5,702656	5,702656
Nov	3	5,84	171,68	0,412032	5,427968	5,427968
Dez	17	5,84	171,68	2,334848	3,505152	3,505152

Total	504	70,08	69,221376	Volume:	35,32
Coefficiente de Runoff (CR)		0,8			

Fonte: Aatoria própria.

O método Alemão utiliza das mesmas informações pluviométricas que o método de Rippl, e foi dimensionado de acordo com a Tabela 13:

Tabela 13 - Dimensionamento de tanque pelo método alemão.

Meses	Chuva média mensal (Est 67 - APAC) (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume da Captação Mensal (m ³)
Jan	17,5	5,84	171,68	25,26580224
Fev	140,5	5,84	171,68	202,848298
Mar	49	5,84	171,68	70,74424627
Abr	186	5,84	171,68	268,5393838
Mai	45,5	5,84	171,68	65,69108582
Jun	21	5,84	171,68	30,31896269
Jul	10	5,84	171,68	14,43760128
Ago	10	5,84	171,68	14,43760128
Set	3,5	5,84	171,68	5,053160448
Out	1	5,84	171,68	1,443760128
Nov	3	5,84	171,68	4,331280384
Dez	17	5,84	171,68	24,54392218
Total	504	70,08		727,6551045
	Vadot. =	8,4096		87,32

Fonte: Autoria própria.

O método de Azevedo Neto não considera a demanda de utilização do sistema, apenas manipulando

os índices pluviométricos anuais, foram utilizadas as mesmas informações pluviométricas da estação em questão para o cálculo descrito na Tabela 14:

Tabela 14 - Dimensionamento pelo método de Azevedo Neto.

Meses	Chuva média mensal (Est 67 - APAC) (mm)	Meses com Pouca Chuva	Área de Captação (m²)
Jan	17,5	5	171,68
Fev	140,5		
Mar	49		
Abr	186		
Mai	45,5		
Jun	21		
Jul	10		
Ago	10	Volume do tanque de reservatório (L) 1514,22	
Set	3,5		
Out	1		
Nov	3		
Dez	17		
Média Anual	42		

Fonte: Autoria própria.

O método de Australiano retrata mais um método empírico, onde foi determinado o volume mensal levando em consideração o volume de água captada e o volume presente acumulado, com seus valores obtidos de acordo com a Tabela 15:

Tabela 15 - Dimensionamento do tanque pelo método prático Australiano.

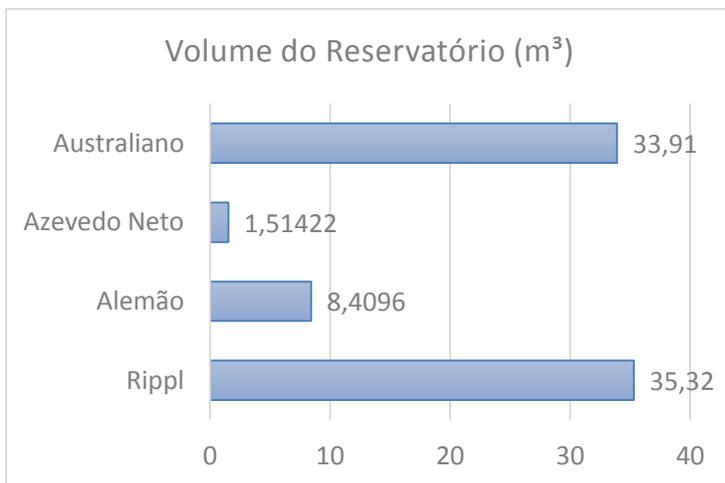
Meses	Chuva média mensal (Est 67 - APAC) (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de Captação (m ²)	Índice de perdas mensais (mm)	Volume da Chuva Mensal (m ³)	Volume do tanque ao mês (m ³)	Eficácia do sistema (Pr)
Jan	17,5	5,84	171,68	1	2,266176	0	0,083
Fev	140,5	5,84	171,68	1	19,159488	13,319488	Confiança 92% CR = 0,8
Mar	49	5,84	171,68	1	6,592512	14,072	
Abr	186	5,84	171,68	1	25,40864	33,64064	
Mai	45,5	5,84	171,68	1	6,111808	33,912448	
Jun	21	5,84	171,68	1	2,74688	30,819328	
Jul	10	5,84	171,68	1	1,236096	26,215424	
Ago	10	5,84	171,68	1	1,236096	21,61152	
Set	3,5	5,84	171,68	1	0,34336	16,11488	
Out	1	5,84	171,68	1	0	10,27488	
Nov	3	5,84	171,68	1	0,274688	4,709568	
Dez	17	5,84	171,68	1	2,197504	3,43648	

Total	504	70,08	Vol. Adot:	33,91
--------------	-----	-------	-------------------	--------------

Fonte: Aatoria própria.

Os volumes de tanque dentre os métodos calculados apresentaram variações, pois os métodos práticos apresentam pouca sensibilidade no que se refere as variações presentes na demanda de uso do sistema como também da área utilizada para efetuar a captação da água (MORUZZI e OLIVEIRA, 2010). Informações que podem ser conferidas no gráfico representado pela Figura 7, onde apresenta-se os resultados para os dimensionamentos

Figura 7 - Gráfico de comparação de volume do reservatório pelos diferentes métodos empregados na presente pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

As metodologias de Azevedo Neto e Alemã levam em consideração as médias de precipitação no intervalo de um ano e não consideram os fatores naturais que podem acontecer, como o fenômeno El Niño, em seus cálculos. Esse fato pode gerar superdimensionamento ou subdimensionamento do sistema.

No dimensionamento do tanque de armazenamento pela metodologia prática Alemã nota-se a ausência de variáveis também carente na metodologia de Azevedo Neto, possuindo apenas a diferença de utilizar o menor valor de captação aproveitada e a necessidade da demanda do sistema.

A demanda de utilização é um fator de grande relevância para ser analisado no dimensionamento do sistema, pois, idealiza-se que o sistema tenha a autonomia de funcionar independentemente do sistema de água potável da edificação. Persistindo nesse ponto, percebe-se que as metodologias práticas não atentam a esse quesito, podendo inconsistências

Na metodologia de Rippl, considerando as mesmas condições pluviométricas e a mesma demanda

de água, nota-se que quanto maior a área de captação, menor o volume do reservatório de armazenamento.

Sistema de bombeamento da água armazenada

Bombear a água captada do reservatório de captação até o reservatório de distribuição para o sistema hidráulico é dado através de um conjunto motobomba instalado em nível do solo. A proposta será de mensurar o gasto médio com energia elétrica necessário para funcionamento do sistema de captação, considerando algumas variáveis, como as distâncias e cotas para funcionamento do sistema.

Sendo considerado que o tanque de abastecimento ficará em nível do solo e o sistema de distribuição da residência sendo trifásico, foi escolhida a bomba do tipo centrífuga, trifásica, com potência de 1/3cv e vazão de 5m/h³ para atender a 12 mca, da marca Dancor, modelo CP-4 / CP-4R, com capacidade de suporte máxima de 19 mca, sendo instalada para atender à um bombeamento com 8m de altura e um comprimento total de tubulação de 10m. Para verificar o custo de utilização do sistema de bombeamento utilizou-se a

equação 17, descrita no capítulo anterior, onde obteve-se os resultados descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Previsão de custo mensal na utilização do conjunto motobomba.

Potência da bomba	
Cv	1/3 ou 0,33
kW	0,24
Capacidade de bombeamento para 12mca (m ³ /h)	5
Demanda Mensal (m³)	5,84
Custo mensal (R\$)	R\$ 0,22
Variáveis:	
Pmb (kW)	0,24
t (h/mês)	1,168
V (R\$.kWh ⁽⁻¹⁾)	R\$ 0,78

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, a bomba entrará em atuação num total de 1,45h ao mês, ou 87min para abastecimento a fim de atender a demanda mensal, custando R\$ 0,27 ao mês.

CONCLUSÃO

Seguindo os resultados obtidos com as simulações, note-se que a região estudada possui

capacidade para atender a demanda de utilização do sistema de reutilização de águas pluviais, porém, a metodologia de dimensionamento do tanque de armazenamento da água coletada pode influenciar na eficácia do projeto ao longo dos meses do ano, causando indisponibilidade de água armazenada em períodos de pouca chuva, como por exemplo as metodologias de cálculo e Azevedo neto e o método alemão, que não atendem à demanda mensal.

A grande área de captação é um fator crucial para abastecimento de coleta d'água, atendendo às necessidades de captação e armazenamento dos tanques de abastecimento.

Devido aos períodos de pouca chuva ou estiagem presentes na região, os parâmetros de eficácia do sistema nem sempre será um fator decisivo para utilização do sistema, pois, devido às metodologias aplicadas, se faz necessário a instalação de um grande reservatório a fim de atender a demanda contínua pelo sistema, podendo ser inviável de acordo com a área disponível para a instalação do tanque reservatório.

As metodologias aplicadas nesse trabalho, presentes na NBR 15527/07, apresentam valores

diferentes de tanques reservatórios, por conta das metodologias e variáveis consideradas nos diferentes processos de dimensionamento. Dentre as metodologias aplicadas no caso em questão, o método de Rippl e o método prático Australiano foram os que apresentaram maior semelhança entre os resultados, sendo este último entregando maior confiança por considerar os índices pluviométricos mensais, para, dentro de um período ou mais, determinar o volume do tanque de armazenamento da água da chuva, considerando perdas devido a fatores externos e taxas de erro para verificação percentual do funcionamento do sistema.

Ao analisar os dimensionamentos, verifica-se que é recomendado a utilização do método prático Australiano ou o método de Rippl para a demanda contínua do sistema de reutilização de águas pluviais. A escolha da metodologia prática Alemã em comparativo a metodologia prática Australiana, resultara num reservatório com 24,74% da autonomia necessária, sendo os 75,26% sendo contemplados pelo serviço de distribuição de abastecimento potável, seguindo a mesma analogia, em caso de escolha da metodologia de Azevedo Neto, se alcançará apenas 4,45% da demanda necessária,

dificultando a eficácia e as vantagens de utilização do sistema.

O custo elétrico necessário para funcionamento do conjunto motobomba no sistema não apresentou relevância significativa para custos mensais, apresentando um baixo valor, favorecendo a aplicabilidade do sistema de reutilização de águas pluviais.

Alguns métodos de incentivo de instalação de sistemas de reutilização de águas pluviais podem ser estudados por parte dos órgãos governamentais, visto que a utilização do sistema otimiza o uso da água. Tais isenções podem contemplar redução das taxas municipais, como IPTU, cobrada para edificações. Medidas de incentivo podem gerar maior participação por parte da população, pois, acarretaria em benefícios financeiros e conservação do bem hídrico para melhor distribuição dentre necessidades mais específicas de consumo.

Além do analisado, em projetos futuros, propõe-se a análise de custo de implantação, tempo de retorno do custo e os impactos financeiros positivo na instalação do

sistema, visto que, tal sistema pode se tornar um atrativo para fins comerciais, valorizando o imóvel.

REFERÊNCIAS

ALVES, F.; Kolchling, T.; Lux, J.; Santos, S. M.; Gavazza, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. *Journal Of Water And Health*, Londres, v. 12, n. 3, p.513-525, 2014. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2014.139>.

BRASIL. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Água no mundo: Situação da Água no Mundo*. 2018. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo#wrapper>>. Acesso em: 08 set. 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. CENSO DEMOGRÁFICO 2010: características da população e dos domicílios: resultados do universo. In: *IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática*. Rio de Janeiro, 2011a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/9/3/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf>. Acesso em: 20 de jun. 2019.

CAMPOS, M.A.S. et al. Sistema de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS*, 10. 2007, São Carlos. Anais...São Carlos: UFSCar, 2007.

CHUBAKA, C. E. A Review of Roof Harvested Rainwater in Australia. *Journal Of Environmental And Public Health*, [s.l.], v. 2018, p.1-14, 2018. Hindawi Limited.
<http://dx.doi.org/10.1155/2018/6471324>.

DING, G. K. C. Recycling and Reuse of Rainwater and Stormwater. *Encyclopedia Of Sustainable Technologies*, [s.l.], p.69-76, 2017. Elsevier.
<http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10169-1>.

MERKEL, A. (Org.). *CLIMA SAIRÉ*. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/saire-43128/?amp=true>>. Acesso em: 12 out. 2019.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Aplicação de Programa Computacional no Dimensionamento de Volume de Reservatório Para Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial da Cidade de Ponta Grossa, PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 2, n. 1, p. 36-48, abr. 2010.

Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Ipojuca: *Tomo I – Diagnóstico Hidroambiental – Volume 01/03*, Projetos Técnicos. Recife, 2010. 339 p. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/down/PHA_Ipojuca_TOMO_I_VOL_1_Diagnostico_10.09.11.pdf>. Acesso em: 12 de mai. 2019.

ROCHA, V.L. *Análise comparativa entre o método de Rippl e o programa computacional Netuno para dimensionamento de reservatórios destinados ao armazenamento de águas pluviais*. Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água em Edificações, Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TOMAZ, P. *Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis*. Navegar Editora, São Paulo, 2009.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

CAPÍTULO 5



ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA O POLO COMERCIAL DE CARUARU- PE

Micélia Cris Laurindo da Silva¹
Eduardo Cabral da Silva²
Nayara Michele Silva de Lima³
Luciana de Omena Gusmão⁴

RESUMO

O aproveitamento de águas da chuva, é uma técnica utilizada a vários anos pelos humanos a fim de evitar desperdícios de recursos hídricos. Esse sistema de reuso representa vários benefícios, como a

¹ Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden, micelialaurindo@yahoo.com.br.

² Doutor em Engenharia Civil. Centro Universitário Unifavip/Wyden, eduardo.silva@unifavip.edu.br.

³ Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unifavip/Wyden, nayaramichelelima@gmail.com.

