



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB)
CENTRO DE TECNOLOGIA (CT)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ ROCHA DOS SANTOS RANGEL

**OPÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE
CAPTAÇÃO RESIDENCIAIS**

JOÃO PESSOA

2023

ANDRÉ ROCHA DOS SANTOS RANGEL

**OPÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE
CAPTAÇÃO RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso entregue ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R196o Rangel, André Rocha dos Santos.

Opções de tratamento de águas pluviais em sistemas
de captação residenciais / André Rocha Dos Santos
Rangel. - João Pessoa, 2023.

101 f. : il.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Júnior.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Técnicas de tratamento de águas pluviais. 2.
Filtração de águas pluviais. 3. Desinfecção de águas
pluviais. 4. Descarte de água da chuva. I. Athayde
Júnior, Gilson Barbosa. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

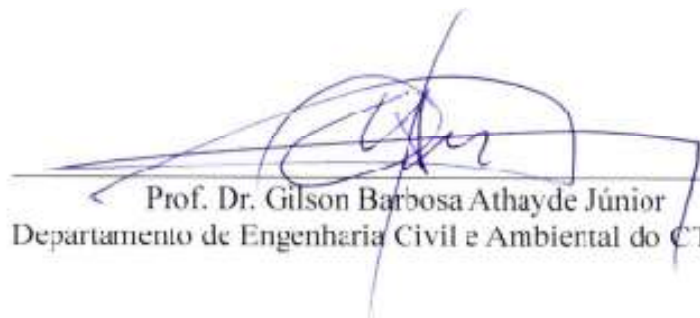
CDU 624(03.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

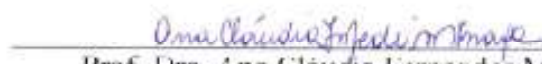
ANDRÉ ROCHA DOS SANTOS RANGEL

**OPÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE
CAPTAÇÃO RESIDENCIAIS**

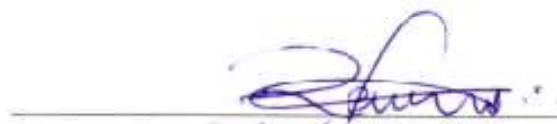
Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 09 de novembro de 2023 perante a seguinte
banca examinadora:


Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Prof. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Prof. Dr. Rennio Félix de Sena
Departamento de Engenharia Química do CT/UFPB

APROVADO

RESUMO

A água é um bem essencial à vida humana, mas nem sempre está disponível a todos. Parte deste problema está atrelado ao crescimento populacional e a limitação de recursos hídricos que os mananciais e o serviço público de abastecimento são capazes de oferecer. Como forma de atenuar o problema, existem as fontes alternativas de água para edificações, dentre elas, as águas de chuva. Para utilização de água de chuva nas edificações, faz-se necessário confrontar sua qualidade com padrões recomendados ou estabelecidos conforme os usos pretendidos e se for o caso, submeter a água a processos de tratamento. A evolução dos estudos e diferentes técnicas de tratamento para águas de chuvas captadas em edificações tem se mostrado como uma alternativa para mitigar o problema de abastecimento de água em regiões menos favorecidas hidricamente. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar na literatura as diferentes formas empregadas para tratamento de água e mensurar seu grau de eficiência nos parâmetros de pH, cor, turbidez e contagem de coliformes. Para tal, foi realizada uma pesquisa em trabalhos acadêmicos que estudaram o emprego de técnicas de descarte, filtração e desinfecção de águas pluviais como alternativa para melhorar sua qualidade. Notou-se que a mesma técnica pode apresentar diferentes resultados de acordo com as variadas condições iniciais para o tratamento, como a qualidade da água precipitada, a quantidade descartada, o material empregado na filtração e a vazão de tratamento. A não padronização dos estudos para os parâmetros analisados mostrou-se como um fator que dificulta a comparação e análise dos resultados. Verificou-se que as técnicas/processos abordados neste estudo são eficientes na remoção de contaminantes presentes nas águas de chuva. Dependendo da qualidade inicial da água e da finalidade almejada o tratamento deverá ser mais rígido ou não, sendo que para finalidades potáveis é sempre recomendável que a água passe por um processo de desinfecção para eliminar a contagem de agentes patógenos presentes em seu conteúdo.

PALAVRAS-CHAVE: Técnicas de tratamento de águas pluviais, filtração de águas pluviais, desinfecção de águas pluviais, descarte de água da chuva.

ABSTRACT

Water is an essential resource, needed for human survival. Nevertheless, it is not always readily available for everyone. Human population growth, limited water resources and deficient water supply services are part of the problem. To mitigate this, alternative sources of water supply for buildings can be used, including rainwater. To use rainwater in buildings, it is necessary to compare its quality with some recommended or proposed standards, according to the intended uses and, if necessary, subject the water to treatment processes. Different techniques for treating rainwater harvested in buildings, along with their respective studies, have been used as an interesting solution to reduce the problem of water supply in hydrologically depleted regions. In this study, we analyzed the different methods used for water treatment and estimated their level of efficiency (shown in the following parameters: pH, color, turbidity and coliform count), present in the specialized literature. To this end, we reviewed academic works that researched the use of techniques for disposal, filtration and contamination of rainwater as an alternative to improving its quality. We noted that the same technique can present different results, according to the different initial conditions for the treatment, such as: quality of the precipitated water, quantity discarded in the first flush, materials used as filtration media and treatment flow rate. The non-standardization of studies about the analyzed parameters proved to be a factor that makes difficult comparison and analysis of results. We found that the techniques/processes involved in this study removed contaminants present in rainwater efficiently. Depending on the initial quality of the water and the specifics of its intended purpose, the treatment can be conducted more or less rigorously, and drinking water should always go through a disinfection process to eliminate the concentration of pathogens present in its content.

KEYWORDS: Rainwater treatment techniques, rainwater filtration, rainwater disinfection, rainwater first flush.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de desvio das primeiras chuvas - princípio do fecho hídrico	18
Figura 2: Esquema de desvio das primeiras chuvas - princípio dos vasos comunicantes	19
Figura 3: Vista de sistema de captação da água de chuva de Hirt e Santos (2011).....	20
Figura 4: Sistema exclusão dos primeiros milímetros da chuva de Hirt e Santos (2011).	20
Figura 5: Vista frontal direita do telhado utilizado na captação de águas pluviais.....	21
Figura 6: Foto do telhado utilizado na captação de águas pluviais, visto pela esquerda.	21
Figura 7: Corte esquemático de um sistema de captação de água da chuva.....	22
Figura 8: Sifão.....	23
Figura 9: Utilizando o sifão para esvaziar o separador.....	23
Figura 10: Procedimento para coleta da água da chuva após o mecanismo de descarte	26
Figura 11: Procedimento para análise da qualidade da água de chuva sem a utilização do dispositivo de descarte	26
Figura 12: Sistema de desvios das primeiras águas empregado por Xavier et al. (2009).....	28
Figura 13: Coleta da água de chuva.....	29
Figura 14: Sistema de uso de águas pluviais de estudado por Hernandez e Amorim (2006).....	31
Figura 15: Localização da área de estudo realizado por Santana (2012).....	32
Figura 16: Ilustração do disposto de descarte da precipitação inicial.....	33
Figura 17: Esquema básico do dos dispositivos automáticos de descarte de Santana (2012) ...	34
Figura 18: Construção dos dispositivos automáticos de descarte das primeiras águas	34
Figura 19: Coleta de água da chuva diretamente da atmosfera	35
Figura 20: Coleta de água no dispositivo de descarte do primeiro milímetro	35
Figura 21: Desenho esquemático de um filtro de material granular.....	39
Figura 22: Desenho esquemático do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de água de chuva.....	40
Figura 23: Telhado de coleta da água de chuva.....	40
Figura 24: Calha.....	40
Figura 25: Condutores da água da chuva.....	40
Figura 26: Tela em Nylon.....	40
Figura 27: Reservatório de armazenamento da água da chuva (pré-tratamento).....	41
Figura 28: Bombas dosadoras.....	41
Figura 29: Filtro Lento de areia	41
Figura 30: Reservatório de armazenamento da água após Filtração lenta.....	41

Figura 31: Vista geral do Sistema.....	41
Figura 32: Filtro lento colmatado	42
Figura 33: Areia suja coletada para lavagem.....	42
Figura 34: Areia após a lavagem.	42
Figura 35: Filtros de areia e carvão.....	43
Figura 36: Reservatórios de água pluvial utilizados por Oliveira (2021).....	45
Figura 37: Estrutura suporte do filtro montado por Oliveira (2021).	46
Figura 38: Sistema de filtração lenta de Oliveira (2021).....	47
Figura 39: Esquema do procedimento experimental	48
Figura 40: Antes e após a limpeza da areia.....	49
Figura 41: Localização e local de instalação da estação de estudo.....	51
Figura 42: Esquema simplificado dos componentes da estação experimental de coleta e armazenamento da água da chuva no estudo de Murakami (2011).....	51
Figura 43: Caixa de Passagem	52
Figura 44: Caixa de Desvio.....	52
Figura 45: Caixa Gradeada	52
Figura 46: Esquema simplificado do sistema de desvio do estudo.....	52
Figura 47: Reservatório de acumulação (esquerda) e armazenamento (direita) utilizados por Murakami (2011)	53
Figura 48: Bomba utilizada para homogeneização da água do reservatório de acumulação.....	53
Figura 49: Bomba utilizada para encaminhar a água pluvial até o filtro de pressão	53
Figura 50: Processo de homogeneização da água do reservatório de acumulação	54
Figura 51: Filtro de pressão utilizado por Murakami	54
Figura 52: Ensaio Granulométrico realizado por Murakami (2011).	55
Figura 53: Curva granulométrica do ensaio de Murakami (2011).....	55
Figura 54: Processo simplificado de filtração da água pluvial contida no reservatório de acumulação e retirada das amostras para análise da água filtrada.	56
Figura 55: Filtro 1 - filtro de areia	58
Figura 56: Filtro 2 - tripla camada	58
Figura 57 : Processo da filtração – despejo da amostra em recipiente plástico furado	59
Figura 58: Processo da filtração por gotejamento.....	59
Figura 59: Detalhe do gotejamento.....	59
Figura 60: Processo de filtração – despejo de amostra com o recipiente posicionado	59