⁴ Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, log.gusmao2010@gmail.com.

diminuição de custos associados ao processo de captação e mitigação de enchentes, principalmente em áreas urbanas. Assim sendo, este estudo propôs a análise da viabilidade para implantação do sistema de captação e armazenamento para reuso das águas pluviais no Polo Comercial de Caruaru, Pernambuco. A pesquisa utilizou além da pesquisa bibliográfica, da análise de projetos do prédio e de visitas constantes ao empreendimento para obtenção dos dados, como, quantidade de água para irrigação dos jardins, vasos sanitários e lavagens de pisos. O dimensionamento do reservatório foi realizado pelo método Rippl. Por meio das análises, constatou-se a implantação do projeto supriria 83,73% da demanda de água do empreendimento, tornando-o quase autossustentável em termos hídricos. O valor orçado para o empreendimento foi de R\$ 178.744,69 com tempo de retorno do valor do investimento de, aproximadamente, 13 anos, considerando que o sistema seja implantado no período de estiagem. Entretanto, se a implantação ocorrer entre janeiro e junho, período chuvoso na região, o tempo de retorno poderá ser reduzido para 5 anos. Além da viabilidade econômica, o empreendimento ainda apresenta alta viabilidade técnica, haja vista que os equipamentos necessários e a mão-de-obra empregada são de fácil acesso e comumente disponíveis na região. A redução de água da companhia e de fontes alternativas já evidenciam a viabilidade ambiental do projeto.

Palavras-chave: Gestão. Recursos Hídricos. Sustentabilidade. Agreste de Pernambuco.

INTRODUÇÃO

A água potável é um recurso natural finito e essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (BERNARDI, 2003).

Segundo Victorino (2007) a superfície terrestre, possui cerca de 3/4 de ocupação por água, desta massa apenas 3% são de água doce, dos quais apenas 20% encontram-se disponíveis para consumo direto. Além disso, a distribuição desigual da água pelas diferentes regiões do planeta faz com que haja escassez deste recurso em diversos países.

Uma opção para mitigar este problema é fazer o reuso de água pluvial. Reutilizar água apresenta benefícios que, além da preservação do meio ambiente e economia de energia, reduz a demanda nas

águas de superfície e subterrânea. O uso de forma correta da água representa uma economia positiva para consumidores, empresas, e a população de modo geral. A água de reuso pode ser aplicada em diversas situações, como, irrigação de jardins, reserva de proteção contra incêndios, lavagens de pisos, em descargas de vasos sanitários, entre outros.

Em diversos países do mundo, o reuso da água já é uma solução adotada com sucesso em diversos processos. Carvalho et al. (2014) fala da reutilização dos efluentes por países como Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa, onde possuem política específica para o desenvolvimento desta atividade. Países que tem implantado esses sistemas apresentam cerca de 15% de economia nos serviços de abastecimento público de água com o reaproveitamento da chuva.

Em estudos realizados por Sampaio (2015), fala de indústrias, shopping, supermercados e prédios que já utilizam a água da chuva para fins não potáveis, cidades como São Paulo, Curitiba, Santo André, Foz

do Iguaçu e Recife já dispõem de leis a respeito. Com o mau uso da água potável, se tornou cada vez mais necessário a conscientização da sociedade quanto ao uso racional d'água, sobretudo, a utilização da água da chuva.

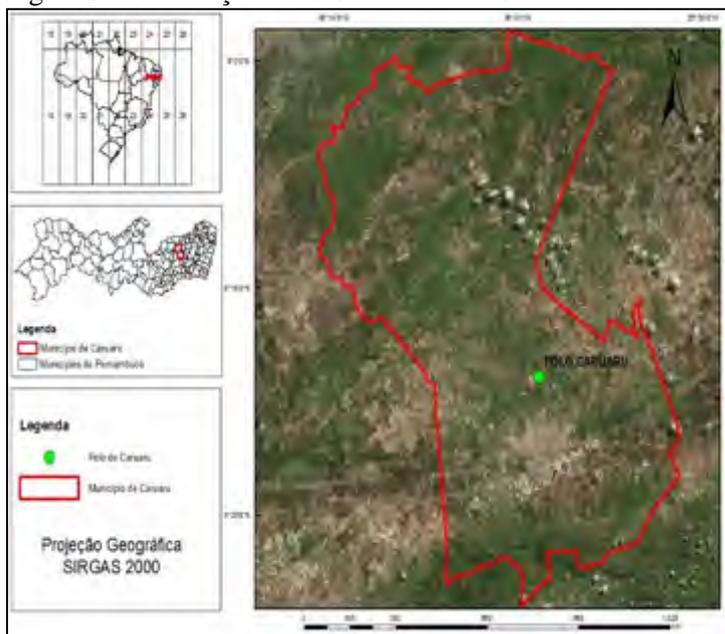
Objetivou-se com a presente pesquisa, estudar a viabilidade do reaproveitamento de águas pluviais para a área do Polo Comercial de Caruaru, mostrando que além de ecologicamente correto, o sistema pode trazer uma economia interessante para o estabelecimento, onde há uma demanda de água significativa para lavagens de pisos e descargas dos vasos sanitários. O fato da água utilizada nestes serviços não necessitar de tratamento elementar, reduz o investimento de implementação e torna o projeto viável a curto prazo, tomando como exemplo a utilização em diversos países do mundo o reuso planejado da água já é uma solução adotada com sucesso em diversos processos.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O Polo Comercial de Caruaru destaca-se como um dos principais centros de compras do polo de confecções do agreste pernambucano. O empreendimento situa-se no km 62 da BR-104, nas coordenadas geográficas 8° 14' 24'' Sul e 35° 58' 48'' Oeste (Figura 1), em uma das principais vias de acesso para as cidades vizinhas que constituem o polo de confecções.

Figura 3. Localização Polo Comercial de Caruaru.



Fonte: autor, 2018.

O prédio do Polo tem uma estrutura de cobertura de 64 mil m² (Figura 2). O prédio tem divisões por módulos, sendo estes divididos em quatro, dos quais três são de lojas, quiosques e boxes, e o quarto módulo abriga o grande empreendimento. São três mil vagas para estacionamento de veículos, compreendendo espaços para motos, veículos de auto

passaio, ônibus e micro-ônibus (POLO DE CONFECÇÕES DE PERNAMBUCO, 2018).

Figura 4. Área coberta Polo Comercial de Caruaru.



Fonte: Google Earth (2018).

Determinou-se a demanda de consumo de água não potável, onde poderá ser utilizada água de reuso ou reciclada, utilizado pelo Polo Comercial de Caruaru. A capacidade de coleta de água foi dada pela análise do projeto de coberta, material utilizado e sua

declividade, assim como levantamento de campo para quantificar os pontos de utilização.

Para quantificar a área de contribuição do local em estudo, através da cobertura foi determinado com base na NBR 10844/1989, por meio da Equação 1, analisando a disposição de águas do telhado do empreendimento conforme disposto na Figura 9 abaixo.

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right)b \quad (1)$$

Onde A é a área de contribuição (m²), a é a base do triângulo formado pela meia água do telhado, b é o comprimento do telhado e h é a altura, da base ao topo do telhado.

O volume de água captado foi determinado pelo método sugerido na NBR 15527/07, indicado na Eq. 2.

$$V = P * A * C * \eta_f \quad (2)$$

Onde V é o mensal de chuva efetivamente aproveitado, P a precipitação média máxima mensal, obtida por meio da Eq. 3 (COUTINHO et al., 2010), A é área de coleta, C é o fator de captação (adotado 0,80) e η_f é o coeficiente de runoff (igual a 0,90, referente a telhas metálicas).

$$i = \frac{228,02 \cdot TR^{0,2129}}{(t+2,830777)^{0,558067}} \quad (3)$$

Onde i é a intensidade da chuva em (mm.h-1), TR é o tempo de retorno (anos), t é a duração da chuva (minutos).

A vazão de projeto foi calculada conforme a NBR 10844/89, por meio da Eq. 4.

$$Q = \frac{i \cdot A}{60} \quad (4)$$

Onde Q é a vazão de projeto (L/min), i (mm/h) a intensidade pluviométrica (t de 5 min e TR de 20 anos) e A a área de contribuição (m²).

O dimensionamento das calhas foi realizado por meio da Eq. 5, de Manning-Strickler, e levando-se em consideração os coeficientes de rugosidade do material utilizado no telhado.

$$Q = K * \frac{S}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Onde Q é a vazão da calha (L/min), S é área molhada (m²), RH é o raio hidráulico (m), I é a declividade da calha (m/m), n é o coeficiente de rugosidade (adotado 0,011 para o aço) e K é 60.000, para transformar a vazão de m³/s para L/min.

O raio hidráulico também pode ser obtido pela razão entre a área molhada e o perímetro molhado (P em metros).

O dimensionamento dos condutores verticais foi realizado com base nos dados de vazão, altura e comprimento dos condutores com o auxílio do ábaco disponível na NBR 10.844/89. Os condutores horizontais foram dimensionados pela fórmula de

Manning-Strickler (Eq. 5) e considerando uma altura de lâmina igual a $2/3$ do diâmetro.

O dimensionamento do reservatório de águas pluviais foi realizado pelo método de Rippl, conforme recomenda a NBR 15527/07.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Demanda x dados pluviométricos

A demanda para uso em fins menos nobres que o polo comercial necessita está detalhada na Tabela 1, assim como, a descrição da utilização da água e sua frequência.

Tabela 1: Consumo de água por área.

Área para limpeza	Qtde. de água consumida (l)	Frequência
Jardinagem	10.000	Quinzenal, ou conforme abastecimento da concessionária
Lavagem de piso	180	Máquina de limpeza de piso uso diário
Lavagem praça de alimentação	45	Diária

Fonte: Autoria própria.

Para atender tal demanda o objeto de estudo necessita de uma média de volume anual de 2.872,96 m³ (Figura 10), Conforme Tabela 2:

Tabela 2: Média de consumo mensal do objeto de estudo.

MÊS	MÉDIA (m³)
JANEIRO	2.672,00
FEVEREIRO	3.834,55
MARÇO	3.199,00
ABRIL	2.890,00
MAIO	2.949,00
JUNHO	5.021,00
JULHO	1.709,00
AGOSTO	3.036,00
SETEMBRO	1.425,00
OUTUBRO	3.738,00
NOVEMBRO	2.238,00
DEZEMBRO	1.764,00
TOTAL	34.475,55
MÉDIA	2.872,96

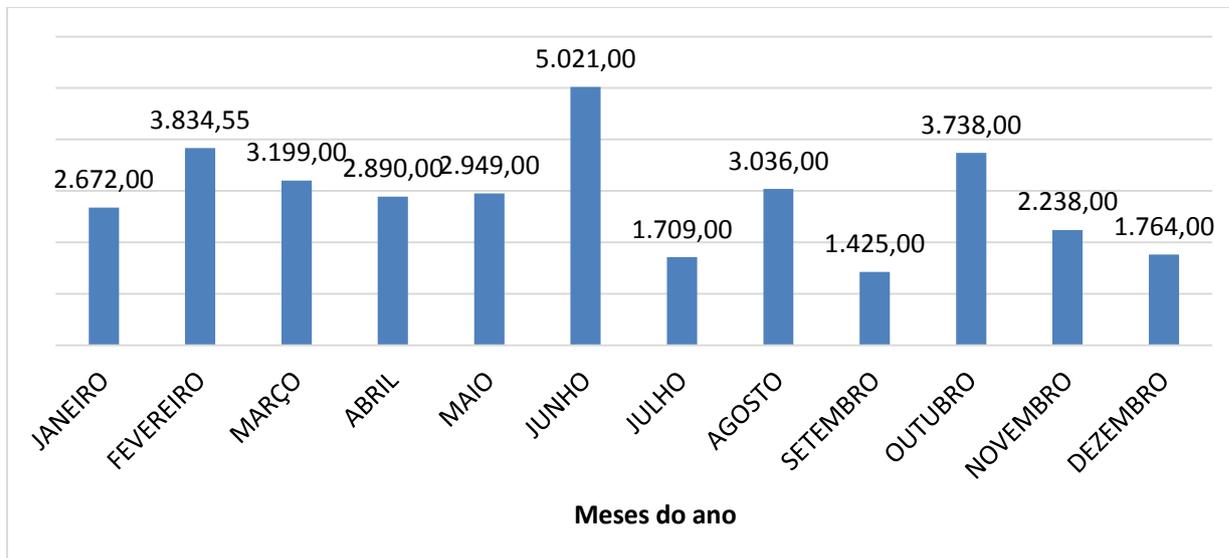
Fonte: Autoria própria.

Destes meses destaca-se o mês de junho, que apresenta o maior volume consumido com 5.021,00 m³, esse crescimento justifica-se pelo polo turístico na

região neste período do ano, correspondente as festas juninas e fluxo turístico que aumenta consideravelmente. Ressalta-se ainda que o mês de menor movimento, corresponde a setembro com apenas 1.425,00 consumidos, baixa temporada em que não há eventos de grande porte na região como são as festas juninas (Figura 3).

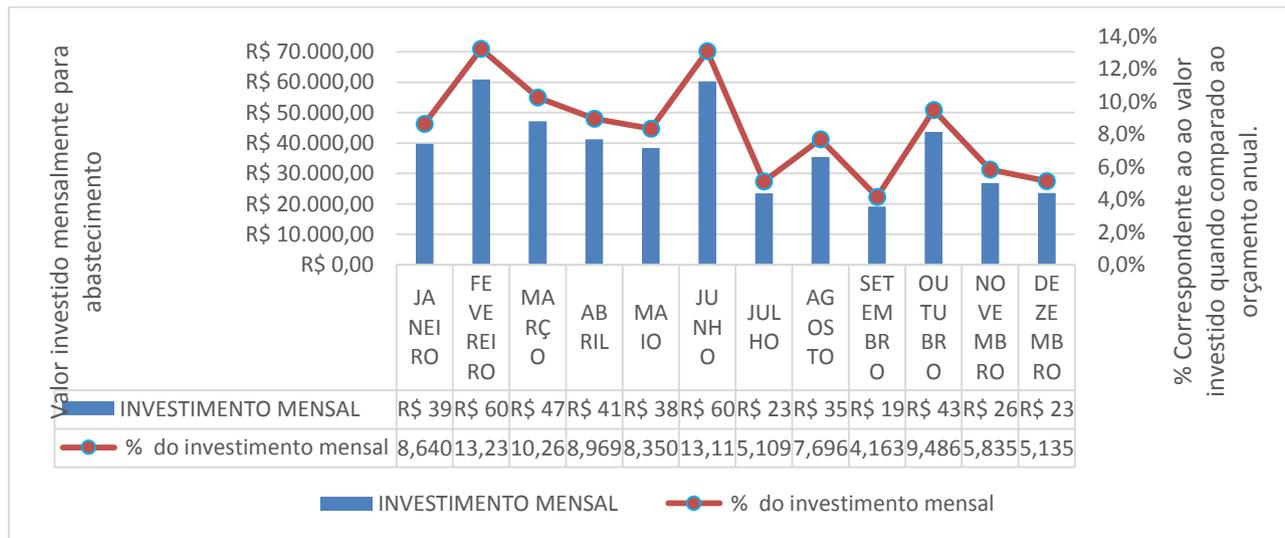
Para este volume o Polo Comercial de Caruaru, utiliza de água concessionada, e complementa com o abastecimento por caminhões pipas e investe anualmente em torno de R\$ 459.951,03 (Figura 10), tendo uma média mensal de R\$ 38.329,25 destacando-se o mês de junho que corresponde a 13,114% (Figura 4) da receita anual total destinada ao abastecimento de água, corroborando com os dados apresentados na Figura 10, período também que aumenta consideravelmente o fluxo turístico.

Figura 35: Consumo médio de água potável (m3) requerido pelo Polo de Caruaru para o ano de 2017.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Comparativo entre o valor investido mensalmente x impacto % no orçamento anual.

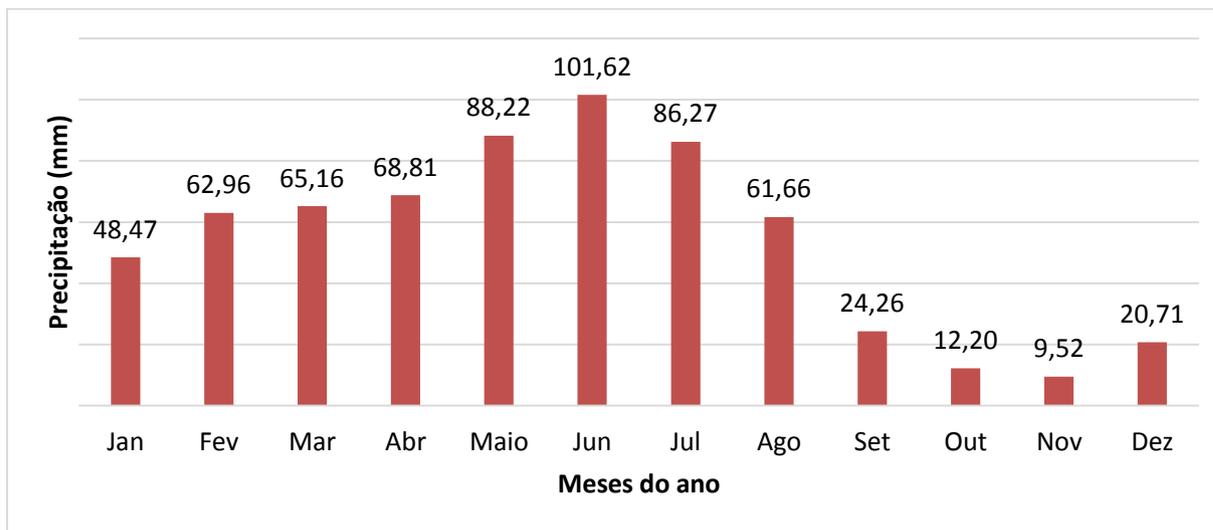


Fonte: Autoria própria.

Para uma análise dos dados pluviométrico e posterior comparação entre o volume consumido e o volume que pode ser utilizado de águas pluviais, utilizou-se dados fornecidos pela APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, para mensuração da precipitação média mensal para os anos entre 1997 a 2017, correspondente ao posto pluviométrico situado na cidade de Caruaru (código 24 da APAC).

Observou-se que o primeiro semestre do ano apresenta período mais contínuos de chuvas, entretanto de agosto a setembro há uma redução cerca de 36,34% (Figura 5).

Figura 56: Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica do município de Caruaru para o período entre 1997 e 2017.



Fonte: Autoria própria.

A soma dos três meses mais críticos, que correspondem a setembro, outubro e novembro totalizam 45,99 mm, representa apenas 4,04 % quando analisado a soma das médias dos anos, entretanto o trimestre entre maio e julho apresenta o maior índice pluviométrico, 276,11 mm, um total de aproximadamente 24,28% apenas em três meses, demonstrando a má distribuição das chuvas durante todo o período do ano. No Apêndice B observa-se o detalhamento de toda a temporada observada.

Quando avaliado a distribuição anual, apenas dois dos anos do período analisado apresentaram índices superior a 1.000 mm, 2004 apresenta o maior índice, com 1.022,70 mm de precipitação, seguido de 2011 com 1.016,70 mm, enquanto 1998, apresenta o menor índice, com apenas 342,20 mm, um volume apenas um pouco maior do que o precipitado em junho de 2010, com 314,70 mm.

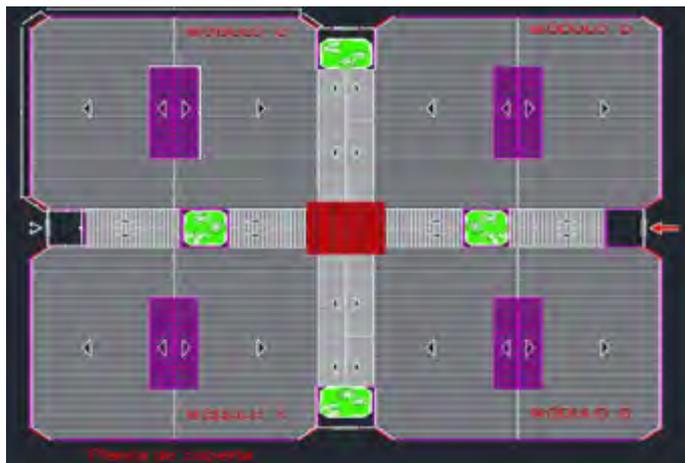
Esta má distribuição, ocorre de forma semelhante quando analisado a média mensal do período considerado, Rosendo (2017), relata sobre

essa má distribuição de chuvas na região. O autor relata que em Santa Cruz do Capibaribe, cidade próxima a Caruaru, o período de estiagem corresponde a quase todo segundo semestre iniciando-se em meados de agosto e se estende até o final de dezembro, apesar do período crítico na cidade onde está localizado o objeto de estudo, ser menor em relação ao relatado por Rosendo em sua pesquisa, observa-se a similaridade da precipitação na região e a irregularidade de distribuição.

Área de contribuição e potencial de captação

Analisando o projeto de cobertura do Polo Comercial, observa-se que a cobertura abrange uma área total de 50.514, 888 m², sendo distribuídos em 4 extensões, nomeadas como A, B, C, e D, cada modulação contém 12.628,722 m², distribuída em quatro águas e duas cumeeiras, conforme, ilustra a Figura 6.

Figura 6: Planta de cobertura Polo Comercial de Caruaru.



Fonte: Polo Comercial de Caruaru (2018).

Cada setor do empreendimento possui geometria semelhante, com um perímetro total de 426,92 m. O cálculo da área de contribuição toma como base a disposição da cobertura, e fundamentado na NBR 10844/1989 que se baseia conforme equação 2, citado no item 3.4.2, demonstra uma intensidade média de 21,200 mm.

O resultado se apresenta satisfatório para implantação do sistema, que corrobora com os dados do potencial da captação mensal (Tabela 5) baseado

como proposto pelo coeficiente de Runoff (Equação 3).

Tabela 3: Potencial de captação média mensal referente a série histórica entre Jan/ 1997 a Dez/ 2017.

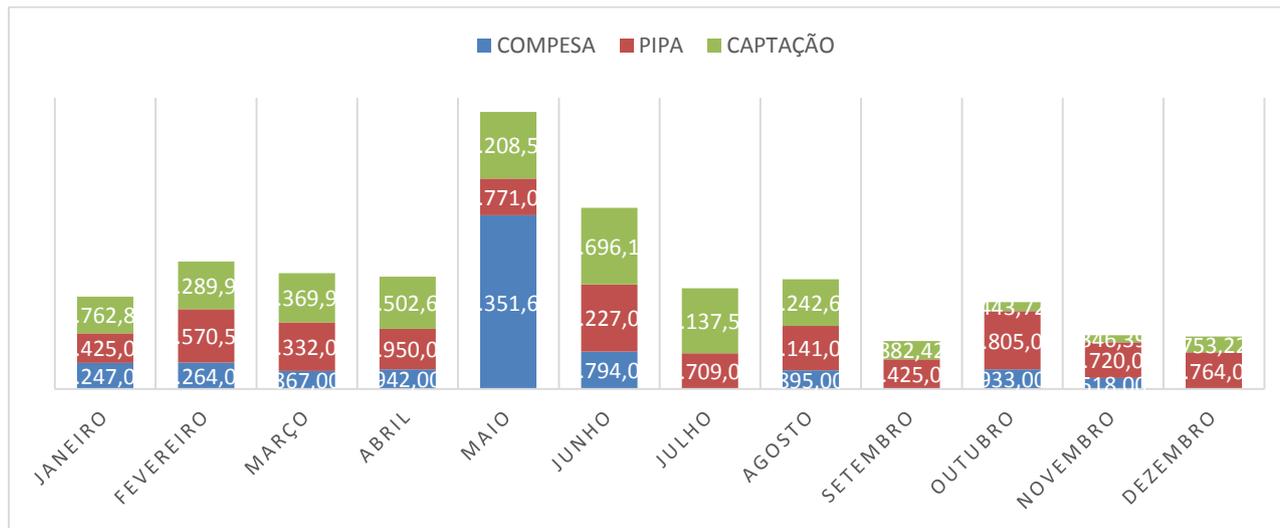
MESES	Precipitação média (mm)	Área de captação (m²)	Fator de capacidade	Coefficiente de Runoff	Volume captado (m³)
Janeiro	48,47	50.514,89	0,80	0,90	1.762,82
Fevereiro	62,96	50.514,89	0,80	0,90	2.289,97
Março	65,16	50.514,89	0,80	0,90	2.369,99
Abril	68,81	50.514,89	0,80	0,90	2.502,65
Maiο	88,22	50.514,89	0,80	0,90	3.208,59
Junho	101,62	50.514,89	0,80	0,90	3.696,13
Julho	86,27	50.514,89	0,80	0,90	3.137,58
Agosto	61,66	50.514,89	0,80	0,90	2.242,69
Setembro	24,26	50.514,89	0,80	0,90	882,42
Outubro	12,20	50.514,89	0,80	0,90	443,72
Novembro	9,52	50.514,89	0,80	0,90	346,39
Dezembro	20,71	50.514,89	0,80	0,90	753,22

Fonte: Autoria própria.

Conforme a tabela acima, o sistema de captação atenderá quase integralmente o sistema de abastecimento de água potável, se comparada com a média anual de consumo corresponde a 2.872,96 m³ como ressalta a Figura 10, os meses de alta dos índices pluviométricos entre maio e julho atenderá e superará esta demanda, enquanto os demais meses em que há um déficit na oferta pluviométrica, não atingiram a média mensal proposta, porém poderá reduzir consideravelmente o consumo de água por caminhões pipas e água concessionada.

A Figura 14 demonstra que se confrontado o volume em m³ necessários a partir do provimento por água concessionada, caminhões pipa para estas duas modalidades tomando como base os dados fornecidos para ano de 2017 e a capacidade de captação da coberta, com a média de precipitação entre os anos de 1997 e 2017 e aplicado pelo método do coeficiente de Runoff.

Figura 7: Volumes médio consumido por cada modalidade de fornecimento.



Fonte: Autoria própria.

O mês de maio, apresenta o maior déficit entre o volume captado e o volume consumido, tomando como amostragem o ano de 2017 e a média de capacitação do período, enquanto o mês de abril apresenta os valores mais próximo entre as duas situações analisadas (Tabela 3).

Tabela 3: Déficit entre volume consumido e volume captado.

Mês	Volume consumido em 2017		Média para o período	Déficit
	COMPESA	PIPA	CAPTAÇÃO	
JANEIRO	1.247,00	1.425,00	1.762,82	909,18
FEVEREIRO	1.264,00	2.570,55	2.289,97	1.544,58
MARÇO	867,00	2.332,00	2.369,99	829,01
ABRIL	942,00	1.950,00	2.502,65	389,35
MAIO	8.351,62	1.771,00	3.208,59	6.914,03
JUNHO	1.794,00	3.227,00	3.696,13	1.324,87
JULHO		1.709,00	3.137,58	-1.428,58
AGOSTO	895,00	2.141,00	2.242,69	793,31
SETEMBRO		1.425,00	882,42	542,58
OUTUBRO	933,00	2.805,00	443,72	3.294,28
NOVEMBRO	518,00	1.720,00	346,39	1.891,61
DEZEMBRO		1.764,00	753,22	1.010,78

Fonte: Autoria própria.

Apesar de junho apresentar o maior índice pluviométrico, devido as festas juninas o consumo também apresenta valores alto, enquanto julho, que o volume de precipitação se mantém alto, e o consumo reduz drasticamente observa-se um saldo de 1.428,58 m³ além da demanda necessária para o empreendimento.

Dimensionamento do reservatório

Optou-se por utilizar o método de Rippl, conhecido como métodos das massas, empregou-se para os cálculos os dados de índices pluviométricos para os anos entre 1997 e 2017, coletados pelo posto 24, localizado na cidade do objeto de estudo (Apêndice A).

O volume do reservatório tomou-se como referência a média do consumo para os meses estudados, com uma capacidade mínima de 2.872,96 m³. Sendo capaz de complementar o uso para fins menos nobres, determinou-se que o reservatório terá

medidas de 25 x 24 x 5 m, totalizando 3.000,00 m³, valor um pouco maior do que o mínimo solicitado.