Figura 61: Sistema de captação, descarte, filtração para retenção de sólidos grosseiros e armazenamento de água de chuva.....	62
Figura 62: Sistema de filtração constituído de dois filtros de celulose de 25 micras.	63
Figura 63: Colocação da brita na base do filtro	64
Figura 64: Colocação da manta geotêxtil entre camadas.....	64
Figura 65: Preenchimento da camada superior com areia	64
Figura 66: Colocação de telha de fibrocimento sobre a camada superior	64
Figura 67: Sistema de captação da água da chuva utilizado por Santana (2012)	64
Figura 68: Coleta de água no reservatório após o tratamento de filtração.....	65
Figura 69: Faixas de grupos da radiação Ultravioleta	68
Figura 70: Efeito germicida em função do comprimento de onda da radiação UV	69
Figura 71: Sistema experimental de tratamento de água de chuva utilizado por Rocha, Reis e Araújo (2011).....	72
Figura 72: Unidade de desinfecção por UV.....	73
Figura 73: Bombona de armazenamento 2.	73
Figura 74: Bomba dosadora de cloro	73
Figura 75: Garrafa PET do experimento de Oliveira (2021)	75
Figura 76: Concentrador solar utilizado por Oliveira (2021)	75
Figura 77: Escritório Verde da UTFPR	76
Figura 78: Cisterna de armazenamento inicial utilizada por Santos (2018)	77
Figura 79: Válvula de controle da vazão e bomba fotovoltaica.....	77
Figura 80: Sistema de desinfecção ultravioleta	78
Figura 81: Sistema de desinfecção de água da chuva alimentado por módulos fotovoltaicos utilizado por Santos (2018).....	78
Figura 82: Local de coleta das amostras de Carvajal (2015).....	80
Figura 83: filtração das amostras de Carvajal (2015)	80
Figura 84: À esquerda: Estrutura suporte para os ensaios SODIS. À direita: Disposição de garrafas PET em telhados para exposição ao sol.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação entre a desinfecção por Cloração e UV	70
Quadro 2: Vantagens e desvantagens do tratamento por radiação UV	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores dos ensaios da água de exclusão e do reservatório de Hirt e Santos (2011) ..	24
Tabela 2: Valores dos ensaios da água captada por Vieira (2013)	27
Tabela 3: Parâmetros de pH e turbidez encontrado por Xavier et al. (2009) no DFH.....	29
Tabela 4: Parâmetros de pH e turbidez encontrado por Xavier et al. (2009) no DVC	30
Tabela 5: Média dos ensaios da água pluvial estudada por Hernandez e Amorim (2006)	31
Tabela 6: Média dos resultados obtidos por Santana (2012)	36
Tabela 7: Resultado dos ensaios de filtração de Hirt e Santos (2011).....	44
Tabela 8: Resultado do ensaio granulométrico do meio filtrante utilizado por Muraki (2011) .	55
Tabela 9: Parâmetros encontrados por Murakami (2011) em seus ensaios sem uso de coagulante primário.	57
Tabela 10: Valores do processo de filtração realizado por Vieira (2013) da água previamente submetida a um tratamento de descarte dos primeiros milímetros.	60
Tabela 11: Valores do processo de filtração realizado por Vieira (2013) da água que não foi previamente submetida a um tratamento de descarte dos primeiros milímetros	60
Tabela 12: Média dos resultados de análise dos parâmetros de qualidade das águas após o tratamento realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011).....	74
Tabela 13: Média das análises da água nos ensaios realizados no laboratório da UTFPR por Santos (2018)	79
Tabela 14: Média dos parâmetros físicos-químicos e microbiológicas medidos nas amostras de água estudada por Carvajal (2015)	81
Tabela 15: Tratamento por descarte - Valores médios	90
Tabela 16: Tratamento por filtração - Valores médios	91
Tabela 17: Tratamento por desinfecção - Valores médios.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BSF	<i>BioSandFilter</i>
CEA	Centro de Estudos Ambientais
cm	Centímetros
cv	Cavalo Vapor
DFH	Dispositivo do Fecho Hídrico
DVC	Dispositivo dos Vasos Comunicantes
g	grama
h	Hora
km	Quilômetro
kg	quilograma
L	Litro
m ²	Metros Quadrados
m ³	Metros Cúbicos
mg	Miligrama
min	Minutos
ml	Mililitro
nº	Número
NBR	Normas Brasileiras
NMP	Número Mais Provável
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de Vinila
SODIS	<i>Solar Disinfection</i>
UFC	Unidade Formadora de Colônia
uH	Unidade Hazen
uT	Unidade de Turbidez
UV	Ultravioleta
Wh	<i>Watt-hora</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVO.....	13
3.	METODOLOGIA.....	13
4.	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4.1.	Opções de tratamento para água de chuva captada em edificações.....	17
4.1.1.	Descarte dos milímetros iniciais das primeiras chuvas	17
4.1.2.	Sistema de descartes	18
4.1.3.	Estudo de autores que empregaram tratamento por descarte	21
4.1.3.1.	Tratamento por descarte realizado por Hirt e Santos (2011).....	21
4.1.3.2.	Tratamento por descarte realizado por Vieira (2013).....	25
4.1.3.3.	Tratamento por descarte realizado por Xavier et al. (2009) e Xavier (2010).....	28
4.1.3.4.	Tratamento por descarte realizado por Hernandez e Amorim (2006)	30
4.1.3.5.	Tratamento por descarte realizado por Santana (2012)	32
4.1.4.	Tratamento por Filtração	37
4.1.5.	Estudo de autores que empregaram tratamento por filtração	39
4.1.5.1.	Tratamento por filtração realizado por Bastos (2007).....	39
4.1.5.2.	Tratamento por filtração realizado por Hirt e Santos (2011).....	42
4.1.5.3.	Tratamento por filtração realizado por Oliveira (2021)	45
4.1.5.4.	Tratamento por filtração realizado por Murakami (2011).....	50
4.1.5.5.	Tratamento por filtração realizado por Vieira (2013)	57
4.1.5.6.	Tratamento por filtração realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011)	61
4.1.5.7.	Tratamento por filtração realizado por Santana (2012).....	63
4.1.6.	Tratamento por desinfecção.....	65
4.1.6.1.	Desinfecção por Cloro	66
4.1.6.2.	Radiação Ultravioleta.	67
4.1.6.3.	Radiação Solar.....	70
4.1.7.	Estudo de autores que empregaram tratamento por desinfecção.....	72
4.1.7.1.	Tratamento por desinfecção realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011).....	72
4.1.7.2.	Tratamento por desinfecção realizado por Oliveira (2021).....	74
4.1.7.3.	Tratamento por desinfecção realizado por Santos (2018)	76
4.1.7.4.	Tratamento por desinfecção realizado por Carvajal (2015)	79
5.	COMPARAÇÃO ENTRE AS OPÇÕES DE TRATAMENTO	83

6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
	REFERÊNCIAS.....	95

1.INTRODUÇÃO

O índice de crescimento populacional e econômico, o desperdício e as mudanças climáticas são fatores que tem têm tornado a água um recurso mais precioso e escasso, com crises hídricas acontecendo em diversas regiões do mundo, principalmente nas regiões menos favorecidas em termos de pluviometria. A importância da água potável é indiscutível por ser um recurso finito e indispensável a manutenção da vida humana, diretamente e indiretamente.

Além da ingestão de água potável, essencial a vida humana, ela tem função na agricultura, geração de energia, produção industrial, uso comercial, etc., sendo um recurso indispensável para atender tais setores. Quanto ao meio ambiente, não há como negar sua influência na fauna e flora; a natureza sofre consequências com a escassez hídrica, pois a água desempenha uma contribuição relevante na preservação dos ecossistemas. Sua ausência pode comprometer completamente as paisagens locais, a vida dos animais e causar danos de grandes magnitudes e irreparáveis.

Nesse aspecto, por ser um bem necessário, porém nem sempre disponível, o uso de fontes alternativas para provimento de água pode ser uma saída viável. Coletar a água que precipita sobre ambientes impermeáveis pode propor a economia desse bem, com seu armazenamento para uso imediato ou a longo prazo, principalmente nas regiões menos favorecidas pluviometricamente falando, que tendem a ter esse recurso mais escassos somado a longos períodos de estiagem.

Para alguns usos, as águas de chuva necessitam de tratamento, adequando suas características à determinados padrões de qualidade. Diferentes métodos de tratamento, que individualmente ou combinados, podem viabilizar sua utilização, tanto para fins potáveis como não potáveis. O seu armazenamento é considerado uma alternativa viável como forma de mitigar as dificuldades causadas pela sua ausência, como em locais não são atendidos pelo sistema público de abastecimento ou que sofrem por longos períodos secos.

Diante disso, o presente trabalho buscou apresentar uma comparação entre diferentes formas de tratamento de águas pluviais de modo que viabilizem o consumo humano, satisfazendo padrões de qualidade mínimos exigidos pelo Ministério da Saúde para o seu uso potável ou então, atendendo os que são estabelecidos pela NBR 15527/2019, que recomenda padrões de qualidade da água para o uso não potável.

2.OBJETIVO

Analisar estudos que utilizaram técnicas de tratamento de água da chuva captada em edificações verificando a eficiência desses estudos na melhoria da qualidade da água, com abrangência no território brasileiro.

3.METODOLOGIA

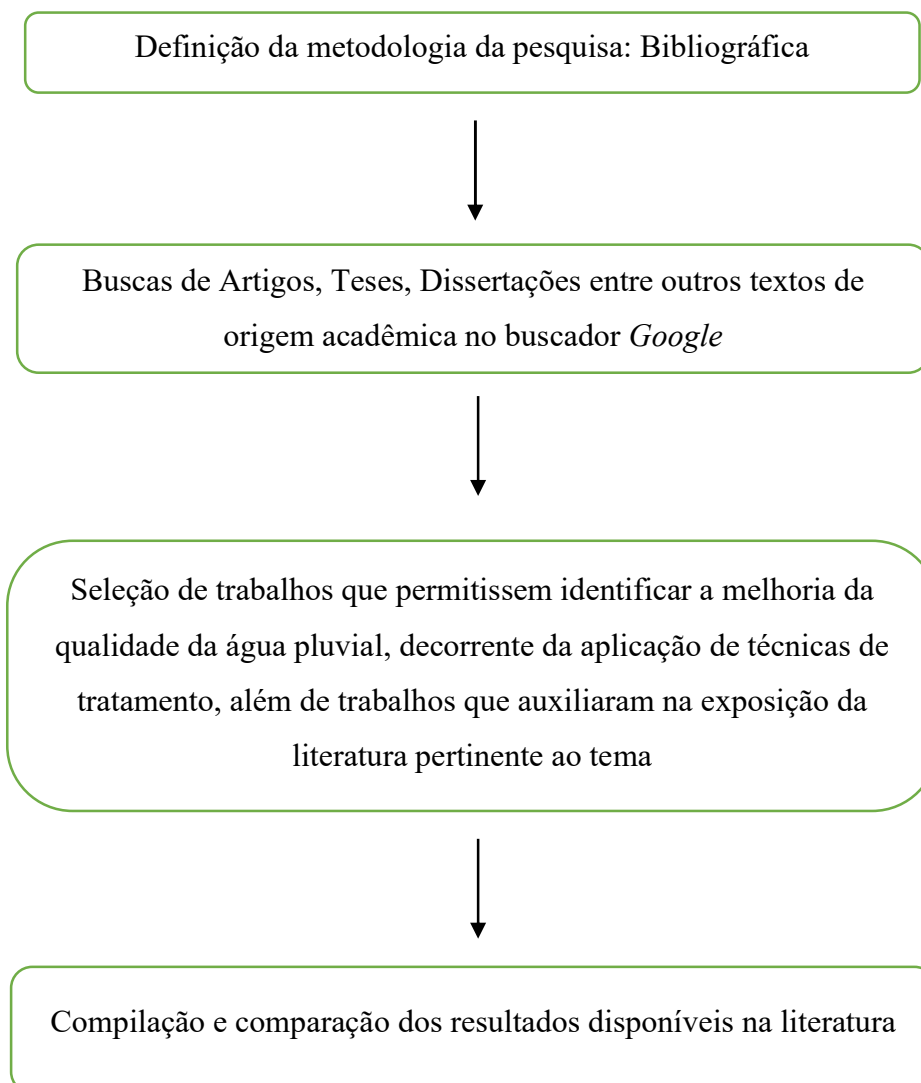
Esta pesquisa bibliográfica foi realizada mediante comparação de diferentes estudos acadêmicos, realizados em diversas regiões do Brasil, voltados ao tratamento de águas pluviais. O mecanismo de busca empregado foi o *google* o qual direcionava fontes de dados de origem acadêmica como artigos, monografias, dissertações e teses, além disso foi utilizado também livros em versão digital para complementar o desenvolvimento do estudo.

As palavras chaves comumente empregadas no buscador *google* foram “técnicas de tratamento de águas pluviais”, “filtração de águas pluviais”, “desinfecção de águas pluviais”, “descarte de chuva” dentre outros termos que inferissem a coleta de águas pluviais em edificações e suas formas de tratamento. Além das palavras chaves, diversos trabalhos acadêmicos encontrados e voltados a essa área de pesquisa forneciam novas fontes pertinentes a este estudo em suas referências.

Os trabalhos selecionados foram separados conforme as técnicas de tratamento empregadas, sendo que alguns empregaram mais que uma técnica no mesmo estudo e por isso foram enquadrados em mais de uma categoria de tratamento, porém com cada etapa sendo analisada de forma individual.

Buscou-se explicitar os detalhes de cada estudo apresentado como os índices encontrados, a taxa de descarte e de filtração, o tipo de desinfecção aplicada, os valores antes e depois do tratamento, etc. além de expor um resumo da como cada autor realizou sua pesquisa, apresentando as diversas formas de elaborar o mesmo sistema de tratamento.

O trabalho foi produzido de acordo com o seguinte fluxograma:



No que diz respeito aos parâmetros da qualidade da água avaliados de interesse para este trabalho, foram avaliados o pH, cor, turbidez e análise de Coliformes Totais. A escolha dessa seleção se deu por conta de serem as mais analisadas na literatura encontrada. O cálculo de alguns valores médios dos resultados se fez necessário nos casos em que as pesquisas analisadas não forneciam esse dado explicitamente, porém apresentavam diversos dados do mesmo parâmetro durante os períodos de amostragem. Os dados foram compilados em forma de tabelas para facilitar a comparação do desempenho de cada técnica, de cada estudo entre si.

Os parâmetros de qualidade da água são indicadores físico-químico bacteriológico que refletem sua potabilidade e também são utilizados como forma de mensurar a eficiência do tratamento aplicados na remoção das impurezas contidas em seu conteúdo. Há diversos parâmetros que devem ser atendidos para viabilizar o uso potável da água para consumo

humano, dentre os mais comuns analisados na literatura se encontra o pH, turbidez, cor e coliformes totais.

O pH é o potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons de hidrogênio H^+ , em escala anti-logarítmica, indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, seus valores são medidos entre 0 e 14, quanto menor seu valor mais corrosiva e agressiva é a água e quanto maior, mais passível de formar incrustações nas águas de abastecimento (Von Sperling 1996). Quando o pH está em 7 significa uma situação de neutralidade, em que os íons H^+ e OH^- se encontram em iguais concentrações no meio, a exemplo da água pura.

A turbidez é um parâmetro que mensura a quantidade de partículas que se encontram na água, causada pela presença de sólidos inorgânicos (rocha, areia, silte, etc.) ou matéria orgânica (microrganismos, algas, etc.) (Naddeo, Sacanepieco e Belgiorno, 2013).

Esse atributo físico representa o grau de interferência da passagem da luz na água, causada pelos sólidos em suspensão que são capazes de conferir ao meio uma aparência opaca e poder servir de abrigo aos microrganismos ali presentes, impactando diretamente eficiência do processo de desinfecção. De forma geral, é possível dizer que a turbidez, por si só, não traz inconvenientes sanitários, mas é desagradável ao consumidor, sendo um parâmetro utilizado na mensuração da potabilidade da água (Von Sperling 1996). Sua unidade de medida é Unidade de Turbidez (uT)

Outro parâmetro analisado está associado a uma das características da água, que é o seu aspecto incolor, porém ao interagir com sólidos, é possível que ela adquira tonalidades que variam de acordo com a mistura.

Um dos maiores responsáveis pela coloração a água são os sólidos dissolvidos e as partículas microscópicas em suspensão em forma não coloidal. Alguns íons como ferro e magnésio também podem alterar a sua cor, podendo ela ser classificada em cor aparente, quando há interferência da turbidez e cor verdadeira, quando há a remoção da turbidez. (Hagemann, 2009 e Tomaz, 2010).

A unidade de medida adotada para cor aparente é Unidade Hazen (uH) ou miligrama/litro (mg/L) de Pt/Co, (escala platina cobalto). Quando mais próximo de 0 uH mais a água apresenta um aspecto transparente, adquirindo tonalidades mais amareladas à medida que esse valor aumenta.

Por fim, os coliformes representam grupos de bactérias que podem identificar potencial contaminação do meio e geralmente não são patogênicas, mas serve como evidência de potencial organismos patógenos. Os valores de coliformes totais apresentam as condições

higiênicas da água e podem ser constatados inclusive em águas e solos não contaminados (Hagemann, 2009).

A principal bactéria desse grupo é o *Escherichia coli*, especificamente encontrado no intestino de animais de sangue quente e indicam a contaminação fecal e algumas espécies desse subgrupo capazes de trazer doenças ao homem, onde os alimentos contaminados por essas bactérias causam inflamações gastrointestinais quando ingeridos (Hagemann, 2009 e Santos, 2018).

4.REVISÃO DE LITERATURA

4.1.Opções de tratamento para água de chuva captada em edificações

4.1.1.Descarte dos milímetros iniciais das primeiras chuvas

São vários os métodos de tratamento que são utilizados para conceder qualidade às águas pluviais. A água no início de seu processo de precipitação são águas consideradas destiladas (Andrade Neto, 2014). No percurso até alcançar a superfície do solo, durante seu trajeto com a atmosfera, ela incorpora partículas suspensas que poluem a água originalmente destilada, já que a mesma é a responsável por fornecer a limpeza inicial da atmosfera e das superfícies com as quais entra em contato.

Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2015), quanto mais dias de estiagem, mais partículas poluidoras se acumulam na atmosfera e mais empobrecida fica a qualidade da água, o que pode prejudicar até mesmo as águas já armazenadas. Portanto é importante o descarte das primeiras águas da chuva.

Hagemann (2009) constatou que a qualidade da água coletada depende dos tipos de poluentes que se encontram na atmosfera e o intervalo entre as precipitações, fazendo menção a importância do descarte dos primeiros milímetros, principalmente nos períodos secos, pois a atmosfera pode conter poluentes e, a superfície coletora pode conter resíduos animais e vegetais. A autora ainda concluiu, que houve melhorias significativas na qualidade da água a partir do terceiro milímetro descartado.

A Norma Brasileira (NBR) 15.527 (ABNT, 2019), por sua vez, orienta parâmetros para o aproveitamento de águas da chuva coletadas em coberturas. A mesma já considera a área de cobertura como parte do sistema integrante do sistema de captação de água das chuvas e que deve ser avaliado as possíveis fontes de contaminação que vão além dos existentes na atmosfera.

Para a redução dos agentes contaminantes, redução dos sólidos suspensos e dissolvidos a referida norma recomenda o descarte dos 2 primeiros mm da precipitação inicial utilizando, de preferência, um dispositivo automático e de fácil manutenção.

Dessa forma tem-se o descarte das primeiras águas da chuva como bloqueio sanitário utilizado para eliminar, de forma considerável, resíduos e materiais que comprometem a qualidade da água. Diversos estudos (Hagemann, 2009, Hirt e Santos, 2011; Vieira, 2013;

Xavier et al., 2009.) constataram que a água proveniente dos milímetros iniciais de uma precipitação possui qualidade inferior àquelas armazenadas após o seu descarte.

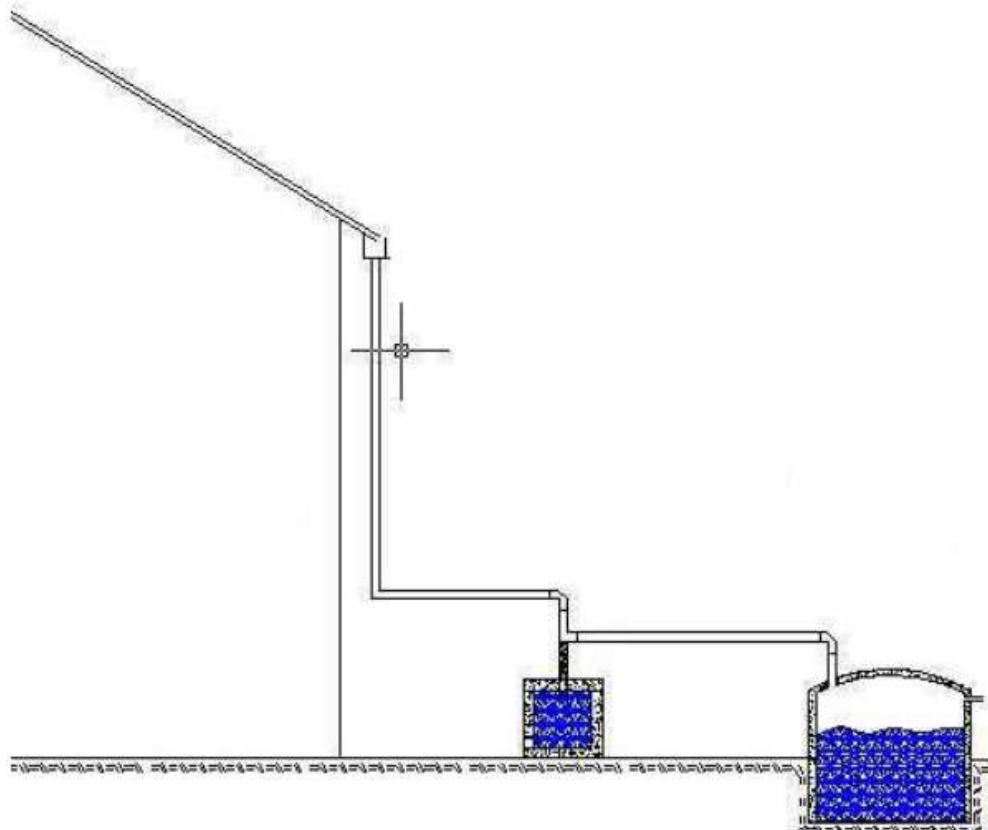
O descarte já do primeiro milímetro da chuva já promove melhor qualidade da água que for armazenada, tal precipitação contém sedimentos e impurezas, retiradas da atmosfera além das que são carregadas quando batem nas superfícies de contato de captação (Andrade Neto, 2014)

4.1.2. Sistema de descartes

Como a própria NBR 15.527 (ABNT, 2019) padroniza e recomenda, tal sistema deve ser preferencialmente automático. Isso busca promover o controle de descarte da água coletada. Sabendo que cada milímetro de descarte corresponde ao volume de 1L para cada metro quadrado de superfície de captação, é possível, por exemplo, dimensionar os volumes dos dispositivos de descarte que, quando saturados, canalizam a precipitação para o reservatório final de coleta e armazenamento.

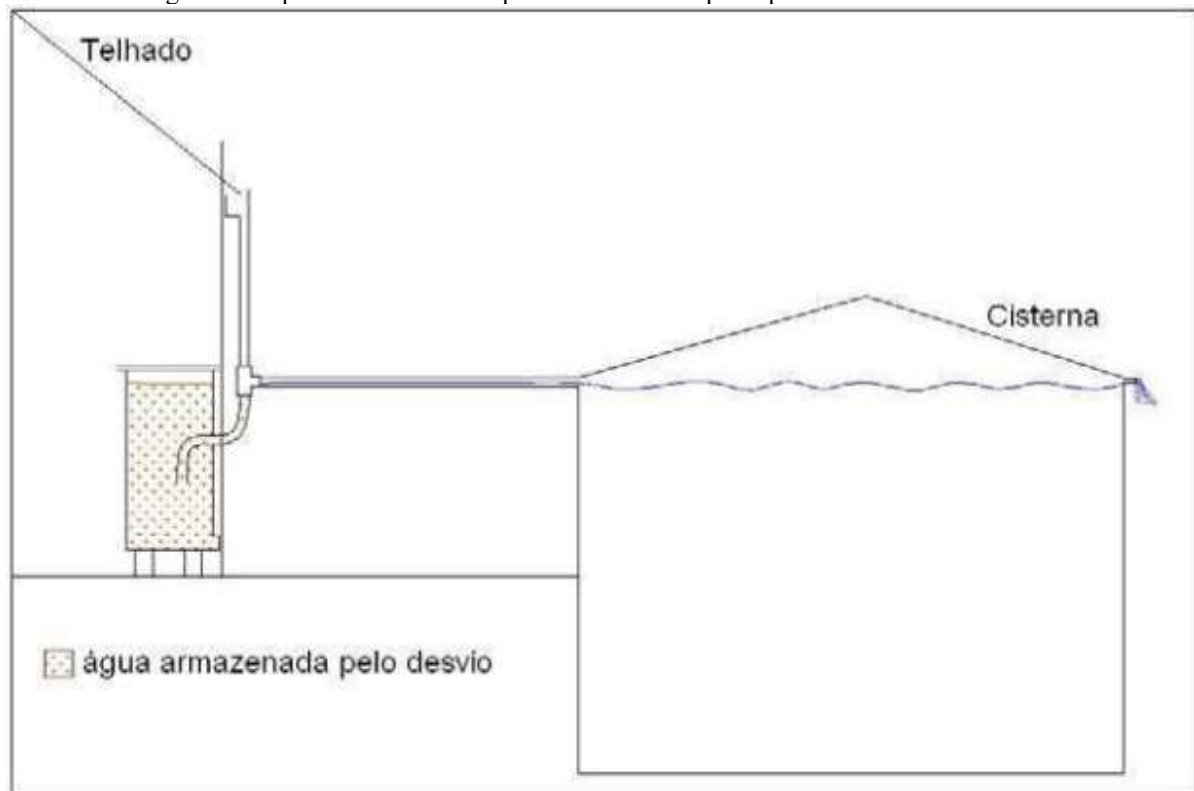
Na Figura 1 e na Figura 2 são apresentados dois exemplos de dispositivos de descartes

Figura 1: Esquema de desvio das primeiras chuvas - princípio do fecho hídrico



Fonte: Xavier 2010

Figura 2: Esquema de desvio das primeiras chuvas - princípio dos vasos comunicantes



Fonte: Xavier 2010

Conforme a Figura 01 que é representado o DFH (Dispositivo do Fecho Hídrico) a água escoar da superfície de coleta por uma tubulação até um desvio, que a encaminhará para um o reservatório de descarte de volume limitado. Quando esse reservatório atingir seu volume máximo a água, não tendo mais como seguir o desvio, seguirá o percurso pré-estabelecido até o dispositivo de armazenamento

Já na Figura 2, o DVC (Dispositivo dos Vasos Comunicantes), a água também é canalizada da superfície de coleta até um desvio destinado ao dispositivo de descarte. A diferença entre o DVC e o DFH reside no aspecto de que, no DVC, o reservatório utilizado para armazenar a água de descarte, a partir de certo nível de armazenamento, já permite que a água escoe naturalmente pela tubulação até o dispositivo de armazenamento, sem a necessidade de atingir seu volume máximo.

Nas Figuras 3 e 4 apresenta-se um modelo exemplo de como se dá um sistema de captação e descarte dos primeiros milímetros de água da chuva.

Figura 3: Vista de sistema de captação da água de chuva de Hirt e Santos (2011).



Fonte: Hirt e Santos (2011).

Figura 4: Sistema exclusão dos primeiros milímetros da chuva de Hirt e Santos (2011).



Fonte: Hirt e Santos (2011).

Nessas duas últimas imagens, ambos os sistemas funcionam por ação gravitacional, como normalmente são produzidos os sistemas mais acessíveis de descarte. Quando a água

escorre pela superfície de captação (telhado), ela é conduzida pelas calhas e canalizada até o sistema de tubulação, encaminhando a água até o separador. Quando o separador completa sua capacidade de armazenamento a água, não tendo como seguir o percurso original, fará um novo trajeto, intencionalmente direcionada para o reservatório de armazenamento.

4.1.3. Estudo de autores que empregaram tratamento por descarte

4.1.3.1. Tratamento por descarte realizado por Hirt e Santos (2011)

Hirt e Santos (2011) realizaram um estudo com descarte das primeiras águas das chuvas e posterior filtração sendo neste tópico abordado apenas a etapa de descarte e, no tópico seguinte, como se deu o estudo do processo de filtração.

No trabalho destes autores, a água coletada foi proveniente da precipitação captada de um telhado de 12,13m² de área, localizado no município de Curitiba, no bairro do Orleans, apresentado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5: Vista frontal direita do telhado utilizado na captação de águas pluviais.