Optou-se por um reservatório mais extenso e menos profundo devido ao solo da região apresentar rocha já nos primeiros metros de escavação, o que necessitaria de escavação em solo de 3º categoria, e encareceria o valor do orçamento para implantação.

Análise da viabilidade técnica e econômica do sistema

Através da análise de projetos com base nas normas citadas anteriormente, além de analisar as legislações vigentes no Brasil para a implantação do sistema de captação e reuso de águas pluviais no Polo comercial de Caruaru. A viabilidade de implantação foi analisada a partir de orçamento de implantação e sua eficiência que demonstra que a implantação tem eficiência de 83,73% para o período histórico analisado.

Ressalta-se que o empreendimento, já contém toda a rede de coletores e tubulações para direcionar

a captação ao futuro reservatório, necessitando apenas dimensionar e mensurar o valor para implantação do reservatório, conforme medidas especificadas no item 4.3. Com base nestes dados, montou-se um orçamento conforme Tabela 4, utilizando itens retirados com base na SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção e um BDI de 22%.

O orçamento totalizou R\$ 178.744,69, ao analisa-se dados da COMPESA, verificou-se que a taxa cobrada para empreendimentos custa R\$ 11,72/m³ para abastecimento. Conforme Apêndice B analisando o índice pluviométrico tem uma média de precipitação de 1.137,27 mm anualmente, portanto gerará uma economia de R\$ 13.328,80 ao ano, demorará cerca de 13 anos e meio para resgatar o valor investido, apresentando resultados satisfatórios tendo em vista a redução nos custos mensais e no impacto ambiental.

Entretanto, se considerar que o reservatório será construído no início do primeiro semestre e será

coletado o volume para sua capacidade máxima nos meses mais chuvosos gerará uma economia de R\$ 35.160,00, ele levará apenas 5 anos para o investimento ser recuperado.

Tabela 4: Orçamento base para implantação de reservatório inferior.

ORÇAMENTO IMPLANTAÇÃO RESERVATÓRIO INFERIOR								
BANCO DE DADOS	CÓDIGO	Descrição do item	Unid.	Quant.	R\$ S/ BDI	R\$ C/ BDI	BDI	
							TOTAL S/ BDI	TOTAL C/ BDI
SINAPI	89887	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (ÇAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 3 CAMINHÕES BASCULANTES DE 14 M³, DMT DE 0,6 KM E VELOCIDADE MÉDIA 10 KM/H. AF_12/2013	m³	2.948,40	R\$ 7,86	R\$ 9,59	R\$ 23.174,42	R\$ 28.272,80
SINAPI	72961	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO ATÉ 20 CM DE ESPESSURA	m²	546,00	R\$ 1,32	R\$ 1,61	R\$ 720,72	R\$ 879,28
SINAPI	95241	LASTRO DE CONCRETO, E = 5 CM, PREPARO MECÂNICO, INCLUSOS LANÇAMENTO E ADENSAMENTO. AF_07_2016	m²	500,00	R\$ 18,42	R\$ 22,47	R\$ 9.210,00	R\$ 11.236,20
SINAPI	95956	EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL UNIFAMILIAR TÉRREA (CASA EM EMPREENDIMENTOS), FCK = 40 MPA. AF_01/2017	m³	95,00	R\$ 1.076,50	R\$ 1.313,33	R\$ 102.267,50	R\$ 124.766,35
SINAPI	74106/1	IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS ENTERRADAS, COM TINTA ASFÁLTICA, DUAS DEMAOS	m²	450,00	R\$ 9,60	R\$ 11,71	R\$ 4.320,00	R\$ 5.270,40
SINAPI	83645	BOMBA RECALQUE D'ÁGUA TRIFÁSICA 3,0 HP - FORNECIMENTO E INST.	UND	4,00	R\$ 1.669,51	R\$ 2.036,80	R\$ 6.678,04	R\$ 8.147,21
SINAPI	88547	CHAVE DE BOIA AUTOMÁTICA SUPERIOR 10A/250V - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	UND	2,00	R\$ 70,68	R\$ 86,23	R\$ 141,36	R\$ 172,46
TOTAL:					R\$ 2.853,89	R\$ 3.481,75	R\$ 146.512,04	R\$ 178.744,69

Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

A demanda é crescente nos últimos anos pelos sistemas hídricos, e sua disponibilidade vem no caminho contrário, reduzindo a cada ano, portanto gerar meios para mitigação do uso dos recursos hídricos é importante para conservação da água e redução de custo. Diante disto, o sistema proposto para a implantação no polo comercial de Caruaru, mostrou-se financeiramente e ambientalmente viável.

A proposta de uma capacidade para 3.000 m³, que se utilizado em sua capacidade máxima gerará uma economia considerável mesmo apresentando irregularidade no volume de precipitação, quando analisado o volume precipitado entre os meses e anos conforme Apêndice B houve disparidades entre o volume pluviométrico do período, mesmo diante das irregularidades o sistema mostrou-se eficiente para implantação.

Devido a sua grande área de cobertura a implantação do sistema, deixará de retirar mensalmente 3.000 m³ da natureza, 36.000 m³ anualmente, o custo de implantação do sistema que custa R\$ 178.744,69 será pago em 13 anos e meio após implantação, mostrando-se eficiente para o meio ambiente e financeiramente viável.

A implantação do projeto pode ser considerada uma estratégia importante para redução dos custos mensais para fins menos nobres além de promover a conservação dos recursos hídricos da região que se mostram já em baixa. Outros estudos que podem ser desenvolvidos a partir da análise da implantação do sistema é a análise química para utilização em fins potáveis além dos tratamentos para que este volume de água possa receber para se tornar utilizável em fins potáveis, além da avaliação para implantação em sistemas maiores como municípios que apresentam irregularidades ou baixos índices pluviométricos.

REFERÊNCIAS

ABES – SP. *Reuso de água, série “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental”*. São Paulo, 1997.

AMBIENTE BRASIL. *Saneamento Urbano*. Disponível em: <www.ambientalbrasil.com.br/-/agua/urbana/saneamento.html>. Acessado em 2005.

BERNARDI, C. C. (2003). *Reuso de água para irrigação*. Monografia MBA. ISAE-FGV/ECOBUSINESS. Brasília, DF. 52p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, *Orçamento e Gestão*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2007.

CARVALHO, N. L., HENTZ, P., SILVA, J. M., BARCELLOS, A. L., Reutilização de águas residuais. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas*, v.14, n. 2, p.3164-3171, 2014.

CEBRAPOT - CENTRO BRASILEIRO DE APERFEIÇOAMENTO DE PROFISSIONAIS DE TOPOGRAFIA – *Hidrometria e Batimetria*. Criciúma: Lucas Eventos Ltda., p.1875-1897, 2003.

Telles, D. D.; Costa, R. P. *Reuso da Água: Conceitos, Teorias e práticas*. 2 ed. São Paulo: Luche, 2010. P 153 – 160.

COUTINHO, A. P.; Silva, R. O. B.; Silva, F. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Antonino, A. C. D. Determinação de equações de chuvas intensas para mesorregiões do estado de Pernambuco usando dados pluviométricos. *In: X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza/CE,

2010. Disponível em:
<[http://www.acquacon.com.br/xsrhn/palestras/14.00hrs_pa_p004546\(arhtur\).pdf](http://www.acquacon.com.br/xsrhn/palestras/14.00hrs_pa_p004546(arhtur).pdf)>

Acesso em: 06/06/2018.

CROOK, J. Critérios de Qualidade da Água para Reuso. *Revista DAE*, n. 174, Nov./Dez. 1993. Disponível em:
<http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_174_n_14.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2018.

FILHO, K. Z.; GARCIA, L. A. V.; AMARAL, M. F. P.; PORTO, R. L. *Reuso da água*; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD 2537 – Água em Ambientes Urbanos; São Paulo – SP. 2007.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa* – 5. Ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, R. F; (2009), *Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Org. Ricardo Franci Gonçalves (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HESPANHOL, I. Água e Saneamento Básico. Uma visão realista. In: *Rebouças*. A. C. (Coord.). Águas Doces no Brasil. São Paulo: Escrituras, 1999.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. Artigo: Programa para gerenciamento de águas nas indústrias, visando ao uso racional e à reutilização. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 4, abr./jun. 1999.

<http://dx.doi.org/10.5902/2236130812585>.

JAQUES, R. C. *Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e Sua potencialidade para aproveitamento*

em edificações, Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2005.

KOTESKI, T. A.; LOIOLA, L. L. *Projeto para captação e uso de água pluvial em um centro de atenção integral à criança e ao adolescente – caic em aproveitamento de água pluvial*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2015.

MAESTRI, R. S., *Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reuso da água*. Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. Março 2007.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (ed.) *Reuso de Água*. São Paulo: Manole, 2003.

MAY, S. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consumo não potável em edificações*. S. May. – São Paulo, 2004. 159 p.

NERILO, N. *Pluviometria e chuvas intensas no Estado de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Curso de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.168 p.

OLIVEIRA, Y.V. *Balanço Hídrico Seriado como base para o Planejamento de Captação de Água de Chuva para Utilização em Propriedades Rurais na Região de Chapecó - SC*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Curso de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

QUANDT, M. A. S.; SKORKA, M., MEYER, J. P. F.; SOMENSI, C. A. *REUSO DA ÁGUA DA CHUVA; Evento de pesquisas e extensão*. IFC Campus Araquari. 2015.

SILVEIRA, B. Q. *Reuso da água em edificações residenciais. Escola de Engenharia da UFMG*. Disponível em:

<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Reuso%20Da%20C1gua%20Pluvial%20Em%20Edifica%E7%F5es%20Residenciais.pdf>. Acesso em: 19/03/2018.

UNIÁGUA – Universidade da Água. *Água no Planeta*. Disponível em: <www.uniagua.org.br/aguaplaneta.htm>. Acessado em: 2001, 2004, 2005.

SIQUEIRA, C. M. A. *Aproveitamento de água Pluvial em Edifícios Residenciais Multifamiliares na Cidade de São Carlos*. São Carlos, 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos. 2011.

CAPÍTULO 6



IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZAS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM GRAVATÁ-PE

Tainã Izabel dos Santos¹
Cícero Fellipe Diniz de Santana²
Eduardo Cabral da Silva³
Luciana de Omena Gusmão⁴

RESUMO

Este trabalho apresenta a eficiência de reservatório em uma residência unifamiliar no município de Gravatá-PE, utilizando técnicas do reuso. Dentre as técnicas, temos os mecanismos de reaproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinza, ambas com intuito de captar ou armazenar a água, para ser reutilizada para uso de fins não potáveis, que foca no racionamento da água e na economia de custo com a mesma. Por meio dessas

¹ Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário UNIFAVIP/Wyden. tainagta025@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. cicero.santana@unifavip.edu.br.

³ Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. eduardo.csilva@professores.unifavip.edu.br.

⁴ Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. log.gusmao2010@gmail.com.

técnicas, será avaliada a viabilidade ambiental de um sistema de águas pluviais e cinzas, verificando a eficiência e o desenvolvimento desse sistema de captação. Alguns métodos serão utilizados para dimensionar o reservatório e demonstrar a eficiência e eficácia de um sistema de reuso. De início será coletado dados na APAC, contendo históricos pluviométricos durante um determinado período, que logo em seguida, vai ser utilizado no método de Rippl, onde permitiu que o reservatório seja dimensionado, em seguida, para o dimensionamento do tanque séptico, e o filtro de areia sob as normas técnicas da NBR 7229 E NBR 13969, será possível projetá-lo. Com isso, fica destacada a importância de dimensionar um reservatório, reavaliando a relação de seu custo benefício e em prol de todo impacto ambiental relacionado à água, a sua redução, reutilização e a confiabilidade do sistema aqui dimensionado.

Palavras-chave: Reuso. Sustentabilidade. Água pluvial. Água cinza.

INTRODUÇÃO

A água sempre foi essencial para a sobrevivência humana, não somente à vida primitiva, mas também para todo desenvolvimento de espécie animal e toda biodiversidade existente no planeta terra (TUNDISI, 2018).

Segundo a Agência nacional de águas- ANA, cerca de 12% de toda água doce existente no planeta, está

disponível no Brasil, e seu principal desencadeamento ocorre graças as precipitações, na qual enfatiza todo ciclo hidrológico, que é reiniciado por todo um trajeto que envolve: chuvas, evaporação, transpiração, infiltração, percolação e drenagem da mesma. Todo esse ciclo atua de forma favorável tanto na geração de energia, como no abastecimento para consumo humano (ANA, 2018).

Motta (2016), enfatiza que a gestão futura de recursos hídricos esta ligada diretamente com os problemas relacionados ao uso da ocupação do solo e principalmente por motivos do crescimento populacional. Portanto através do reuso é possível mudar este quadro futurista de escassez de toda água doce, e suas tecnologias sustentáveis, seria uma solução viável para que este bem natural limitado possa ser reutilizado, tendo em vista um maior controle de suas perdas de forma racional.

As técnicas do reuso, dentre as alternativas atualmente adotadas para melhoria do cenário hídrico, minimizam essas perdas e também reduzem a produção de esgoto, que incentivam a diminuição da poluição dos mananciais, porém, somente o reuso não são suficientes para evitar a escassez hídrica, mas de toda forma, seu uso

racional compreende de forma direta no controle dessas perdas. A captação e armazenamento das águas pluviais têm se tornando cada vez mais usual, pois reduz de forma significativa a demanda de água diária ofertada pelas concessionárias (FAPESP, 2015).

Contudo é possível fazer o reaproveitamento das águas residuária e dar um novo fim a mesma, através do reuso das águas cinzas, que tem como fundamental a importância da água quanto a sua qualidade e disponibilidade, por isso seu tratamento veicula grande quantidade de contaminante físico-químico ou biológico, que se não for tratada da forma correta traz risco a saúde (SCURACCHIO, 2010).

Diante de tantos problemas, devido ao desperdício de água, consumo exacerbado e descarte inconsciente dessa água, que pode ser reutilizada. Têm-se muitos desses fatores influenciando de forma pejorativa, tanto ao meio ambiente, como facilitando indícios de crescimento, que contribuem cada vez mais para crise hídrica no mundo.