Fonte: Hirt e Santos (2011)

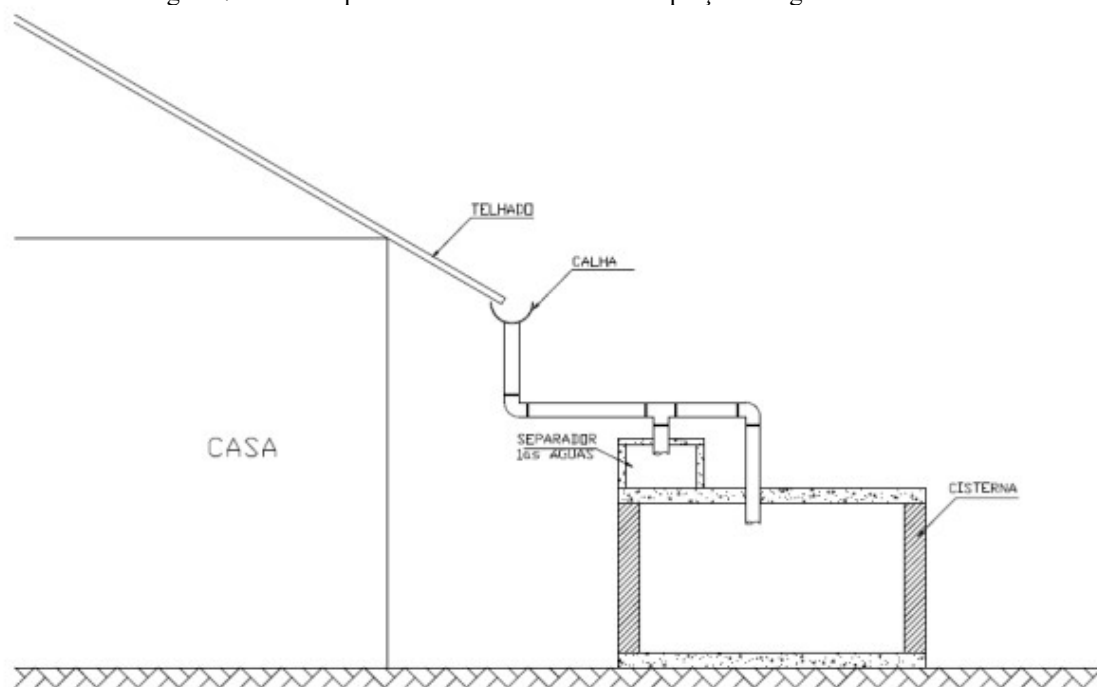
Figura 6: Foto do telhado utilizado na captação de águas pluviais, visto pela esquerda.



Fonte: Hirt e Sato (2011)

O sistema de captação foi desenvolvido com um reservatório de armazenamento, tubulações e calhas. Os tubos e calhas que compõem o sistema são de PVC (policloreto de vinila) e o reservatório onde a água é armazenada é de polietileno, o que pode ser observado nas Figuras 3 e 4. Já na Figura 7 é representado um corte esquemático do sistema de captação de água da chuva empregado por Hirt e Santos (2011).

Figura 7: Corte esquemático de um sistema de captação de água da chuva.



Fonte: Hirt e Santos (2011)

Todo o sistema funciona apenas utilizando apenas a ação da gravidade. A água captada pelo telhado escorre por uma calha até a tubulação e é direcionada até o separador (nome dado pelos autores ao dispositivo que acumula a água de descarte), com volume suficiente para acumular os 2 milímetros iniciais da precipitação, que serão descartados.

Após o separador completar a sua capacidade, a água é forçada, por uma conexão em T, instalado de forma invertida junto a um sistema de respiro, conforme se constata na figura 8. Tal configuração torna o sistema de descarte automatizado pois a água só consegue seguir para o reservatório de armazenamento quando preencher todo separador.

Hirt e Santos (2011) procuraram seguir a recomendação da norma 15.527/07 (vigente no período do estudo) para determinar o volume de descarte da água e obtiveram como resultado um descarte necessário de 24,26 litros, porém, por conveniência, os autores optaram por utilizaram uma embalagem de água mineral de 20 litros como recipiente de descarte.

O estudo de coleta da água da chuva ocorreu por um período de dois meses, retirando uma amostra de um litro de água retida no separador para análise, após cada intervalo de chuva, com o auxílio do sifão apresentado nas Figuras 8 e 9:

Figura 8: Sifão



Fonte: Hirt e Santos (2011)

Figura 9: Utilizando o sifão para esvaziar o separador



Fonte: Hirt e Santos (2011)

Da mesma forma, os autores recolheram uma amostra da superfície da água presente reservatório de armazenamento para analisar sua qualidade. Evitou-se agitar essa água, pois o reservatório atuava também como um decantador, acumulando no seu fundo os sólidos em suspensão, o que também auxiliava no processo de tratamento. Após a coleta do material, era efetuada a limpeza do separador e do reservatório para que o acúmulo de sujeira não interferisse nos resultados das coletas seguintes.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos por Hirt e Santos (2011) com ensaios de descarte dos primeiros milímetros de precipitação (água de exclusão).

Tabela 1: Valores dos ensaios da água de exclusão e do reservatório de Hirt e Santos (2011)

Data da amostra	PH		Turbidez (uT)		Coliformes (UFC/100ml)	
	Água de exclusão	Reservatório	Água de exclusão	Reservatório	Água de exclusão	Reservatório
06/09/2011	5,80	5,90	1,17	1,36	-	-
07/09/2011	6,10	5,60	1,81	1,18	-	-
25/09/2011	5,10	5,40	7,67	7,66	-	-
03/10/2011	5,80	5,50	5,26	3,10	-	-
09/10/2011	8,80	5,70	11,13	1,97	-	-
17/10/2011	6,60	5,50	8,08	1,19	-	-
26/10/2011	6,20	5,70	7,27	2,76	900	740
Média	6,34	5,61	6,06	2,74	900	740
Desvio Padrão	1,18	0,17	3,57	2,30	-	-

Fonte: Hirt e Santos (2011)

A água do reservatório (pH = 5,61) apresentou uma característica mais ácida quando comparada com a água do separador (pH = 6,34). Percebe-se que a água armazenada no reservatório possui pH médio de 5,61, necessitando, portanto, de uma correção para se adequar aos padrões de qualidade estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 e a NBR 15527/2019, referentes ao uso da água para consumo potável e para o aproveitamento não potável, respectivamente.

Outro padrão analisado foi a turbidez, que apresentou 6,06 uT na água do separador e 2,74 uT na água do reservatório, após o descarte. Para este parâmetro, apenas a água armazenada no reservatório atende ao limite permitido pela a portaria do Ministério da Saúde e as recomendações da NBR 15527/2019.

Um ponto analisado foi a água acumulada no reservatório situado após o dispositivo de descarte. Como alegado anteriormente pelos autores, o reservatório funcionava como um decantador e isso pôde ser comprovado ao estudar essa água após a sua agitação, que conferiu uma turbidez de 415,3uT à amostra analisada, parâmetro notoriamente superior até mesmo a água de descarte, que é tida como aquela que lava a atmosfera e a superfície coletora.

Por fim, teve-se a análise dos coliformes totais presentes na água, esse valor foi obtido em uma única amostra enviada para análise. Ambos os casos não atendem a portaria do Ministério da saúde e nem a NBR, pois a água do descarte apresentava uma 900 UFC/100 mililitros (ml) e a água após o descarte apresentava 740 UFC/100ml de descarte.

Apesar de não atingirem os padrões de potabilidade, Hirt e Santos (2011) concluíram que a separação das primeiras águas se mostrou eficiente ao constatar que os sedimentos alcalinos localizados nos telhados foram removidos com o descarte inicial da precipitação. O parâmetro de turbidez também demonstrou a eficiência desse tratamento devido a diferença de valores entre a água do separador e a do reservatório, o que comprovou a concentração de contaminantes da atmosfera que ficaram depositados no telhado.

4.1.3.2. Tratamento por descarte realizado por Vieira (2013)

Vieira (2013) realizou um estudo de forma similar ao de Hirt e Santos (2011), no mesmo local estudado por eles e com o mesmo sistema de captação e coleta, com o diferencial de que as amostras da água da chuva captada pelos telhados também foram analisadas sem passar pelo dispositivo de descarte. Foi complementada a informação que o local de estudo é próximo a uma região industrial, que tende a emitir alta poluição quando comparado com regiões residenciais.

A metodologia de coleta de Vieira consistiu em retirar 11 amostras de água da chuva compreendidas entre 29/08/2012 e 03/03/2013, apesar de ter ocorrido mais chuvas do que as coletadas.

Foram retiradas amostras do separador de descarte, do reservatório e colocadas em garrafas de polietileno tereftalato (PET), salvo as amostras para estudo de coliformes que eram armazenadas em embalagens de polietileno esterilizadas. Após a coleta das amostras os dispositivos de acumulação da água eram esvaziados e higienizados para que os sólidos acumulados não prejudicassem as amostras seguintes e, as amostras que eram coletadas foram armazenadas em um ambiente refrigerado. O estudo também analisou posterior eficiência do processo de filtração da água, o que será relatado tópico que aborda sobre filtração.

Vieira estudou sete amostras de água da chuva que passaram primeiramente pelo dispositivo de descarte, em cada chuva era eliminado os 20 litros iniciais da precipitação, e outras quatro amostras que seguiam um percurso direto para o reservatório de armazenamento, sem o descarte.

Figura 10: Procedimento para coleta da água da chuva após o mecanismo de descarte

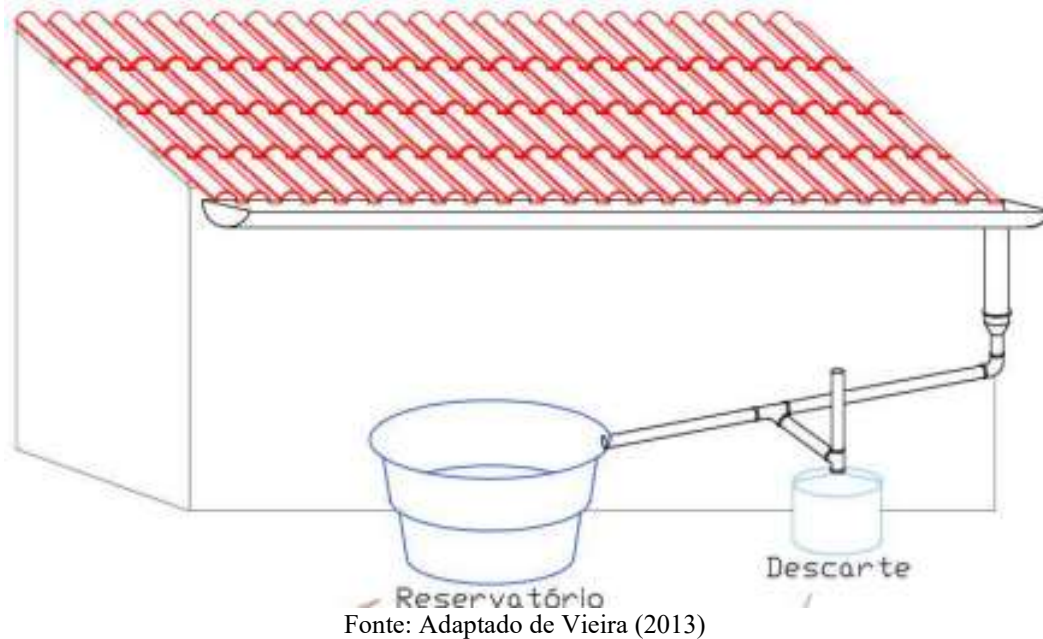
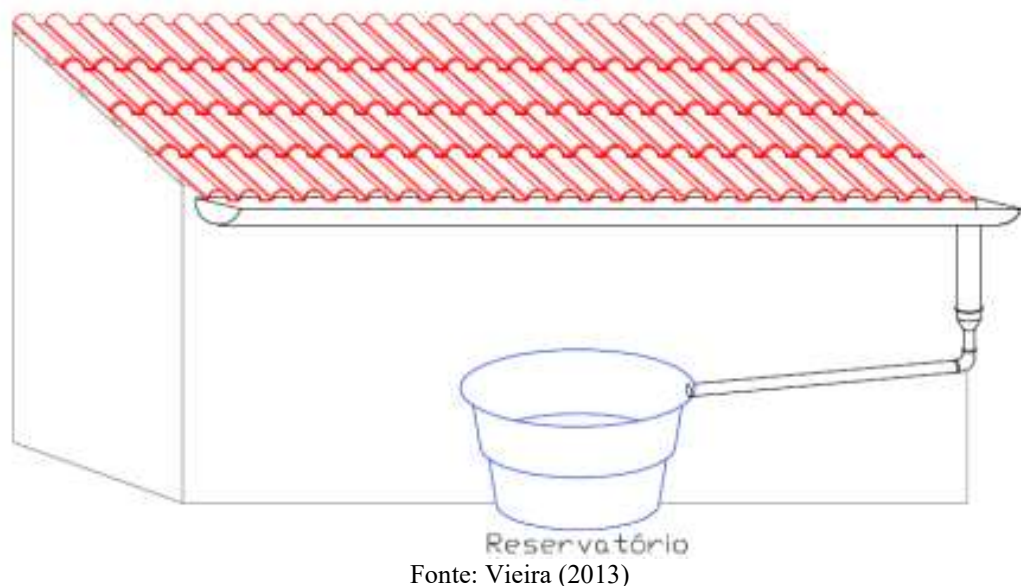


Figura 11: Procedimento para análise da qualidade da água de chuva sem a utilização do dispositivo de descarte



Como resultado, na Tabela 2 são detalhados os resultados obtidos por Vieira (2013), na etapa de tratamento por descarte dos primeiros milímetros e também alguns valores representativos da qualidade da água captada que não passou pelo processo de descarte.