Portanto, este trabalho tem como objetivo identificar alternativas para reutilizar a água, trazendo ações que possa racionalizar e controlar o uso dessa água

desperdiçada, expondo os principais benefícios e a viabilidade, tanto no reaproveitamento de águas pluviais, como no de águas cinzas.

Atualmente diversos estudos têm sido desenvolvidos na tentativa de resolver os problemas hídricos. As soluções utilizadas nesta pesquisa são o reaproveitamento de água e o reuso das águas cinzas. O fato é que essas técnicas citadas, podem trazer uma economia viável evitando seu desperdício, se implantadas no sistema residencial, tanto reutilizando as águas cinzas, provenientes de máquinas de lavar, lavatórios, chuveiros, como reutilizando a água pluvial, que podem ser utilizadas para descargas dos vasos sanitários e lavagens de piso.

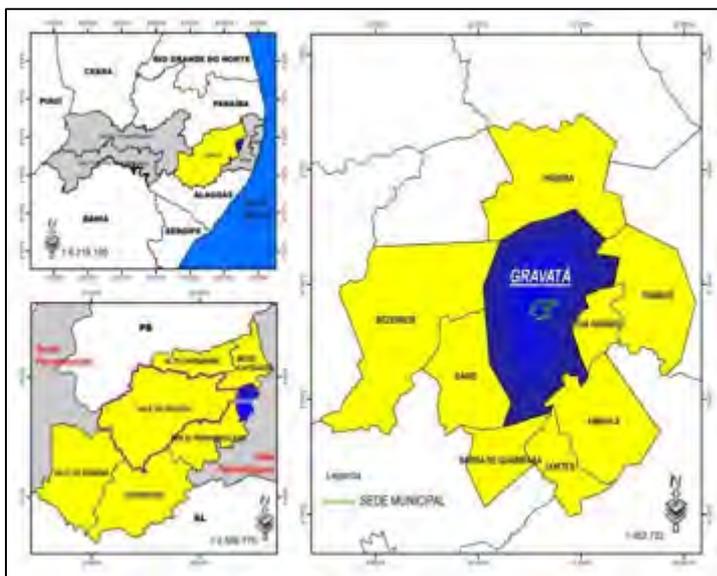
Vale salientar que, água utilizada nestes serviços, não necessita do tratamento convencional, e seu uso é para fins não potáveis, todavia é economicamente viável em curto prazo. O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade ambiental da implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial e reuso de águas cinzas, para fins não potáveis, em uma residência unifamiliar no município de Gravatá- PE.

METODOLOGIA

Área de estudo

Gravatá é um município brasileiro do estado de Pernambuco, localizado na região Agreste, distante 84 km da Capital Recife, se encontra nas coordenadas geográficas de latitude $8^{\circ} 12' 04''$ sul e a uma longitude de $35^{\circ} 33' 53''$, estando a uma altitude média de 447. Possui uma área demográfica de 513,367 Km² e uma população de 84.074 habitantes segundo o CENSO 2010. A Figura 8 mostra a localização da cidade Gravatá.

Figura 8. Localização da cidade de Gravatá-PE.



Fonte: Gomes (2018).

Objeto de estudo

A presente pesquisa foi realizada em uma residência unifamiliar situada no Condomínio Residencial que será construído no município de Gravatá-PE. A edificação terá dois pavimentos e será construída num terreno de área total de 305,50 m², possuindo área construída de: pavimento térreo com 134,05 m², pavimento superior com 128,10 m², totalizando uma área total da construção de 262, 15 m².

A residência terá quatro quartos, três banheiros, cozinha, área de serviço e área de lazer.

Dados pluviométricos e Equação de chuvas intensas

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio do portal eletrônico da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC no período compreendido entre os anos de 1994 a 2019 com discretização temporal mensal. O posto pluviométrico situa-se na cidade de Gravatá-PE, código 58.

Tucci (2004) relata que para estudar os índices pluviométricos, para se projetar a implantação de um sistema hídrico, possuem três variáveis importantes que vão caracterizar os índices máximos de precipitações, entre eles, a Intensidade, duração e frequência (IDF). A Eq. 1 caracteriza a equação de chuvas intensas de uma área.

$$i = \frac{K \times T_r^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

Onde:

i -indica a intensidade máxima mediana de chuva em mm/h;

Tr- determina em anos, o período de retorno, definido pela NBR 10844/89, 25 anos, pois não será permitido águas empoçadas;

t- duração da chuva, fixada 5 minutos como é definido a NBR 10844/89;

k,a,b,c- são as variáveis empíricas, dependendo da estação pluviométrica de estudo.

No quadro 8 estão dispostos os coeficientes da equação de chuvas intensas para o posto instalado no município de Gravatá-PE.

Quadro 1- Parâmetro da IDF para o posto pluviométrico código 805030, no município de Gravatá-PE.

Código	Estação	A	k	b	C
805030	Gravatá	0,11	826,89	10,52	0,75

Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (2010).

Dimensionamento do reservatório

Para efetuar o dimensionamento de reservatório de água pluviais, foi utilizado o método de Rippl, Eq. de

2 a 5, por ser analítico e mais prático para a situação, dentre os métodos apresentados pela norma NBR 15527.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = C \times \textit{precipitação da chuva}_{(t)} \times \textit{área de captação} \quad (3)$$

$$V = \Sigma S_{(t)}, \textit{para valores } S_{(t)} > 0 \quad (4)$$

$$\textit{Tendo: } \Sigma D_{(t)} < \Sigma Q_{(t)} \quad (5)$$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo “t”;

$D_{(t)}$ = demanda no tempo “t”;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva aproveitável no tempo “t”;

V = Volume de água do reservatório;

C = coeficiente de escoamento superficial.

Para o dimensionamento da área do telhado, foi utilizado a Eq. 6 com o percentual de aumento da área da coberta real em relação à área de projeção.

$$P\% = \frac{(a + a \times \frac{i}{a})b - axb}{axb} \quad (6)$$

Dimensionamento de tanque séptico

Segundo a NBR 7229 o dimensionamento de tanque séptico deve ser calculado pela equação 7.

$$V = 1000 + N (CT + KLf) \quad (7)$$

Onde:

V= volume útil, em litros;

N= número de pessoas ou uma unidade de contribuição;

C= contribuição de despejos, em litros/pessoa x dia (ver no quadro 9);

T= período de detenção em dias (ver no quadro 10);

K= taxa de acumulação de lodo digerido em dias; equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (ver no quadro 11);

Lf= contribuição de lodo fresco, em litro por pessoa x dia (ver no quadro 9).

Quadro 2- Contribuição diária do esgoto C e do lodo fresco Lf.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
Ocupantes permanentes			
Residência:			
padrão alto	pessoa		
padrão médio	pessoa	160	1
padrão baixo	pessoa	130	1
hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
alojamento provisório	pessoa	100	1
		80	1
2. Ocupantes temporários			
fábrica em geral	pessoa	70	0,30
escritório	pessoa	50	0,20
edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
escolas (externatos) e locais de longa permanência;	pessoa	50	0,20
fbares	pessoa	6	0,10
restaurantes e similares	refeição	25	0,10
cinemas, teatros e locais de curta permanência			
sanitários públicos	lugar	2	0,02
	bacia sanitária	480	4,0

Fonte: NBR 7229 (1993).

Quadro 3- Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7229 (1993).

Quadro 4-Taxa de acumulação de lodo K.

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t \leq 10$	$10 < t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBR 7229 (1993).

Ainda em concordância e exigências da norma foram utilizados os quadros anteriores para saber o volume útil do tanque séptico, a seguir no Quadro 12, estão dispostas as medidas internas mínimas, que esse tanque séptico deve possuir, segundo a NBR 7229.

Quadro 5- Profundidade útil máxima e mínima.

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229 (1993).

Volume útil do leito filtrante

A norma enfatiza que o valor de contribuição de esgoto L/d é estipulado de acordo com o padrão de residência e quantidade de pessoas, que residem na mesma residência, como mostra o Quadro 13 de forma mais detalhada.

Quadro 13- valor de contribuição de esgoto L/d é estipulado de acordo com o padrão de residência e quantidade de pessoas, que residem na mesma residência.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO_{5,20}/d
1. Ocupantes permanentes			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
2. Ocupantes temporários			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e	Lugar	2	1

locais de curta permanência			
Sanitários públicos ¹⁾	Bacia sanitaria	480	120

Fonte: NBR 13969 (1997).

Vale salientar que, o volume útil deve ser multiplicado por cada habitante da residência, para se achar um volume de contribuição total de esgoto por dia.

Filtros de areia

A NBR 13969/97 define como filtro de areia, um tanque preenchido de areia e outros meios filtrantes, que possui um fundo drenante que desce no fluxo do esgoto, o que permite a remoção dos poluentes tanto por ação física como biológica (NBR 13969, 1997).

A aplicação do filtro de areia segundo a norma pode ser utilizados nos seguintes casos:

- a) Quando o solo ou as condições climáticas do local não recomendam o emprego de vala de infiltração ou canteiro de infiltração/evapotranspiração ou a sua instalação exige uma extensa área não disponível;
- b) A legislação sobre as águas dos corpos receptores

exige alta remoção dos poluentes dos efluentes do tanque séptico;

- c) Por diversos motivos, for considerado vantajoso o aproveitamento do efluente tratado, sendo adotado como unidade de polimento dos efluentes dos processos anteriores.

Em virtude da praticidade o dimensionamento será baseado na NBR 13696/97 e também pelo método de Tonneti (2005), que construiu uma caixa de areia cilíndrica de diâmetro interno de 1 metro e a dividiu em 3 camadas, cada camada possuía britas de diferentes diâmetros com intuito de impedir que a areia fosse arrastada para fora do sistema (MARTINS JUNIOR E MARTINS, 2016).

Para cada leito de filtro adotou-se profundidades diferentes, como mostra o Quadro 14. A areia utilizada, foi a areia grossa, como é conhecida popularmente, com diâmetro de 0,093 mm, com coeficiente de desuniformidade de 4,516 (RUBENS E MÁRCIA, 2016).

Quadro 6- denominação do filtro e profundidade do leito de areia.

Filtro de areia	Profundidade do leito de Areia (m)
F025	0,25
F050	0,50
F075	0,75
F100	1,00

Fonte: Martins Júnior e Martins (2016).

A área superficial do filtro de areia foi dimensionada em função da taxa de aplicação superficial, utilizando a Eq. 8.

$$A = \frac{Q}{TAS} \quad (8)$$

Onde:

A = área superficial (m²);

TAS = taxa de aplicação superficial (L/dia.m²)

Q = vazão (L/dia).

Admitindo que o filtro terá forma circular, calculou-se o diâmetro do filtro por meio da Eq. 9.

$$D = \sqrt{\frac{QX^4}{TASX\Pi}} \quad (9)$$

Onde:

D = diâmetro do filtro (m);

Q = a vazão de contribuição de esgoto por dia (L/dia);

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados pluviométricos

No Quadro 16 estão listados os dados mensais de pluviometria para o período compreendido entre os anos de 1994 e 2019 do posto situado no município de Gravatá – PE. Esses dados subsidiaram os cálculos listados na metodologia do presente trabalho.

Quadro 7- Dados pluviométricos de precipitação média mensal para Gravatá – PE.

Meses	Precipitação (mm)
Janeiro	53,4
Fevereiro	52,4
Março	51,0
Abril	51,2
Maior	69,9

Junho	116,8
Julho	77,9
Agosto	49,5
Setembro	25,1
Outubro	21,6
Novembro	14,6
Dezembro	24,9

Fonte: Autoria própria.

Sistema de Água Pluvial

O consumo diário foi estipulado calculando em média, entre quantas descargas uma pessoa realiza por dia e uso dessa água, que inclusive foi obtido pelo uso de 4 pessoas que residiria nesta residência, as mesmas conseguem atingir um total de 18 descargas diárias, ressaltando que essa média de pessoa por residência foi calculado pela quantidade de quartos da própria residência e o consumo de água diário, ou seja, consumo per capita. Essas vazões de projetos foram calculadas pelo consumo estimado de água não potável, de acordo com a vazão de projeto para finalidade de uso, como mostra o Quadro 17.

Quadro 8- Consumo estimado não potável.

Aparelhos	Vazão de projeto (L/s)	Quant.	Tempo (s)	Total
Caixa de descarga	0,15	12	10	18
Torneira de jardim	0,2	1	1800	360
				378

Fonte: Autoria própria.

Segundo a NBR 5626/98, o consumo diário de residências unifamiliares que possuem área superiores a 200m², tem um consumo per capita de 250L/habitante.dia-1. Com isso, calculando com uma distribuição de $\frac{3}{4}$ para o reservatório inferior, tem-se um potencial de consumo de 11.340 L/habitante mensal, superdimensionado já em relação para situação de receber visitas e também em relação aos quartos da própria residência, como está disposto no Quadro 18 e coluna 3 em metros cúbicos mensal, ressaltando que foi calculada e dimensionada para fins não potáveis.