Tabela 2: Valores dos ensaios da água captada por Vieira (2013)

Nº Amostra	PH			Turbidez (uT)			Coliformes (UFC/100ml)	
	Sem descarte	Água de exclusão	Reservatório	Sem descarte	Exclusão	Reservatório	Exclusão	Reservatório
1	-	5,97	5,90	-	1,65	0,76	1690	1450
2	-	6,33	6,23	-	5,20	3,30	1180	560
3	-	6,03	5,93	-	3,79	1,31	1020	540
4	-	6,23	6,43	-	1,74	1,37	-	370
5	-	5,73	6,13	-	6,58	5,27	-	640
6	-	5,27	5,53	-	4,22	1,03	-	590
7	-	5,87	6,17	-	3,05	1,26	-	510
8	6,17	-	-	1,83	-	-	-	-
9	5,90	-	-	1,34	-	-	-	-
10	6,47	-	-	1,38	-	-	-	-
11	6,63	-	-	4,11	-	-	-	-
Média	6,29	5,92	6,05	2,16	3,75	2,04	1297	666
Desvio Padrão	0,28	0,33	0,27	1,31	1,79	1,65	-	-

Fonte: Vieira (2013)

Para o pH, a água após o descarte e a água que não passou por processo de descarte atingiram os patamares estabelecidos pela NBR 15527 (2007), vigente na época do estudo; atendendo também a 15527 (2019), que revisou e atualizou sua versão de 2007, estabelecendo o valor aceitável de pH entre 6,0 e 9,0 para fins não potáveis, concluindo que a chuva da região é relativamente ácida.

Das 7 primeiras amostras estudadas, ocorreu redução do pH nas 3 primeiras após o sistema de descarte, levando o autor a acreditar que os sedimentos depositados no telhado de coleta têm propriedades alcalinas, conforme hipótese abordada por Hirt e Santos (2011).

Para a turbidez, houve a constatação de melhoria desse parâmetro para todas as amostras coletadas após o sistema de exclusão da água. A água que não passou por processo de descarte atingiu uma média de 2,16uT, enquanto que a água presente no reservatório após esse processo obteve uma média de 2,04uT, uma alteração na ordem de 6% quando se compara a eficiência desse sistema. A água de exclusão possuía um índice de 3,75uT; valor consideravelmente superior aos demais, levando a inferir a utilidade desse mecanismo na retenção de poluentes presentes na superfície de coleta.

Quanto aos Coliformes, apesar de não ser realizado um estudo em todas as amostras, notou-se também a redução desse parâmetro, onde há uma média de 1297 e 666 UFC/100mL

de coliformes para os casos da água retida, respectivamente, no separador de exclusão e no reservatório com descarte.

Além desses dados, foi realizada um único estudo de amostragem para esse parâmetro no reservatório que acumulava água sem descarte, obtendo-se um valor de 720 UFC/100mL, superior à média obtida quando a água passa pelo dispositivo de descarte, o que leva a Vieira ressaltar a importância da segregação das primeiras águas da chuva.

4.1.3.3. Tratamento por descarte realizado por Xavier et al. (2009) e Xavier (2010)

O estudo desses autores foi realizado no município de São João do Cariri, localizado a cerca de 80 quilômetros (km) da cidade de Campina Grande, na Paraíba. Nele, buscou-se analisar dois sistemas de desvio da água da chuva: o primeiro com base princípio do fecho hídrico e o segundo com base no princípio dos vasos comunicantes.

Figura 12: Sistema de desvios das primeiras águas empregado por Xavier et al. (2009)
A – Princípio dos Vasos Comunicantes e B – Princípio do Fecho Hídrico



Fonte: Xavier et al. (2009)

Xavier et al. (2009) analisaram amostras de água de três eventos de chuva que ocorreram ainda em 2009. As amostras eram coletadas na caixa de desvio das primeiras águas, que desviava apenas o primeiro milímetro de cada precipitação, e em um recipiente pós-desvio.

O autor ainda estudou a qualidade da água da chuva que era captada diretamente na atmosfera utilizando três bacias de água esterilizadas e colocadas em bancos situados a 80cm do solo a fim de evitar que respingos do solo alcançassem a bacia, separadas 5 metros entre si.

Figura 13: Coleta da água de chuva



Fonte: Xavier (2010)

Xavier et al. (2009) encontrou diferenças significativas quando comparava a qualidade da água retida no sistema de desvio com a água retida no sistema pós-desvio, para ambos dispositivos estudados. Para o parâmetro de Turbidez, o sistema do DFH apresentou qualidade superior ao do DVC, com eficiência de 53% do primeiro e 21,3% do segundo.

No que tange o pH, a água possuía característica alcalina, atingindo valores de até 10,6 nas caixas de desvio. Os autores entendem que esse valor é atípico e pode ser justificado pela influência de íons liberados pelo cimento da estrutura do sistema de desvio.

Nas tabelas 3 e 4, são discriminados os valores das análises realizadas por Xavier et al. (2009) conforme cada dispositivo de descarte junto com a eficiência média encontrada pelos próprios autores.

Tabela 3: Parâmetros de pH e turbidez encontrado por Xavier et al. (2009) no DFH

Dispositivo de Descarte - DFH			
pH	pH caixa de desvio	pH Pós-desvio	Redução Média
Coleta 1	10,66	6,33	36%
Coleta 2	9,98	6,51	
Coleta 3	9,89	6,64	
Média	10,18	6,49	
Turbidez	Turbidez caixa de desvio (uT)	Turbidez (uT) Pós-desvio	Redução Média
Coleta 1	2,63	1,58	52,9%
Coleta 2	4,31	2,42	
Coleta 3	11	2,73	
Média	5,98	2,24	

Fonte: Xavier et al. (2009)

Tabela 4: Parâmetros de pH e turbidez encontrado por Xavier et al. (2009) no DVC

Dispositivo de Descarte - DVC			
pH	pH caixa de desvio	pH Pós-desvio	Redução Média
Coleta 1	9,31	7,15	19,7%
Coleta 2	8,11	7,34	
Coleta 3	8,77	6,44	
Média	8,73	6,98	
Turbidez	Turbidez na caixa de desvio (uT)	Turbidez Pós-desvio (uT)	Redução Média
Coleta 1	6,70	2,57	21,3%
Coleta 2	4,8	2,20	
Coleta 3	-	-	
Média	5,75	2,39	

Fonte: Xavier et al. (2009)

Quanto a qualidade da água coletada diretamente da atmosfera, a mesma apresentava padrões de potabilidade que atende os limites permitidos pelo Ministério da Saúde, com pH no valor de 6,22 e Turbidez em 0,92uT, apresentando qualidade superior em relação a água que passou pelo sistema de captação.

De forma geral, os autores consideraram ambos os sistemas de desvio eficientes em suas finalidades, recomendando que eles sejam construídos com algum material como plástico ou fibra de vidro para evitar elevação do pH.

4.1.3.4. Tratamento por descarte realizado por Hernandez e Amorim (2006)

No artigo de Hernandez e Amorim (2006) foi estudado um sistema de descarte das águas pluviais para fins não potáveis, coletadas na cobertura de 350 metros quadrados (m²) de uma edificação na cidade de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, durante os períodos de junho de 2004 até maio de 2005, com amostras quinzenais avaliadas por exames laboratoriais realizados pelo Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto.

De acordo com os autores, a capacidade de armazenamento de águas pluviais é de 11,25 m³, sendo 10m³ em um reservatório inferior (cisterna) construída de concreto armado e impermeabilizada com materiais disponíveis no mercado. O reservatório superior tem capacidade de 1,25m³ e é subdividido em outros dois reservatórios, sendo um deles específico apenas para abastecer vasos sanitários, com capacidade de 250 litros de armazenamento. O

Para o pH, houve um acréscimo de seu índice, conforme os autores isso se deu por conta do contato da água com os materiais alcalinos presentes na cisterna. A chuva da região tem qualidade originalmente ácida e os motivos pode estar relacionado com uso do solo da região, suspenso na atmosfera por conta da sua aragem; a queima da cana de açúcar e a emissão de poluentes industriais; apontando o plantio da cana de açúcar como o principal responsável por essa acidez na chuva da região.

4.1.3.5. Tratamento por descarte realizado por Santana (2012)

Santana (2012) buscou caracterizar a água da chuva coletada diretamente da atmosfera, os parâmetros médios de qualidade dos 3 primeiros milímetros dessa água que passou por um sistema de descarte; da qualidade da água acumulada após esse descarte e também a eficiência do sistema de filtração que foi produzido pela autora, sendo este último sistema analisado apenas no tópico referente a filtração.

A coleta de águas pluviais aconteceu no período de fevereiro de 2011 a fevereiro de 2012, na cidade de João Pessoa, no bairro de Água Fria, no escritório de uma construtora que executava um condomínio vertical, localizado a 6km do mar, considerado a direção predominante dos ventos. A frequência da coleta se dava em função da ocorrência dos eventos chuvosos, sendo realizada o máximo uma vez por mês

Figura 155: Localização da área de estudo realizado por Santana (2012)



Fonte: Santana 2012

A superfície de captação era um telhado cerâmico de 100m². Para identificar os parâmetros da água captada que era descartada e da água após o sistema de descarte foi montado uma estrutura composta pelo telhado cerâmico; conduto horizontal; conduto vertical; dois dispositivos de descartes, um de 100 litros para caracterizar o primeiro milímetro da precipitação, seguido por outro de 200 litros, para caracterizar os próximos dois milímetro e um posterior reservatório de acumulação de 2000 litros.

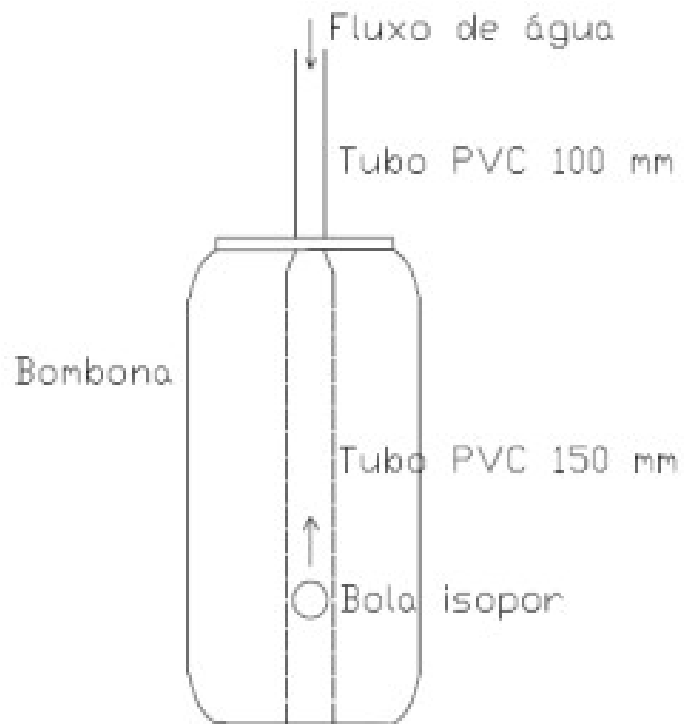
Figura 16: Ilustração do disposto de descarte da precipitação inicial



Fonte: Santana (2012)

O dispositivo de descarte foi construído de forma que automatizasse a eliminação das primeiras chuvas, o qual a água de descarte abastecia a bombona, fazendo seu nível subir até vedação do tubo PVC por uma bola de isopor inserida em seu interior. O seu princípio de funcionamento é detalhado Figura 17.

Figura 17: Esquema básico do dos dispositivos automáticos de descarte de Santana (2012)



Fote: Santana (2012)

Figura 18: Construção dos dispositivos automáticos de descarte das primeiras águas



Fonte: Santana (2012)

Houve também a coleta da água da chuva diretamente da atmosfera realizada através de um recipiente de acrílico e uma garrafa PET, onde a água era captada antes de escoar pelo telhado. Esse sistema de captação da água proveniente da atmosfera só era instalado na

ocorrência da precipitação, evitando a exposição do mesmo à atmosfera nos períodos de estiagem, prevenindo o acúmulo de sujeira em sua superfície.