Quadro 9- Cálculo de dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Diferença de Demanda e Volume de chuva (m ³)	Diferença acumulada (m ³)	Situação
Jan	53,4	11,34	209,65	8,96	2,38	2,38	S
Fev	52,4	11,34	209,65	8,79	2,55	4,92	D
Mar	51,1	11,34	209,65	8,56	2,78	7,70	D
Abr	51,2	11,34	209,65	8,59	2,75	10,45	D
Mai	69,9	11,34	209,65	11,73	-0,39	10,06	S
Jun	116,9	11,34	209,65	19,60	-8,26	1,80	S
Jul	77,9	11,34	209,65	13,07	-1,73	0,08	S
Ago	49,6	11,34	209,65	8,31	3,03	3,10	D
Set	25,1	11,34	209,65	4,21	7,13	10,23	D
Out	21,6	11,34	209,65	3,63	7,71	17,94	D
Nov	14,6	11,34	209,65	2,45	8,89	26,83	D

Dez	24,9	11,34	209,65	4,18	7,16	33,99	D
Total	695,0	136,1		102,09 m³	Volume =	33,99 m³	

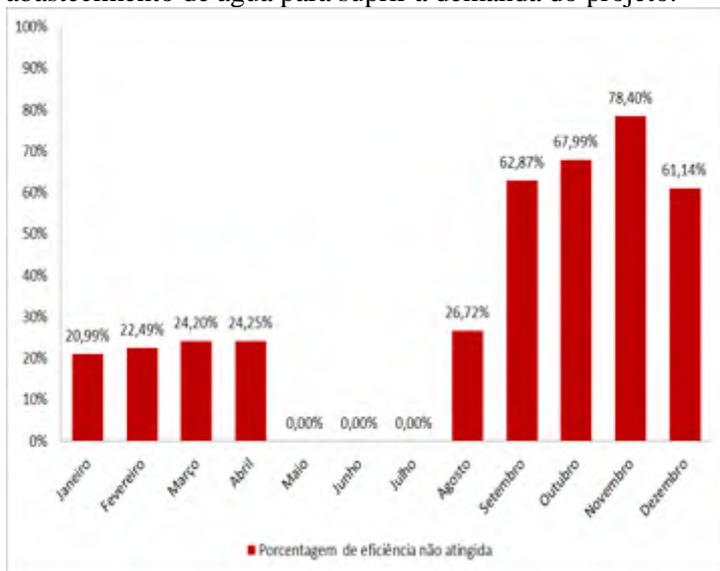
Fonte: Autoria própria.

Após a aquisição e tratamento dos dados pluviométricos, foram realizados os cálculos para a demanda do reservatório, com volume estimado em 34 m³.

Sabendo-se o volume de chuva mensal e demanda mensal que a residência irá precisar, foi calculada a eficácia do dimensionamento de água pluvial e sua eficiência, visto que a família necessitará de uma demanda de 11,34m³ mensal e uma precipitação mensal, que varia de acordo com os dados pluviométricos.

Por meio dos dados de precipitação, considerada como o dado de oferta de água, foi possível determinar o valor real em percentual da eficiência do projeto ao longo do ano, na escala mensal, e conseqüentemente, elaborar a Figura 2, com os dados da necessidade de utilização de fontes externas de abastecimento de acordo com a demanda do projeto. A média anual do percentual de eficiência do projeto, ou seja, balanço positivo da relação oferta e demanda, foi de 75%. Esse percentual só foi possível de ser alcançado devido ao armazenamento das ofertas excedentes dos meses de maio (10,3%), junho (17,3%) e julho (11,5%).

Figura 9– Percentual da necessidade de fontes externas de abastecimento de água para suprir a demanda do projeto.

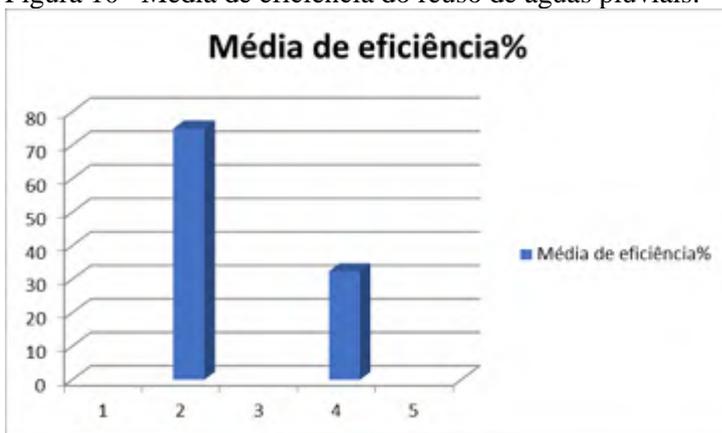


Fonte: Autoria própria.

Visto que cada m^3 no estado de Pernambuco está cada vez oneroso, que segundo a COMPESA a tarifa social até 10.000L/dia até o presente momento custa R\$ 9,22. No estado de Pernambuco inclusive no mês de Agosto deste ano 2019 teve um aumento de 6,72% na conta de água, correspondente a revisão de tarifas de saneamento e tratamentos de esgotos, o que em aproximação percentual equivale há R\$ 4,89 m^3 de água (COMPESA, 2019).

Na Figura 3 tem-se a média dessa comparação e quanto o dimensionamento de águas pluviais, fazendo seu reuso possui mais que o dobro de eficiência em relação a métodos convencionais de abastecimento. Fazendo uma analogia pelo gráfico, temos que respectivamente o índice de eficiência de um sistema de captação é totalmente eficaz, ao que diz respeito, reuso com viabilidade econômica e ambiental.

Figura 10– Média de eficiência do reuso de águas pluviais.



Fonte: Autoria própria.

Sistema de Águas Cinzas

No dimensionamento do tanque séptico segundo a NBR 7229, para se dimensioná-lo foi utilizado o volume útil em litros dimensionado pela seguinte

fórmula: $V = 1000 + N (CT + KLf)$, que resultou num volume útil de 3.308L. Com isso, é possível dimensionar a profundidade máxima e mínima que o tanque séptico deve ter, portanto suas medidas internas não devem ultrapassar um valor mínimo de profundidade de 1,20 m e um valor máximo de 2,20 de profundidade.

Ainda em concordância com a norma, quando um tanque é dimensionado, servindo até 30 pessoas, como é o caso da residência unifamiliar estudada neste projeto, é importante adicionar um número de câmaras para seu maior desempenho, quanto à qualidade do efluente, logo, foi escolhido o tanque prismático retangular com duas câmaras em série, estas câmaras devem se comunicar com aberturas com áreas de 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas, respeitando da menor dimensão de cada abertura de 3 cm.

Para dimensionar a área superficial do filtro, sua taxa de aplicação foi limitada a 100 L/dia.m⁻², por se tratar de uma aplicação direta dos efluentes por tanque séptico. Com isso, o valor achado para o diâmetro do filtro de areia, considerando o volume médio de efluentes de águas cinzas da residência de 520L/dia, foi de 2,58m e as camadas de areias, vão variar de acordo com o

Quadro 14. Com isso, a camada suporte deve conter brita de 1,0 de 10,0 cm e a camada de aeração deve ter brita 4 com 20 cm de espessura, conforme proposto por Tonneti 2005 (MARTINS JUNIOR E MARTINS, 2016).

CONCLUSÃO

O reuso de água cinza apresentou vantagem em relação ao de água pluvial, atendendo em torno de 55,6% do consumo referente às bacias sanitárias e 35,7% do consumo total do empreendimento, enquanto o pluvial atendeu apenas 11% e 7%, devido a pequena área de captação e ao regime pluviométrico. Apesar da menor porcentagem equivalente ao reuso de águas pluviais, o sistema mostrou funcionalidade operando em conjunto e proporcionando uma viabilidade econômica e ambiental através da eficiência na utilização da água e economia de 42,7% do consumo total de água potável do empreendimento.

Através do presente estudo, a implementação do sistema de reuso foi estimado no valor de R\$ 7.671,95 (com BDI de 20%), onde apresentou-se viável, uma vez que oferta uma economia anual de R\$ 1.269,21, com

retorno de investimento inicial atendendo os custos de operação e manutenção anual do sistema previsto para 9 anos, período satisfatório, por se tratar de um empreendimento público de pequeno porte e economia de um recurso que atualmente encontra-se em escassez.

Portanto, constatou-se que a implementação do sistema de reuso de águas cinzas e pluviais no empreendimento mostrou-se sustentavelmente e economicamente viável, pois proporciona grande potencial de economia de água potável, ofertando benefícios financeiros em médio prazo e benefícios ambientais imediatos através da preservação dos recursos hídricos da região.

REFERÊNCIAS

Asano, T.; Burton, F. L.; Harold, L. L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. *Water Reuse: issues, technologies, and applications*. New York: Mc Graw Hill, 2007. 1570p.

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

Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. *Reuso de Água*. 1 ed. São Paulo: Manole, 2003.

Martins Junior, R.; Martins, M. V. L. Dimensionamento de Filtro de Areia para Tratamento de Água Cinza do Bloco Novo do IRN. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 3, p. 356 – 363, 2016.

MEIRELLES, M. H. *Reuso de águas cinzas para fins não potáveis*. 2014. 45f. Monografia – Faculdade de Ciências Jurídicas e Gerenciais Alves Fortes, Fundação Educacional de Além Paraíba, Além Paraíba, 2014.

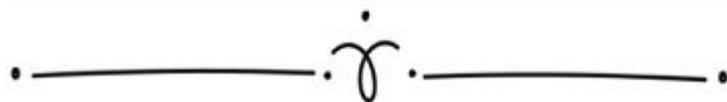
SABESP. *Reuso Planejado: Sabesp Meio Ambiente; Reciclagem e Lodo*. 2006. Disponível em: <www.sabesp.com.br/sabespensina/avancado>. Acesso em: 12/09/2018.

SICKERMANN, J. *Sistema de aproveitamento de águas pluviais em edificações*. Téchné, 2002. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/sistema-de-aproveitamento-de-aguas-pluviais-em-edificacoes-81616-1.aspx>>. Acesso em: 27/08/2018.

SILVA, T. R. L. *ANÁLISE DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO MODA CENTER, NA CIDADE DE SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE-PE*. 2017. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Caruaru, 2017.

TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água*. São Paulo: Hermano e Bugelli, 2000.

CAPÍTULO 7



VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS E PLUVIAIS EM EMPREENDIMENTO PÚBLICO

Thaísa Mayane Tabosa da Silva¹
José Henrique Reis de Carvalho Tabosa²
Daysa Palloma da Silva³
Giselle Waleska Santos Sanguineto⁴

RESUMO

Mediante o cenário hídrico atual, o emprego de água de reuso para finalidades não potáveis é uma medida efetiva de gerenciamento de água, principalmente em regiões que já sofrem com a escassez hídrica. As técnicas de

¹ Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPE. Pós-Graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho. Pós-Graduanda em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM. Engenheira Civil pela UNIFAVIP.
thaisatabosa.engcivil@hotmail.com

² Pós-Graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho. Pós-Graduando em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM. Engenheiro Civil pela UNIFAVIP.
henriquetabosa.engcivil@hotmail.com

³ Pós-Graduanda em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM. Engenheira Civil pela UNIFAVIP.
daysapalloma@gmail.com

⁴ Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho. Engenheira Civil pela UNIFAVIP.
gisellesanguineto@gmail.com

reuso propiciam inúmeros benefícios, desde a economia da água tratada até a diminuição da quantidade de esgoto descartado. Dentro dessa temática, o presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de reuso de águas pluviais e águas cinzas, designado a fins não potáveis, em um empreendimento público de pequeno porte na cidade de Caruaru, no Agreste de Pernambuco; bem como, a análise econômica e ambiental da sua implementação. O sistema foi dimensionado para utilizar águas cinzas e pluviais de um banheiro público na Feira de Caruaru. O dimensionamento do sistema de reuso pluvial foi realizado de acordo com a precipitação média mensal local seguindo as recomendações da Norma Técnica 15.527/2007. Já o sistema de reuso de águas cinzas, foi dimensionado avaliando a relação oferta, água das pias, e demanda que não foi atendida pelas águas pluviais. Dessa maneira, o sistema proposto expôs uma economia em torno de 96,96m³/ano, correspondente a 42,7% do consumo total de água do empreendimento e obra com orçamento de R\$ 7.671,95, proporcionando assim uma economia anual de R\$1.269,21 e um período de retorno do investimento de aproximadamente 9 anos. Através dos resultados expostos, conclui-se que a implantação do sistema de reuso apresentou resultados satisfatórios, visto sua viabilidade ambiental e econômica, mediante a conservação de um recurso que se encontra em estado de escassez.

Palavras-chave: Gerenciamento de água. Reutilização. Agreste pernambucano.

INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma imensa preocupação da sociedade quanto à conservação dos recursos naturais. A água é considerada um recurso imprescindível e exibe grande relevância na produção de várias atividades, sendo essencial no desenvolvimento tecnológico e econômico. Logo, em consequência do conjunto de tarefas humanas associados ao crescimento demográfico, e, por conseguinte, ao incremento das utilizações múltiplas da água, é fundamental melhor gestão deste recurso hídrico (BLUM, 2003).

Ao longo dos últimos anos vem sendo realizados múltiplos estudos e pesquisas em busca de medidas que proporcionem melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Nesses estudos, podem ser verificadas diversas opções para a redução ou controle da dificuldade hídrica, seja através de ações governamentais, através de efetivação de obras ou divulgações de informações aos cidadãos, com a função de exibir as vantagens do uso racional e reaproveitamento de água (SILVA, 2017).

Diversas cidades brasileiras vêm passando complicações no abastecimento de água potável, ocasionadas principalmente pela má gestão do recurso e baixa taxa de precipitação nas extensões dos mananciais que fornecem abastecimento ao município, tornando a escassez de água um contratempo visível. Logo, com o intuito de minimizar esse impacto e de melhorar a gestão desse recurso tão precioso, são necessários metodologias alternativas para o uso da água não tratada.

Segundo Asano et al. (2007), o reuso é analisado como uma metodologia desenvolvida para suprir as precisões dos seres humanos segundo o uso dos recursos hídricos, valendo ressaltar sua importância na diminuição das dificuldades ocasionadas pelas redes públicas de abastecimento, as quais se localizam em estado precário e não seguem a demanda solicitada de fornecimento de água da sociedade.

Como solução para amenização da extinção da água tem-se o reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais. O reuso de águas cinzas ao ser utilizado oferta uma economia direta na quantidade de água satisfatória para o abastecimento residencial e, torna-se

benéfico devido a sua disponibilidade constante ao longo do ano. O aproveitamento da água pluvial, é realizado à partir da água coletada da chuva, proporcionando assim uma economia na demanda de água tratada, energia elétrica, contribuição no ciclo hidrológico dos municípios, além da proteção ao meio ambiente (MEIRELLES, 2014; SICKERMANN, 2002).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e reuso de águas cinzas em um empreendimento público de pequeno porte situado no município de Caruaru-PE, avaliando seu aspecto econômico e ambiental, e expondo sua viabilidade a longo prazo.