Figura 19: Coleta de água da chuva diretamente da atmosfera



Fonte: Santana (2012)

Figura 20: Coleta de água no dispositivo de descarte do primeiro milímetro



Fonte: Santana (2012)

Os resultados obtidos nas análises físico-química e microbiológicas das amostras captadas diretamente da atmosfera, após o escoamento pela superfície de captação, nos dispositivos de descarte e no reservatório de acumulação após descarte estão demonstrados na Tabela 6

Tabela 6: Média dos resultados obtidos por Santana (2012)

Parâmetro	Local de coleta				
	Atmosfera	1º dispositivo de descarte: 1º milímetro	2º Dispositivo de descarte: 2º e 3º milímetro	Média ponderada do 1º, 2º e 3º milímetro	Reservatório após descarte
pH	6,59	6,78	6,63	6,68	6,55
Cor (uH)	0,94	1,79	2,14	2,02	2,19
Turbidez (uT)	2,33	2,28	2,59	2,49	3,01
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	4,23	21,95	16,82	18,53	11,53

Fonte: Adaptado de Santana (2012)

O pH das amostras coletadas apresentaram valores médios entre 6 e 7 e não apresentaram variação ao longo do tempo conforme menciona a autora. Ela explica que a água da região não atingiu um pH ácido pois a atividade industrial da cidade não é tão intensa e o seu distrito industrial se localiza distante, a jusante aos pontos de coleta da água conforme direção predominante dos ventos.

Para o parâmetro de Cor foi obtido valor iguais a zero em 50% das coletas realizadas e, quando esse índice tinha valores positivos, seus valores tendiam a reduzir em relação ao início da estação chuvosa, apresentando valores mais elevados nas coletas iniciais, o que pode ser explicado devido ao acúmulo de sujeira nos telhados em períodos de estiagem que ocorrem, em geral, nos meses de setembro a dezembro (Santana 2012)

A turbidez apresentou valor mínimo de 0,25 na água coletada na atmosfera e um máximo 10,70, em uma amostra do segundo dispositivo de descarte. Conforme Santana esse padrão foi capaz de demonstrar que os sólidos em suspensão estiveram presentes em maiores proporções no início da estação chuvosa e foram diminuindo com o passar do tempo.

Na análise de coliformes, foi constatado sua presença em todas as coletas analisadas, tanto na água coletada da atmosfera como a que passou pelo sistema de captação do telhado, o

que não foi uma surpresa para a autora já que essa água não passou por um processo de desinfecção, mas ela considerou o respectivo parâmetro com valores baixos.

Por fim, a autora conclui que os padrões de qualidade da água coletada na atmosfera são bons quando comparada aos padrões estabelecidos pela NBR 15527/07. Foi mencionado que, ao escoar pelo telhado a água da chuva absorve impurezas, principalmente após a períodos de estiagem, porém um tratamento simplificado, como o descarte dos primeiros 3 milímetros da chuva, foi o suficiente para tornar a água compatível para fins não potáveis tais como: descargas em bacias sanitárias e mictórios, irrigação, lavagem de veículos, etc.

4.1.4. Tratamento por Filtração

A filtração é um método conhecido por separar misturas heterogêneas, podendo ser aplicada em situações de misturas de um sólido com um líquido ou de um sólido com um gás. O processo consiste numa ação mecânica de coar, removendo partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoa através de um meio poroso (Bastos, 2007, P.36). Por sua vez, Duarte (2011, p.47) define a filtração como um processo de retenção de partículas sólidas suspensas na água que objetiva a remoção de microrganismos e substâncias orgânicas.

Richer (2009, p.37) descreve o processo de filtração da seguinte forma:

A filtração é um processo físico-químico e, em alguns casos, biológico (filtros lentos) para a separação de impurezas em suspensão na água, mediante sua passagem por um meio poroso. Diversos materiais granulares podem ser usados como meio poroso. A areia é o mais comum, seguido do antracito, areia de granada, carvão ativado granular etc. O tamanho dos grãos e do vazio entre os grãos (poros) tem grande influência na remoção de matéria em suspensão pelo filtro e no seu desempenho hidráulico.

O processo de filtração das águas pluviais pode ser precedido de algumas etapas para prover melhor qualidade à água que será tratada, tais como o descarte; alguns trabalhos utilizaram um sistema de proteção, como telas ou grades, para realizar a separação dos materiais mais graúdos como galhos e folhas de árvores da água da chuva (Bastos, 2007; Hagemann, 2009, etc.); esse mecanismo de retenção provê a retenção dos sólidos de maiores dimensões.

Os filtros de material granular servem para a retenção de partículas menores, como minerais que provocam alteração na cor ou na turbidez da água. O meio filtrante precisa ser disposto de tal forma que gere uma barreira para os sólidos que diminuem a qualidade da água.

Conforme Hirt e Santos (2009) afirmam, o filtro propõe a remoção de materiais suspensos, melhorando os aspectos físicos da água. No processo de filtração da água realizado por meios granulares, como areia ou antracito, as propriedades físicas do material filtrante (granulometria e formato) afetam diretamente os resultados obtidos.

De acordo com Brink (2009), a velocidade filtração pode ser rápida ou lenta, sua classificação dependerá da proporção entre o volume filtrado em metros cúbicos (m^3), e a área transversal do filtro (m^2), em um dia ($m^3/m^2/dia$).

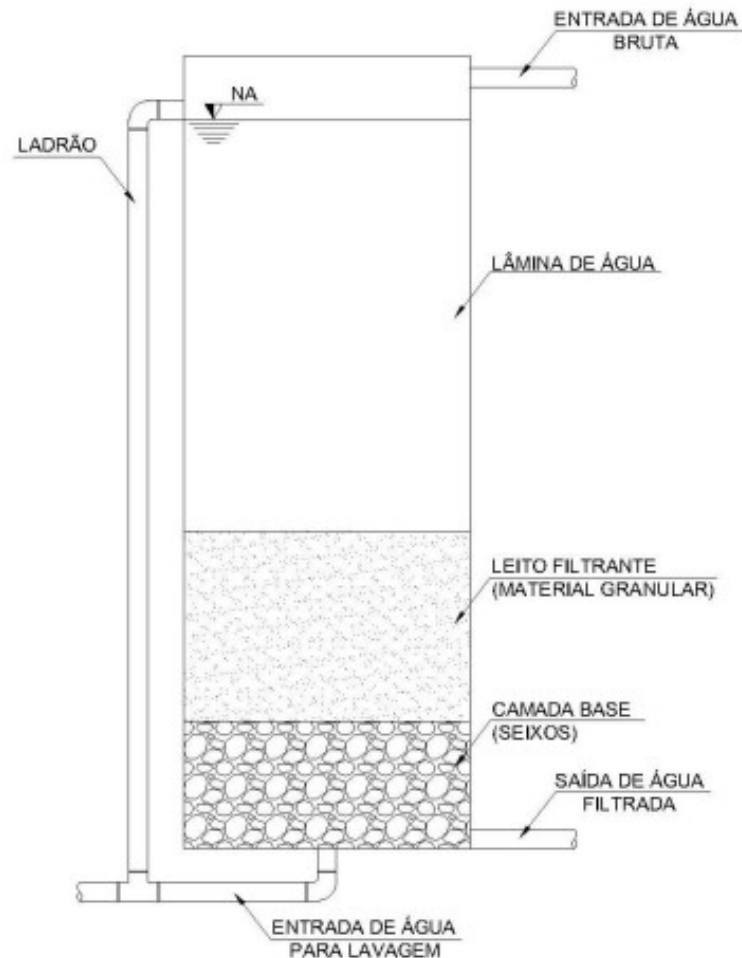
Nos filtros lentos a granulometria da areia é menor e a taxa de filtração é mais baixa, fazendo com que mais sólidos sejam removidos e, ao se comparar com o filtro rápido, ele retém melhor as impurezas dissolvidas e exige menos manutenção.

Os filtros de granulometria mais fina trabalham com materiais como areia, de diâmetro efetivo entre 0,2 e 0,3mm e profundidade entre 0,5 e 0,8 metros sobre uma camada de pedregulho, uma taxa lenta de filtração retém a água por mais tempo na superfície do filtro, o que permite a criação de uma camada de água composta por organismos biológicos, e detritos, um biofilme chamado de “schmutzdecke”. Quando isso acontece, o filtro provê a purificação da água combinando atividades biológicas como a retenção física das partículas (Mello, 1998)

Di Bernardo, Brandão e Heller (1999) afirmam que a o filtro lento, em até dois meses de atividade, desenvolve uma camada biológica na superfície do leito filtrante chamada de *Shmutzdecke*. Conforme os autores, tal camada biológica é eficiente na remoção de microrganismos patogênicos, conseguindo alcançar a taxa de remoção de coliformes em valores superiores a 99%; quanto menor a taxa de filtração, mais rápido o filtro amadurece e maior a eficiência de remoção das impurezas contidas na água, removendo impurezas que vão além dos minerais suspensos.

Para o correto desenvolvimento do filtro é necessário realizar o devido dimensionamento. Quando a areia é muito fina ela poderá sujar e/ou entupir o filtro rapidamente, o que exigirá maior frequência de limpeza, caso o leito filtrante seja muito grosso o filtro pode não ser o suficiente para a eliminação dos resíduos desejado (Ruoso Júnior, Kemerich e Righer, 2010).

Figura 21: Desenho esquemático de um filtro de material granular



Fonte: Hirt e Santos (2011).

4.1.5. Estudo de autores que empregaram tratamento por filtração

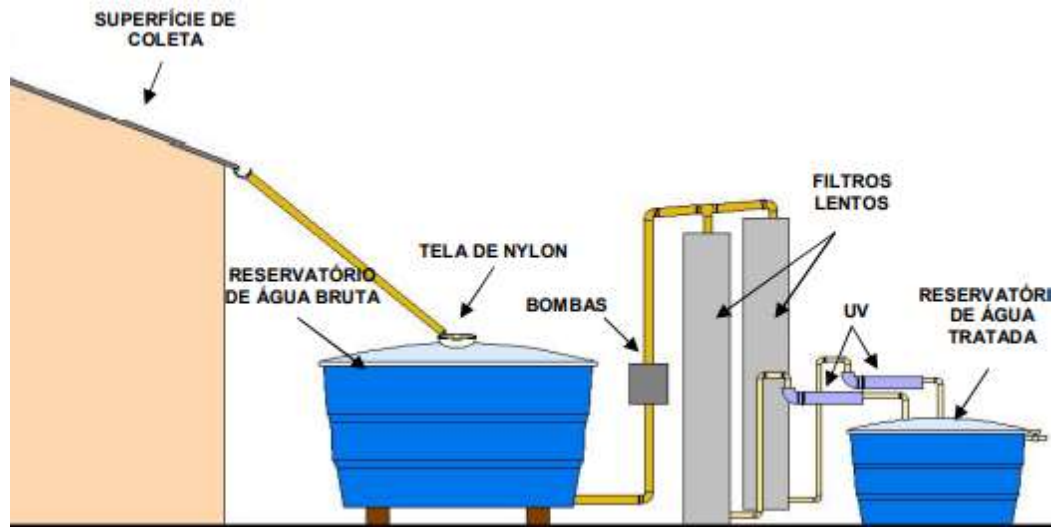
4.1.5.1. Tratamento por filtração realizado por Bastos (2007)

Bastos (2007) desenvolveu sua pesquisa no Campus Universitário de Goiabeiras, em Vitória (ES), entre setembro de 2006 e maio de 2007.

A amostra da água coletada era proveniente da precipitação que recaía sobre os telhados da área de estudo, sendo direcionada por condutores aos reservatórios da água. Antes de ser recolhida pelo reservatório, a água passava por uma tela de nylon que tinha a função de reter materiais grosseiros como folhas e pequenos galhos.

Após a etapa de coleta da água, a mesma era bombeada para o filtro lento de areia e posterior desinfecção por radiação ultravioleta. Sendo aproveitado neste trabalho os dados obtidos até a etapa de filtração.

Figura 22: Desenho esquemático do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de água de chuva



Fonte: Bastos (2007)

Da Figura 23 até a Figura 31 está detalhado o sistema de coleta, armazenamento e tratamento de água da chuva até a etapa de filtração do estudo realizado por Bastos (2007):

Figura 23: Telhado de coleta da água de chuva



Fonte: Bastos (2007)

Figura 24: Calha



Fonte: Bastos (2007)

Figura 25: Condutores da água da chuva



Fonte: Bastos (2007)

Figura 26: Tela em Nylon



Fonte: Bastos (2007)

Figura 27: Reservatório de armazenamento da água da chuva (pré-tratamento)



Fonte: Bastos (2007)

Figura 28: Bombas dosadoras



Fonte: Bastos (2007)

Figura 29: Filtro Lento de areia



Fonte: Bastos (2007)

Figura 30: Reservatório de armazenamento da água após Filtração lenta



Fonte: Bastos (2007)

Figura 31: Vista geral do Sistema



Fonte: Bastos (2007)

Os filtros de Bastos (2007) foram construídos em um tubo de PVC de 300mm de diâmetro e 2 metros de altura. Neles havia uma camada de suporte de 0,1m de altura composto por pedregulhos com granulometria entre 1,7mm e 3,17mm e o leito filtrante de 0,9m de altura, composto por areia, com granulometria entre 0,2mm e 1,2mm, conferindo ao filtro um diâmetro efetivo de 0,36mm e coeficiente de desuniformidade de 2,5mm. A areia, antes de ser colocada no filtro, foi lavada e colocada para secar em temperatura ambiente.