METODOLOGIA

O presente trabalho apresentou como objeto de estudo os Banheiros Públicos da Feira, situados no Parque 18 de maio, na cidade de Caruaru, Pernambuco (Figura 1).

Para desenvolvimento, foi tomado como base de referência os projetos arquitetônicos e hidráulicos dos banheiros disponibilizados pela Prefeitura municipal.

A área dos Banheiros é de 44,3m², sendo também a mesma da área de cobertura. Sua estrutura possui 9 bacias sanitárias, 7 lavatórios e 3 mictórios, conforme ilustrado em sua planta baixa na Figura 2.

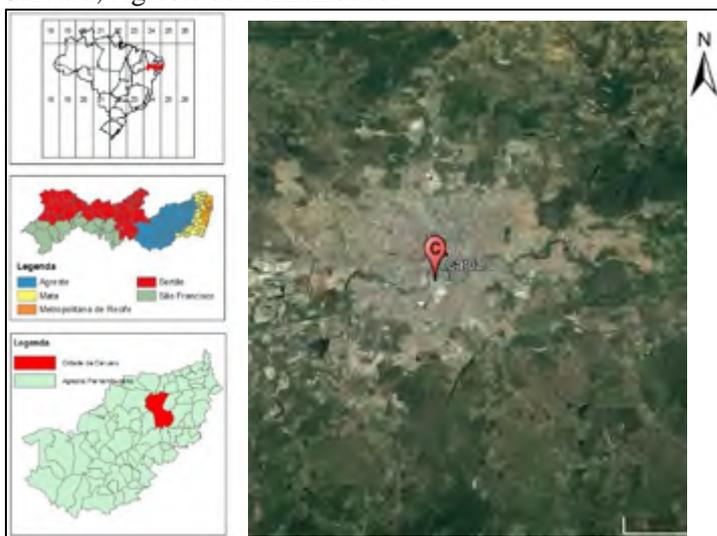
A cobertura é projetada em apenas um nível, apresentando uma única água com inclinação de 10% e telhas de fibrocimento.

As águas residuárias que foram avaliadas no presente estudo consideram as águas pluviais e cinzas. Quanto às águas pluviais, foi estimado como suposição que foram captadas unicamente do sistema de cobertura do empreendimento. Em relação às águas cinzas, os pontos de captação considerados foram os lavatórios. Como pontos de reutilização das águas residuárias foram aderidas as bacias sanitárias.

Para a oferta de águas cinzas derivadas do lavatório foram utilizados dados da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp,

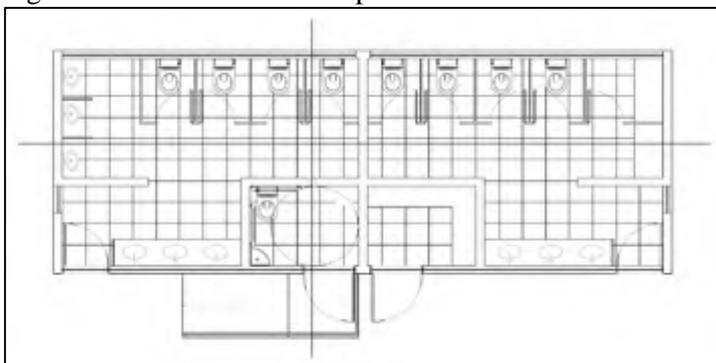
2006) e para determinação da demanda foi considerado o volume conforme o modelo da bacia sanitária empregada no empreendimento que equivale ao vaso sanitário com caixa acoplada 3/6L.

Figura 1 - Localização da área de estudo – município de Caruaru, Agreste de Pernambuco.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 - Planta baixa do Empreendimento.



Fonte: Prefeitura de Caruaru, 2017.

A demanda de água pluvial foi determinada por meio do consumo do aparelho que irá utilizar este efluente, ou seja, as bacias sanitárias. Quanto à oferta de água pluvial, a mesma foi obtida a partir da área de captação e dados da precipitação média mensal da cidade de Caruaru-PE.

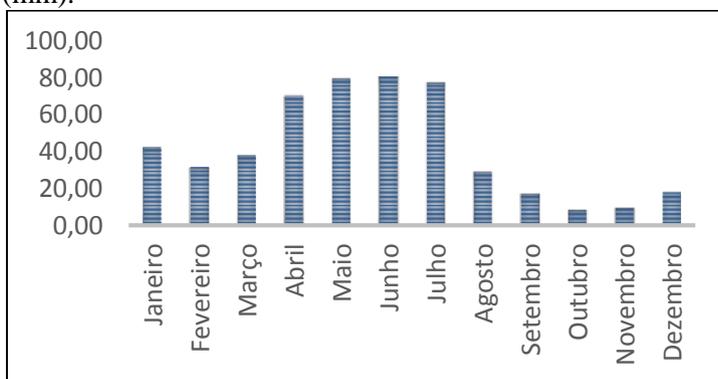
Dimensionamento do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

O dimensionamento foi realizado conforme metodologias presentes na NBR 15527 (ABNT, 2007), no qual foram seguidos seus requisitos no

desenvolvimento de cálculo, conforme é demonstrado posteriormente.

Os dados pluviométricos que foram utilizados no presente estudo foram coletados no sítio eletrônico da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), órgão responsável pelo monitoramento pluviométrico do estado de Pernambuco. Foram utilizados dados da APAC devido a maior quantidade de postos pluviométricos com dados consistentes. Conforme Figura 3, exibe-se as médias das séries históricas mensais referentes ao período de precipitação de outubro de 2008 a setembro de 2018 no município de Caruaru-PE.

Figura 3 - Pluviometria Média Mensal de Out/2008 a Set/2018 (mm).



Fonte: Adaptado de APAC, 2018.

O volume de água da chuva que pode ser usufruído não é igual ao precipitado, pois existe uma perda para o material do telhado e também devido à infiltração e evaporação. O coeficiente de escoamento superficial também conhecido como Coeficiente de Runoff modifica conforme o material do telhado, contudo, foi adotado como coeficiente o valor de 0,9 e Fator de Captação de 0,8, segundo Tomaz (2000).

Para determinação do volume de água pluvial a ser armazenado nos reservatórios, foram observados os parâmetros contidos na NBR 15527 (ABNT, 2007), sendo empregado o Método Prático Alemão, que consiste em um método empírico onde se toma 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

Dimensionamento do Sistema de Reuso de Águas Cinzas

O dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas utilizou como apoio os projetos hidrossanitários dos banheiros.

No dimensionamento do sistema sanitário de reuso foi necessária a separação da coleta de águas negras e cinzas. Logo, foram efetuadas duas tubulações de queda, um para a orientação das águas negras e o outra para as cinzas, onde a primeira foi dirigida ao sistema de coleta de esgoto, e a segunda ao reservatório inferior.

Todos os aparelhos colaboradores do sistema de coleta foram associados e determinado a contribuição de cada aparelho e o diâmetro da tubulação. A determinação do volume de água cinza a ser retido nos reservatórios foi determinada utilizando o volume relativo à sua oferta. Posteriormente, foi realizado a determinação da bomba a ser utilizada e os diâmetros da tubulação de recalque e sucção.

Reservatório

Para as águas residuárias do empreendimento foram estimados dois reservatórios, sendo um inferior e um superior, onde o inferior recepcionará a oferta de água cinza e pluvial e bombeará as águas até o reservatório superior para posterior distribuição aos pontos de reuso. Os reservatórios foram dimensionados

conforme volume referente à parcela de água pluvial e água cinza, onde o superior atenderá 40% do volume reservado e o inferior 60%.

Sistema de Tratamento

O Tratamento das águas cinzas foi determinado após avaliação da quantidade de água coletada e da utilização final, onde sua escolha apresenta grande relevância para o sucesso do empreendimento, logo, sua designação foi baseada de acordo com as propriedades do efluente utilizado.

No sistema de tratamento foi empregado o Filtro de Reuso de Águas Cinzas com vazão em torno de 1.200 L/h e sistema combinado por 3 mídias de pré-filtração, tratamento e polimento.

O funcionamento do filtro se dá através da passagem da água por um filtro especial de sedimentos, que irá reter os sólidos em suspensão na água; posteriormente é realizada a passagem através de mídias especiais capazes de realizar um tratamento mais aprofundado com a aplicação de cloro em concentração

adequada, e em sua última etapa é efetivada a remoção de vestígios de turbidez e odor.

Viabilidade

Para análise de viabilidade do sistema, foi preparado uma planilha com orçamento conforme o banco de dados do SINAPI, relativo ao período de 09/2018 do estado de Pernambuco; operação, através da análise do consumo anual de energia utilizada pelos equipamentos destinados ao trabalho do sistema e manutenção do mesmo.

Daí, foi estudado a viabilidade ambiental e financeira da implementação do sistema, averiguando a economia anual de água tratada ofertada e o tempo de retorno do investimento, conforme análise dos custos de água e esgoto arrecadadas pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) no município referente às edificações públicas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Oferta e Demanda

De acordo com informações obtidas pela Prefeitura de Caruaru (2018), a feira ocorre todas as segundas-feiras no turno da manhã, possuindo como fluxo diário de pessoas que utilizarão os banheiros em volta de 500 à 700 pessoas.

A estimativa do consumo mensal do empreendimento foi alcançada à partir do fluxo nos dias de feira do município de Caruaru, onde foi empregado dados da Sabesp (2006) para definição do consumo dos lavatórios e para a bacia sanitária foi utilizado o modelo com caixa acoplada de 3/6L usado no estabelecimento. Logo, como fonte do volume de água negra foi analisado apenas o volume das bacias sanitárias, substituindo os mictórios.

Conforme Tabela 1 tem-se a demonstração da estimativa de consumo mensal do empreendimento.

Tabela 1 - Estimação do Consumo Mensal.

Pessoas (hab/feira)	600
Bacia Sanitária (L/hab)	4,5
Lavatório (L/hab)	2,5
Consumo Mensal* (L)	18.900

*4,5 dias/mês

Fonte: Autoria própria.

Definido o consumo de água mensal do empreendimento, foram estimados os percentuais de água consumidos por cada aparelho do ambiente. Essa estimativa é apresentada na Tabela 2.

A oferta de águas cinzas foi adquirida por meio do consumo do lavatório, e a demanda mediante consumo da bacia sanitária. Conforme dados expressos na Tabela 2 foi possível a determinação da oferta e demanda total de água cinza do empreendimento, conforme exposto em Tabela 3.

Ao avaliar os dados na Tabela 3 tem-se que os valores da oferta são abaixo da demanda, onde a oferta atenderá aproximadamente 55,6% do consumo referente às bacias sanitárias e 35,7% do consumo total do empreendimento.

Tabela 2 – Consumo por aparelho.

Aparelhos	Consumo (%)	Consumo Mensal (L/mês)	Consumo Diário (L/dia)
Bacia Sanitária	64,29%	12.150	2.700
Lavatório	35,71%	6.750	1500

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Oferta e Demanda de Água Cinza.

Aparelhos	Oferta		Demanda	
	Mensal (L/mês)	Diária (L/dia)	Mensal (L/mês)	Diária (L/dia)
Bacia Sanitária	-	-	12.150	2.700
Lavatório	6.750	1500	-	-

Fonte: Autoria própria.

A demanda de água pluvial desse estudo é composta pelo aproveitamento do recurso na atividade de descarga das bacias sanitárias. O cálculo de demanda de água pluvial foi feito baseado nos dados da Tabela 2, onde a demanda foi obtida através do consumo da bacia sanitária, o equivalente a 12.150 L/mês e conseqüentemente 2.700 L/dia.

Quanto à oferta de água pluvial, a mesma foi adquirida através da área de captação e média pluviométrica das séries históricas mensais referentes ao período de outubro de 2008 a setembro de 2018 no município de Caruaru-PE segundo dados da APAC. Daí, foi calculado o volume mensal ofertado para o sistema aplicando o Coeficiente de Runoff no valor de 0,9 e Fator de Captação 0,8 conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Volume de Captação Mensal.

Meses	Precipitação Média (mm)	Área Captação (m²)	Coefic Runoff	Fator de Captação	Volume Captado (m³)
Janeiro	42,62	44,3	0,9	0,8	1,36
Fevereiro	31,78	44,3	0,9	0,8	1,01
Março	38,17	44,3	0,9	0,8	1,22
Abril	70,44	44,3	0,9	0,8	2,25
Maio	79,71	44,3	0,9	0,8	2,54
Junho	80,53	44,3	0,9	0,8	2,57
Julho	77,26	44,3	0,9	0,8	2,46
Agosto	28,9	44,3	0,9	0,8	0,92
Setembro	17,02	44,3	0,9	0,8	0,54
Outubro	8,14	44,3	0,9	0,8	0,26
Novembro	9,58	44,3	0,9	0,8	0,31
Dezembro	17,98	44,3	0,9	0,8	0,57

Fonte: Autoria própria.

Conforme Tabela 4, percebe-se que o sistema de captação nos últimos 5 meses do ano apresenta um déficit na oferta, devido à baixa taxa de precipitação e o seu volume mensal captado não apresenta quantidade significativa devido à dimensão da área de contribuição. Considerando uma média de volume captado mensalmente de 1,33 m³, o reaproveitamento de água pluvial atenderá em torno de 11% do consumo referente às bacias sanitárias e 7% do consumo total do empreendimento.

Dimensionamento do Sistema de Reuso de Águas Pluviais

Os diâmetros das tubulações de abastecimento de água foram utilizados os mesmos dos recomendados no projeto tradicional, acrescentando apenas as tubulações de abastecimento com águas pluviais.

Através do acervo digital da Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC, foram coletados dados das séries históricas de precipitações mensais referentes ao período de outubro de 2008 a setembro de 2018 na cidade de Caruaru-PE, que

possibilitaram o cálculo das taxas pluviométricas médias mensais.

O volume de água da chuva que pode ser captado não é igual ao precipitado, uma vez que existe uma perda para o material do telhado e também devido à infiltração e evaporação. Logo, o potencial de captação de chuva foi calculado de acordo com as taxas pluviométricas médias da série histórica em estudo, aplicando-se o coeficiente de Runoff no valor de 0,90, e fator de captação de 0,80, de acordo com os dados apresentados na Tabela 4.