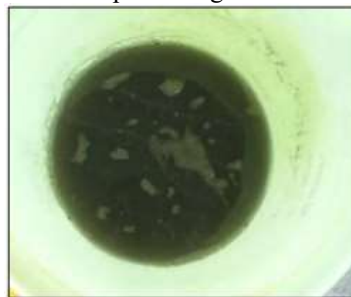
Após um certo período de tempo, o filtro tendia a colmatar, pois na sua superfície havia a retenção de impurezas, levando a necessidade de lavagem da camada superior (1 a 2cm do topo do leito filtrante). O intervalo de lavagem era feito conforme a colmatação do filtro, que variava com a qualidade da água da chuva do sistema e a lavagem era realizada em água corrente, até ser constatado que a areia estava livre de impurezas e, então, ela era devolvida ao filtro.

Figura 32: Filtro lento colmatado



Fonte: Bastos (2007)

Figura 33: Areia suja coletada para lavagem



Fonte: Bastos (2007)

Figura 34: Areia após a lavagem.



Fonte: Bastos (2007)

Nesse estudo houve a avaliação da eficiência do filtro para 3 taxas de filtração distintas: 4, 6 e 8 m³/m²/dia

Bastos obteve como resultado valores que o mesmo considera de elevada eficiência, chegando a remover a turbidez em aproximadamente 100% em alguns casos, porém ainda recomendou uma posterior desinfecção da água, pois o tratamento não removeu os coliformes em sua totalidade, atingindo o melhor desempenho ao remover, em média, 70% dos coliformes com a taxa de filtração de 6m³/m²/dia.

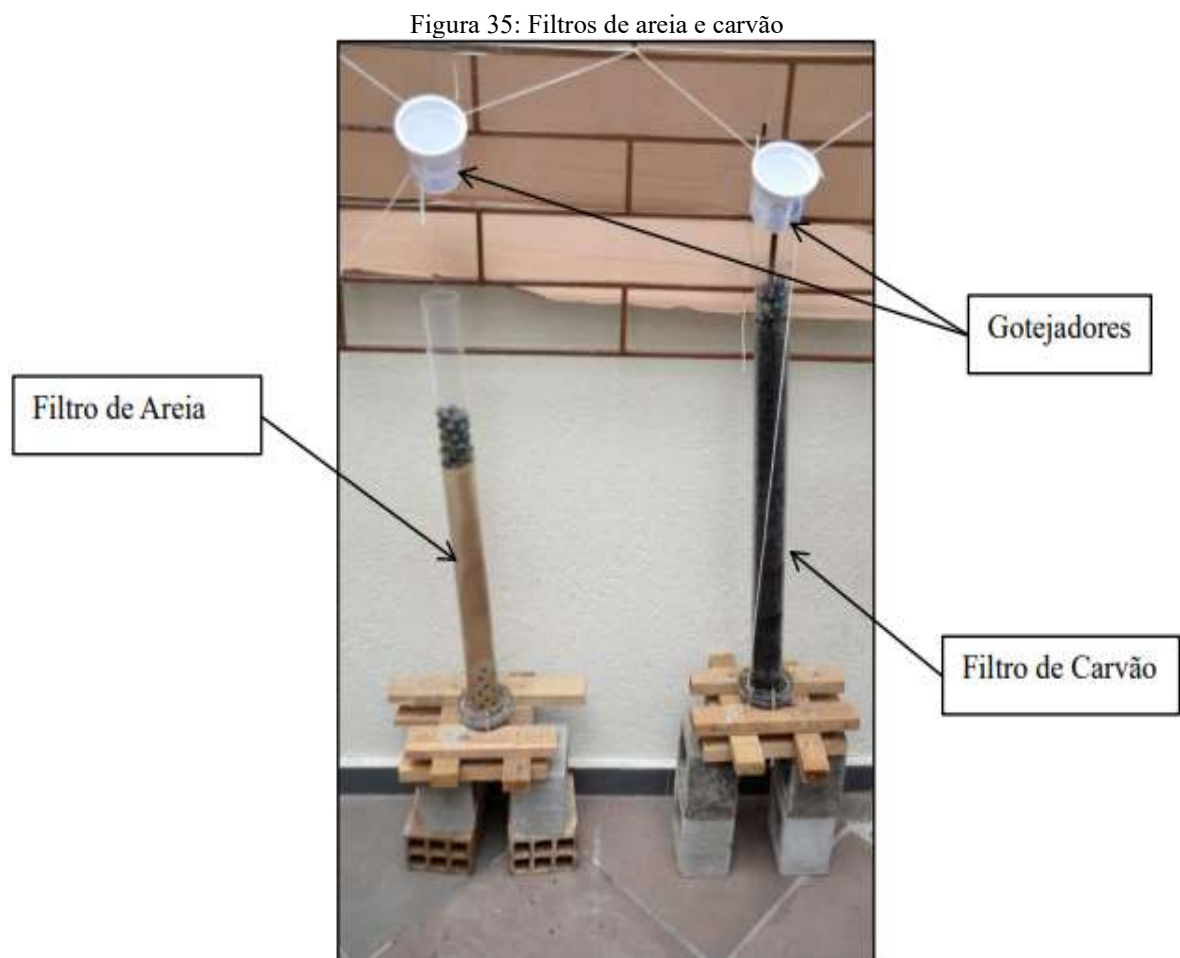
4.1.5.2. Tratamento por filtração realizado por Hirt e Santos (2011)

Os autores construíram dois filtros caseiros, sendo um de areia e outro de carvão antracito, ambos com uma camada de suporte de seixo de 5 centímetros de altura seguido de uma camada de 55 centímetros do seu respectivo material filtrante.

A granulometria foi um fator levado em conta pelos autores pois, eles entenderam que isso é um fator importante para remoção da turbidez, lodo e sólidos suspensos, sendo a taxa de filtração mais lenta à medida que se reduz o tamanho do material filtrante.

A areia utilizada foi uma areia comum, A proporção de areia, por peneira, em massa, era 60% retida entre as peneiras 0,60mm e de 0,30mm e 40% retida entre as peneiras de 1,20mm e 0,60mm. Já o carvão utilizado foi retido entre as peneiras de 2,40mm e 1,20mm pois os autores consideraram a filtração muito lenta quando testaram utilizar carvão retido entre as peneiras de 1,20mm e 0,60mm.

Para a montagem do filtro foi posicionado um geotêxtil na sua base para evitar que a água carregasse o meio filtrante; a camada inferior era composta por seixo, para reter a areia/carvão que se localizava na camada imediatamente acima. Por fim, foi adicionado um material de grande granulometria para espalhar a água que era gotejada sobre o filtro, conforme se observa na Figura 35.



Fonte: Hirt e Santos (2011)

A água utilizada na filtração foi proveniente do sistema de armazenamento após ter passado por um sistema de descarte, conforme pode ser constatado no tópico 4.2.3.1. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos pelos autores após o processo de filtração realizado.

Tabela 7: Resultado dos ensaios de filtração de Hirt e Santos (2011)

Data da Amostra	PH			Turbidez (uT)			Coliformes (UFC/100ml)		
	Antes da filtração	Após filtro de areia	Após filtro de carvão	Antes da filtração	Após filtro de carvão	Após filtro de carvão	Antes da filtração	Após filtro de areia	Após filtro de carvão
06/09/2011	5,90	7,60	8,20	1,36	0,70	2,03	-	-	-
07/09/2011	5,60	7,90	8,60	1,18	1,43	1,61	-	-	-
25/09/2011	5,40	7,70	8,50	7,66	1,81	1,94	-	-	-
03/10/2011	5,50	8,10	8,20	3,10	1,17	3,48	-	-	-
09/10/2011	5,70	7,80	8,20	1,97	0,76	2,88	-	-	-
17/10/2011	5,50	7,90	8,50	1,19	0,07	1,89	-	-	-
26/10/2011	5,70	7,80	8,80	2,76	2,08	1,99	740	410	910
Média	5,61	7,83	8,43	2,75	1,15	2,26	740	410	910
Desvio Padrão	0,17	0,16	0,24	2,30	0,69	0,67	-	-	-

Fonte: Hirt e Santos (2011)

Na análise dos parâmetros após a filtração, os autores constataram um aumento do pH para os ambos os filtros, o pH antes dessa etapa de tratamento tinha média de 5,61, considerado levemente ácido. Após a filtração o pH se tornou mais alcalino, atingindo o valor médio de 7,83 após a passagem pelo filtro de areia e 8,43 após o filtro de carvão, algo não esperado por Hirt e Santos (2011), já que eles afirmam que os meios filtrantes são considerados inertes e não deviam modificar tal parâmetro. Os autores tentaram explicar que esse resultado pode ser atribuído as impurezas que não foram removidas nas lavagens dos materiais e, devido ao pequeno volume filtrado, tais impurezas podem ter ampliado seus impactos nos resultados.

Quanto a Turbidez, Hirt e Santos esperavam que os filtros reduzissem tal parâmetro, o que se confirmou quando se analisa a média desse parâmetro das amostras filtradas. O filtro de areia teve um desempenho superior ao filtro de carvão, o primeiro reduziu o índice médio de 2,74 uT para 1,15 uT, enquanto o segundo reduziu de 2,74 uT para 2,26uT. Os autores entendem que o filtro de carvão pode ter perdido eficiência por conta do desprendimento das partículas

de carvão que, assim como na análise do pH, o baixo volume filtrado das amostras tornaram mais significativo o impacto causado pelo carreamento do material pela água.

Na análise de coliformes totais, foi realizado uma única amostra em laboratório para cada filtro, e conforme Hirt e Santos (2011) os resultados apresentaram uma remoção relevante no filtro de areia, passando de 740 UFC/100m para 410 UFC/100m, o que significa uma eficiência de 45% enquanto que o filtro de carvão teve um aumento de 740 UFC/100m para 910 UFC/100m nesse mesmo índice; eles acreditam que esse aumento no filtro de carvão pode ser explicado pela imprecisão da análise que utilizava o método da membrana filtrante; tal método consiste em passar a água por uma membrana filtrante e deixa-la em estufa por 24 horas e após este tempo é realizada a contagem das unidades formadoras de colônia.

4.1.5.3. Tratamento por filtração realizado por Oliveira (2021)

Oliveira (2021) estudou o tratamento da água por meio de filtração lenta com posterior desinfecção por radiação ultravioleta (UV) proveniente da luz solar. Neste tópico será abordado apenas a etapa de filtração da autora.

O local de estudo foi a Universidade Federal da Fronteira do Sul, no *campus* de Cerro Largo/RS, utilizando instalações de coleta de água pluviais já existentes no local. A precipitação captada foi conduzida por canaletas até ralos e seguiu percurso por tubulações até os reservatórios.

Figura 36: Reservatórios de água pluvial utilizados por Oliveira (2021)



Fonte: Oliveira 2021

Por utilizar de um sistema de captação já existente no local da pesquisa, a autora transportava a amostra de água estudada do reservatório de coleta de águas pluviais até o laboratório de pesquisa, em alíquotas diárias de 50 litros.

Baseando-se em estudos anteriores realizados na mesma universidade, Oliveira (2021) construiu um filtro descendente utilizado um cano de PVC, com dois metros de altura, espessura de 3,6mm e diâmetro de 150mm, totalizando uma área de filtração de 0,0176m².

O trabalho buscou utilizar o filtro do tipo BSF (*BioSandFilter*) que difere de um filtro lento convencional por trabalhar em regime intermitente, sendo abastecido em intervalos que variam até 48h, para permitir que a camada biológica que se forma no filtro tenha mais tempo para eliminar os agentes patógenos existentes na água e contribuir com o processo de desinfecção.

O material filtrante utilizado foi areia fina, com 40 cm de altura do leito, diâmetro específico de 0,3 mm e coeficiente de desuniformidade igual a 2. Na camada de suporte foi utilizada uma camada de 30 cm de brita, tamanho 01 e 02. Para o dreno foi utilizado uma tampa de PVC de 250mm, onde foi acoplada a essa tampa uma mangueira de silicone com diâmetro de 15mm, ultrapassando em 2 centímetros a camada de suporte do filtro, de acordo com o que está sendo apresentado na Figura 37:

Figura 37: Estrutura suporte do filtro montado por Oliveira (2021).
a) Dreno para a saída de água. b) Tampa de PVC. c) Mangueira de Silicone.



Fonte: Oliveira (2021)

O filtro foi alimentado por um barrilete com capacidade de 50 litros de água, colocado acima do filtro e fixado na parede, para conferir estabilidade ao sistema, conforme pode ser visto na Figura 38.

Figura 38: Sistema de filtração lenta de Oliveira (2021).

a) Barrilete de 50L. b) Filtro lento com os reservatórios de água da chuva (acoplado a uma bomba que leva água bruta até o barrilete) e reservatório de água filtrada



Fonte: Oliveira (2021).