Para o cálculo do volume da água pluvial a ser armazenada foi tomado como base o Método Prático Alemão conforme NBR 15527 (ABNT, 2007), que utiliza 6% do volume anual de precipitação aproveitável. Logo, utilizando dados da Figura 3, o volume será equivalente a 961L. Como os reservatórios superior e inferior foram dimensionados para acomodar 40% e 60% do volume total de reuso, a parcela de água pluvial equivale a 384 L e 577 L respectivamente.

Dimensionamento do Sistema de Reuso de Águas Cinzas

Os diâmetros das tubulações de abastecimento foram utilizados os mesmos dos indicados no projeto tradicional, adicionando apenas as tubulações de abastecimento com águas cinzas.

O diâmetro dos ramais de esgoto utilizados foram os mesmos dos recomendados no sistema tradicional, todavia, foi acatado a separação das águas negras das cinzas. Dessa forma, foram colocados tubos de queda extras, a fim de realizar a referida separação.

A determinação do volume de água cinza a ser armazenada foi determinada à partir da oferta diária, onde, o volume de água cinza a ser reservado será de 1.500 L. Logo, como os reservatórios superior e inferior foram dimensionados para comportar 40% e 60% do volume total de reuso, a porção de água cinza corresponde a 600 L e 900 L respectivamente.

O dimensionamento do equipamento de bombeamento foi determinado à partir da demanda de água não potável aproveitada em bacias sanitárias, sendo igual a 2,7 m³/dia. Em seguida, foi calculada a vazão de

recalque, resultando em 0,45 m³/h. Logo, foram dimensionados os diâmetros de recalque e sucção, onde foi obtido o valor de 10,28 mm, sendo adotada a bitola de 20 mm para a tubulação de recalque e 25 mm para tubulação de sucção.

Posteriormente, foi feito o dimensionamento do conjunto motor-bomba, com dados de entrada referentes à vazão de recalque ($125 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$), eficiência do equipamento (50%) e altura manométrica (6,53 metros), chegando ao valor de 0,02 CV.

No processo de tratamento das águas cinzas foi empregado o Filtro de Reuso de Águas Cinzas, formado por 3 mídias combinadas por pré-filtração, tratamento e polimento.

Reservatório

Conforme Tabela 5 foi estabelecido o volume total referente aos reservatórios superior e inferior implantados no sistema de reuso.

Tabela 5 - Volume dos Reservatórios.

	Reservatório Superior	Reservatório Inferior
Volume de Água Cinza (L)	600	900
Volume de Água Pluvial (L)	384	577
Total	984 L	1477 L

Fonte: Autoria própria.

Os reservatórios comerciais com capacidade mais similares aos volumes determinados são os compostos em polietileno com capacidade para 1.000L e 1.500L, contudo, como medida de segurança, serão utilizados 1.000L e 2.000L.

Para prevenir a falta de água no sistema de reuso será acrescentado uma boia no reservatório superior situada em um nível abaixo da boia equivalente a entrada da água de reuso, associando-a ao reservatório superior de água potável, onde, esta boia acionará quando o nível ficar abaixo do mínimo, existindo assim a entrada de água tratada no reservatório para conservar um nível de segurança através da união de conjuntos.

Viabilidade Técnica e Econômica

Conforme análise do sistema de reuso de águas cinzas e reaproveitamento de águas pluviais, será atendido aproximadamente 66,6% do consumo equivalente às bacias sanitárias e 42,7% referente ao consumo total do empreendimento, ou seja, será economizado cerca de 8.080L de água potável mensalmente.

Logo, foram verificadas as tarifas cobradas pelo fornecimento de água potável e esgotamento sanitário destinado a edificações públicas na página virtual da COMPESA. Daí, por meio do volume de água reduzido anualmente, foi analisado a economia anual gerada pela implantação do sistema através da Tabela 6.

Tabela 6 - Economia Anual gerada pelo Sistema.

Volume Economizado (m³/ano)	Tarifa de abastecimento (R\$/m³)	Taxa de Esgoto (R\$/m³)	Economia Anual (R\$)
96,96	7,27	5,82	R\$1.269,21

Fonte: A autoria própria.

De acordo com a Tabela 6, o sistema em estudo oferta uma economia anual de R\$ 1.269,21, entretanto, necessita de gastos de R\$17,76 e R\$400,00 (Tabela 7), relativo aos custos anuais de operação e manutenção, respectivamente.

Tabela 7 - Custos de Operação e Manutenção Anual do Sistema.

Fonte	Despesas Anuais	Und.	Qtd.	Valor Unitário (R\$)	Total
CELPE	Consumo De Energia Para Edificações De Classe B3	Kwh	24	R\$0,74	R\$17,76
Estimativa	Manutenção Em Geral	Und.	1	R\$400,00	R\$400,00

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, foi realizado a análise da viabilidade econômica através do orçamento exibido abaixo no Quadro 1.

Quadro 1 - Orçamento do Sistema de Reuso.

Item	Tipo	Cód.	Descrição	Un d.	Qt d.	Preço unitário	Total com B.D.I 20%
1	Serviços Preliminares						R\$381,00
1.1	Composição o/ Sinapi	85423	Isolamento de obra com tela plástica malha 5mm	M2	50	R\$6,35	R\$381,00
2	Demolição, Escavação, Transporte, Reaterro E Compactação						R\$862,93
2.1	Reservatório Inferior De Águas Cinzas						R\$55,44
2.1. 1	Composição o/ Sinapi	89887	Escavação vertical a céu aberto, incluindo carga, descarga e transporte, em solo de 1ª categoria com escavadeira hidrául	M3	4,8	R\$8,50	R\$48,96
2.1. 2	Composição o/ Sinapi	72961	Regularizacao e compactacao de subleito ate 20 cm de espessura	M2	4	R\$1,35	R\$6,48
2.2	Rede De Água Cinza						R\$607,58
2.2. 1	Composição o/ Sinapi	97634	Demolição de revestimento cerâmico, de forma mecanizada com martetele. Af_12/2017	M2	5,3	R\$9,66	R\$61,44

2.2. 2	Composição o/ Sinapi	90445	Rasgo em contrapiso para ramais/ distribuição com diâmetros maiores que 40 mm e menores ou iguais a 75 mm. Af_05/2015	M	13, 5	R\$25,57	R\$414,23
2.2. 3	Composição o/ Sinapi	93358	Escavação manual de vala com profundidade menor ou igual a 1,30 m. Af_03/2016	M3	1,2 2	R\$56,09	R\$82,12
2.2. 4	Composição o/ Sinapi	96995	Reaterro manual apiloado com soquete. Af_10/2017	M3	1,2 2	R\$34,01	R\$49,79
2.3	Rede De Água Pluvial						R\$199,91
2.3. 1	Composição o/ Sinapi	90445	Rasgo em contrapiso para ramais/ distribuição com diâmetros maiores que 40 mm e menores ou iguais a 75 mm. Af_05/2015	M	5	R\$25,57	R\$153,42
2.3. 2	Composição o/ Sinapi	93358	Escavação manual de vala com profundidade menor ou igual a 1,30 m. Af_03/2016	M3	0,4 3	R\$56,09	R\$28,94
2.3. 3	Composição o/ Sinapi	96995	Reaterro manual apiloado com soquete. Af_10/2017	M3	0,4 3	R\$34,01	R\$17,55

3	Infraestruturas						R\$618,81
3.1	Reservatório Inferior De Águas Cinzas						R\$90,82
3.1.1	Composição/ Sinapi	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos ou radiers, espessura de 5 cm. Af_07/2016	M2	4	R\$18,92	R\$90,82
3.2	Rede De Água Cinza						R\$439,21
3.2.1	Composição/ Sinapi	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos ou radiers, espessura de 5 cm. Af_07/2016	M2	4,1	R\$18,92	R\$93,09
3.2.2	Composição/ Sinapi	87630	Contrapiso em argamassa traço 1:4, preparo mecânico com betoneira 400 l, espessura 3cm. Af_06/2014	M2	4,1	R\$30,40	R\$149,57
3.2.3	Composição/ Sinapi	87251	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 45x45 cm. Af_06/2014	M2	5	R\$32,76	R\$196,56
3.3	Rede De Água Pluvial						R\$88,78
3.3.1	Composição/ Sinapi	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos ou radiers, espessura de 5 cm. Af_07/2016	M2	1,5	R\$18,92	R\$34,06
3.3.2	Composição/ Sinapi	87630	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo mecânico com betoneira 400 l, espessura 3cm. Af_06/2014	M2	1,5	R\$30,40	R\$54,72

4	Instalações Hidráulicas							R\$5.809,21
4.1	Reservatório Inferior De Águas Cinzas							R\$1.738,57
4.1.1	Composição o/ Sinapi	729	Bomba centrifuga com motor eletrico monofasico, pot 0,33 hp,bocais 1"x3/4"	Un	1	R\$650,00	R\$780,00	
4.1.2	Composição o/ Sinapi	73796/2	Válvula de pé com crivo ø 25mm (1") - fornecimento e instalação	Un	1	R\$55,87	R\$67,04	
4.1.3	Composição o/ Sinapi	73795/1	Válvula de retenção vertical ø 20mm (3/4") - fornecimento e instalação	Un	1	R\$53,11	R\$63,73	
4.1.4	Composição o	94494	Registro de gaveta bruto, latão, roscável, 3/4" – fornecimento e instalação. Af_06/2016	Un	1	R\$57,91	R\$69,49	
4.1.5	Mercado	34640	Caixa d'agua em polietileno 2000 litros, com tampa	Un	1	R\$631,92	R\$758,30	
4.2	Rede De Água Cinza							R\$3.561,16

4.2.1	Composição o/ Sinapi	91788	(composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, soldável, água fria, dn 50 mm. Af_10/2015	M	12,9	R\$29,17	R\$451,55
4.2.2	Composição o/ Sinapi	91785	(composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, soldável, água fria, dn 25 mm. Af_10/2015	M	2,6	R\$28,89	R\$90,14
4.2.3	Composição o/ Sinapi	91784	(composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, soldável, água fria, dn 20. Af_10/2015	M	10,8	R\$29,28	R\$379,47
4.2.4	Mercado	Gbf1200	Filtro reuso de águas cinzas	Un	1	R\$2.200,00	R\$2.640,00
4.3	Rede De Água Pluvial						R\$397,44
4.3.1	Composição o/ Sinapi	91785	(composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, soldável, água fria, dn 25 mm. Af_10/2015	M	5	R\$28,89	R\$173,34
4.4	Reservatório Superior De Água Cinza						R\$112,05
4.4.1	Composição o/ Sinapi	85195	Chave de boia automática	Un	1	R\$63,30	R\$75,96
4.4.2	Composição o/ Sinapi	40329	Torneira plastica de boia convencional para caixa de agua, 3/4 “	Un	1	R\$9,85	R\$11,82

4.4. 3	Composição o/ Sinapi	91785	(composição representativa) do serviço de instalação de tubos de pvc, soldável, água fria, dn 25 mm. Af_10/2015	M	0,7	R\$28,89	R\$24,27
Total							R\$7.671,95

Fonte: Autoria própria.

A obra orçada obteve o valor de R\$ 7.671,95 (com BDI de 20%) para ser investido na execução do sistema de reuso de águas cinzas e águas pluviais.

Sendo assim, o investimento a ser efetuado no sistema de reuso terá um período de retorno por volta de 9 anos, apresentando resultado satisfatório, por se tratar de um empreendimento público de pequeno porte e economia de um recurso que atualmente situa-se em estado de carência.

CONCLUSÃO

O reuso de água cinza apresentou vantagem em relação ao de água pluvial, atendendo em torno de 55,6% do consumo referente às bacias sanitárias e 35,7% do consumo total do empreendimento, enquanto o pluvial atendeu apenas 11% e 7%, devido a pequena área de captação e ao regime pluviométrico. Apesar da menor porcentagem equivalente ao reuso de águas pluviais, o sistema mostrou funcionalidade operando em conjunto e proporcionando uma viabilidade econômica e ambiental através da eficiência na utilização da água e economia de

42,7% do consumo total de água potável do empreendimento.

Através do presente estudo, a implementação do sistema de reuso foi estimado no valor de R\$ 7.671,95 (com BDI de 20%), onde apresentou-se viável, uma vez que oferta uma economia anual de R\$ 1.269,21, com retorno de investimento inicial atendendo os custos de operação e manutenção anual do sistema previsto para 9 anos, período satisfatório, por se tratar de um empreendimento público de pequeno porte e economia de um recurso que atualmente encontra-se em escassez.

Portanto, constatou-se que a implementação do sistema de reuso de águas cinzas e pluviais no empreendimento mostrou-se sustentavelmente e economicamente viável, pois proporciona grande potencial de economia de água potável, ofertando benefícios financeiros em médio prazo e benefícios ambientais imediatos através da preservação dos recursos hídricos da região.

REFERÊNCIAS

Asano, T.; Burton, F. L.; Harold, L. L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. *Water Reuse: issues, technologies, and applications*. New York: Mc Graw Hill, 2007. 1570p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2007. Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. *Reuso de Água*. 1 ed. São Paulo: Manole, 2003.

MEIRELLES, M. H. *Reuso de águas cinzas para fins não potáveis*. 2014. 45f. Monografia – Faculdade de Ciências Jurídicas e Gerenciais Alves Fortes, Fundação Educacional de Além Paraíba, Além Paraíba, 2014.

SABESP. *Reuso Planejado: Sabesp Meio Ambiente; Reciclagem e Lodo*. 2006. Disponível em: <www.sabesp.com.br/sabespensina/avancado>. Acesso em: 12/09/2018.

SICKERMANN, J. *Sistema de aproveitamento de águas pluviais em edificações*. Téchné, 2002. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/sistema-de-aproveitamento-de-aguas-pluviais-em-edificacoes-81616-1.aspx>>. Acesso em: 27/08/2018.

SILVA, T. R. L. *ANÁLISE DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO MODA CENTER, NA CIDADE DE SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE-PE*. 2017. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Caruaru, 2017.

TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água*. São Paulo: Hermano e Bugelli, 2000.