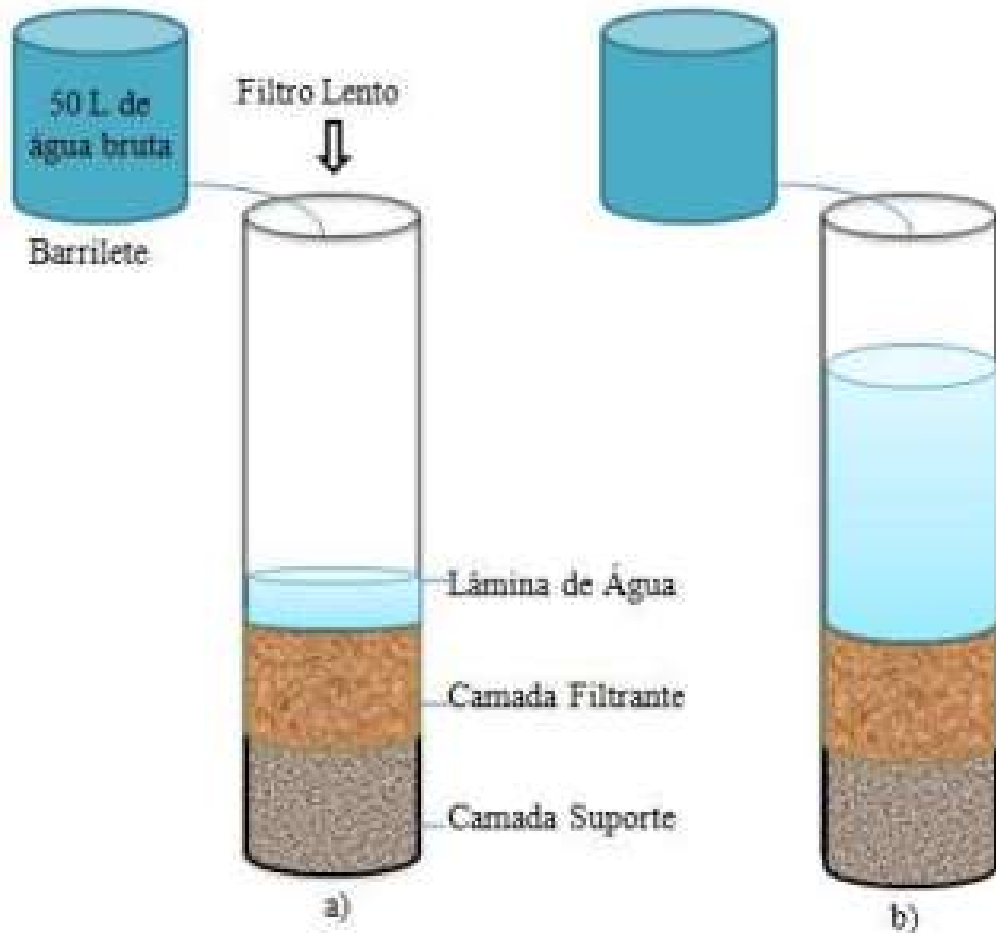
O experimento foi realizado entre janeiro e março de 2021, o barrilete era alimentado de forma diária, durante 4 dias na semana, com 50 litros de água bruta proveniente do reservatório pluvial, onde uma amostra dessa água era retirada para análise.

Quando o barrilete era abastecido, a água era despejada por uma torneira nos filtros, a uma taxa inicial de $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ onde o processo de filtração levava de 17 a 44 horas, de acordo com a taxa de filtração.

A taxa de filtração sofria variações ao longo do tempo, atingindo um mínimo, durante todo o estudo, de $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Essa variação da taxa de filtração ocorria devido a variação de vazão que o barrilete alimentava o filtro, pois à medida que o barrilete esvaziava, havia perda de carga hidráulica e, por consequência, a vazão era reduzida. Da mesma forma, quando a torneira na saída do barrilete sofria colmatagem, a vazão do sistema era reduzida.

Quanto o filtro atingia redução perda de carga hidráulica suficiente a autora procurava prover a limpeza do filtro.

Figura 39: Esquema do procedimento experimental
a) Filtro lento em funcionamento. b) Filtro lento que precisa de manutenção de limpeza, com altura da lâmina de água maior e redução na vazão de saída do filtro.



Fonte: Oliveira (2021)

Após a saída do filtro, a água era coletada pela mangueira de saída e armazenada em bombonas esterilizadas, onde era retirada uma amostra para posterior análise.

Oliveira (2021) percebeu que à medida que o tempo passava, o filtro era capaz de operar por mais tempo sem necessidade de limpeza, havendo também uma velocidade maior velocidade de filtração do sistema. A autora acredita que isso pode ter ocorrido devido a aclimação das diferentes espécies de microrganismos que colonizavam o filtro.

O processo de limpeza realizado por Oliveira (2021) era realizado por meio da raspagem, entre 3 e 5cm, da camada superior da areia, a qual era colocada em um recipiente e lavado com água potável. A seguir é apresentado como era a areia antes e após a sua limpeza.

Figura 40: Antes e após a limpeza da areia



Fonte: Oliveira (2021)

Oliveira (2021) encontrou dados sobre os parâmetros da água, após a etapa de filtração que se sucedem da seguinte forma:

Foi constatada uma redução do pH da água após a filtração, a água bruta tinha teor alcalino e houve uma redução desse índice, passando de uma média de 7,86 para 7,48. A autora, entendeu que normalmente as chuvas são ácidas, mas que o pH das amostras da região possui essa característica por conta da baixa poluição atmosférica e por não haver muitas atividades industriais.

Ainda conforme Oliveira (2021), esse valor mais alcalino é correlacionado com a presença de minerais na água, com a possibilidade de serem proveniente de atividades agropastoris da região. Além disso, ela acredita que o pH mais elevado favoreceu o funcionamento do sistema de filtração por facilitar a proliferação de microrganismos na camada microbiológica do filtro.

Referente a cor aparente, houve uma redução de até 100% desse índice em algumas amostras. A redução de coliformes na passagem do filtro pode ter contribuído para a redução parâmetro cor verdadeira (Fernandes, Cavalcante e Batista (2019), apud Oliveira (2021))

Quanto a turbidez, Oliveira (2021) esperava uma melhoria em sua qualidade, contudo não foi isso o que aconteceu. A autora fala que no início do estudo houve redução da turbidez

em mais de 50% em quase todas as amostras, porém ela entende que durante o processo de limpeza por raspagem da camada superficial de areia não atingiu profundidade suficiente, devido à dificuldade de realizar o procedimento por conta das dimensões do filtro; com isso a camada biológica existente pode não ter sido completamente removida, sendo carregada nos processos seguintes de filtração, comprometendo a qualidade dos próximos ensaios de filtração quanto a turbidez. Outra particularidade que foi citada é a formação de algas na mangueira de saída do filtro que também pode ter elevado esse índice.

Sobre os coliformes totais, houve uma redução de sua presença nas amostras estudadas. Antes do processo de filtração eles eram presentes em 50% das amostras, passando a um índice de 13% das amostras após o referido procedimento, o que pode ser explicado por conta da ação da camada biológica que se forma na superfície do filtro.

Oliveira (2021) considerou o filtro eficiente para o tratamento da água, chegando a alcançar uma redução do 100% dos coliformes, 100% da cor aparente e 50% da turbidez em algumas das amostras estudadas pelo autor.

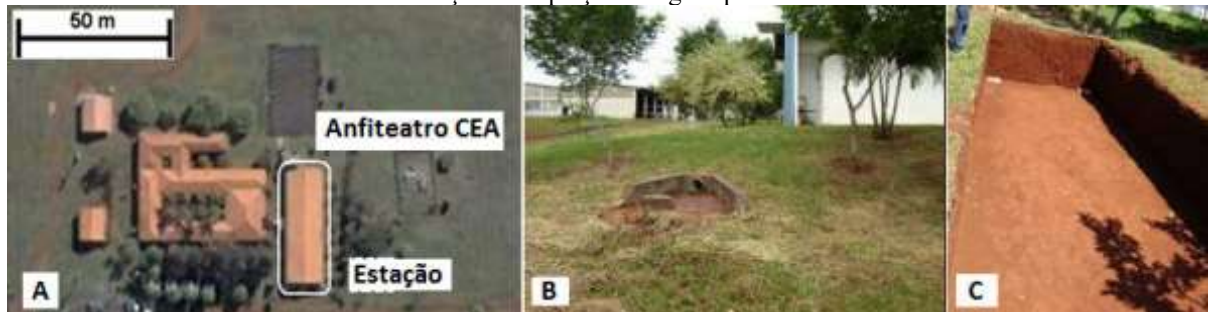
4.1.5.4. Tratamento por filtração realizado por Murakami (2011)

Murakami procurou realizar um estudo de um sistema experimental de tratamento da água pluvial visando o uso não potável e evitando o descarte dos primeiros milímetros de precipitação, para maximizar o aproveitamento da água. A autora utilizou como técnica de tratamento a filtração direta da água por meio de um filtro de pressão, a uma taxa de $1200\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, o que já é considerado, conforme a literatura, filtração rápida, seguido da adição de coagulante natural de milho; não sendo este último processo objeto de análise neste trabalho.

A estação de coleta das águas pluviais se deu na cidade região leste de Rio Claro, a 173 km da cidade de São Paulo, próximo a uma região composta por mata nativa e áreas reflorestadas com eucalipto. A superfície de captação foi uma na cobertura (telhado) com aproximadamente 370m^2 e o piso externo do anfiteatro do CEA (Centro de Estudos Ambientais), com aproximadamente 20m^2 , da Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho” (UNESP), no campus de Rio Claro, buscando aproveitar um sistema já existente de coleta e direcionamento de águas pluviais. Na Figura 41 a autora destaca o local onde foi realizado o seu estudo.

Figura 41: Localização e local de instalação da estação de estudo

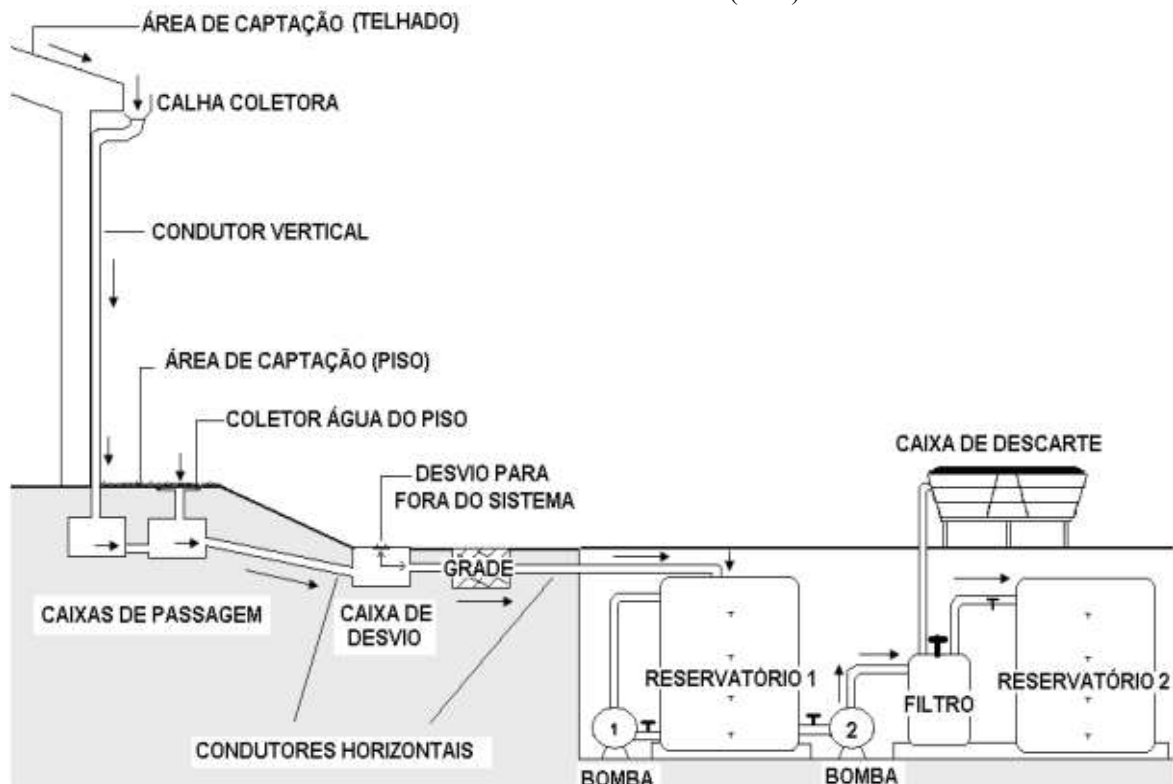
A) Imagem de satélite (*google maps*) do CEA da UNESP. B) Fotografia do desnível existente entre o anfiteatro do CEA e o local de instalação da estação. C) Fotografia do local escavado para montagem e instalação da estação de captação de águas pluviais



Fonte: Muraki (2011)

A Estação de captação e tratamento de águas pluviais era composta pela superfície de captação, calha coletora, condutores, caixas de passagem e desvio, reservatório de acumulação e armazenamento, bombas, filtro de pressão e caixa de limpeza, conforme mostrado a seguir:

Figura 42: Esquema simplificado dos componentes da estação experimental de coleta e armazenamento da água da chuva no estudo de Murakami (2011)



Fonte: Murakami (2011)

Cada lado do anfiteatro do CEA possuía caixas de passagens conectadas aos condutores verticais e, no lado esquerdo do anfiteatro, as caixas tinham função de agregar a água da chuva escoada pelo piso externo. Ao final das caixas de passagem, havia uma caixa de desvio que

encaminhava essa água para uma caixa gradeada que bloqueava a passagem de materiais mais grosseiros, como folhas e gravetos, carregados pelas chuvas e, por fim, a água seguia para a estação de captação e tratamento.

Figura 43: Caixa de Passagem



Fonte: Murakami (2011)

Figura 44: Caixa de Desvio



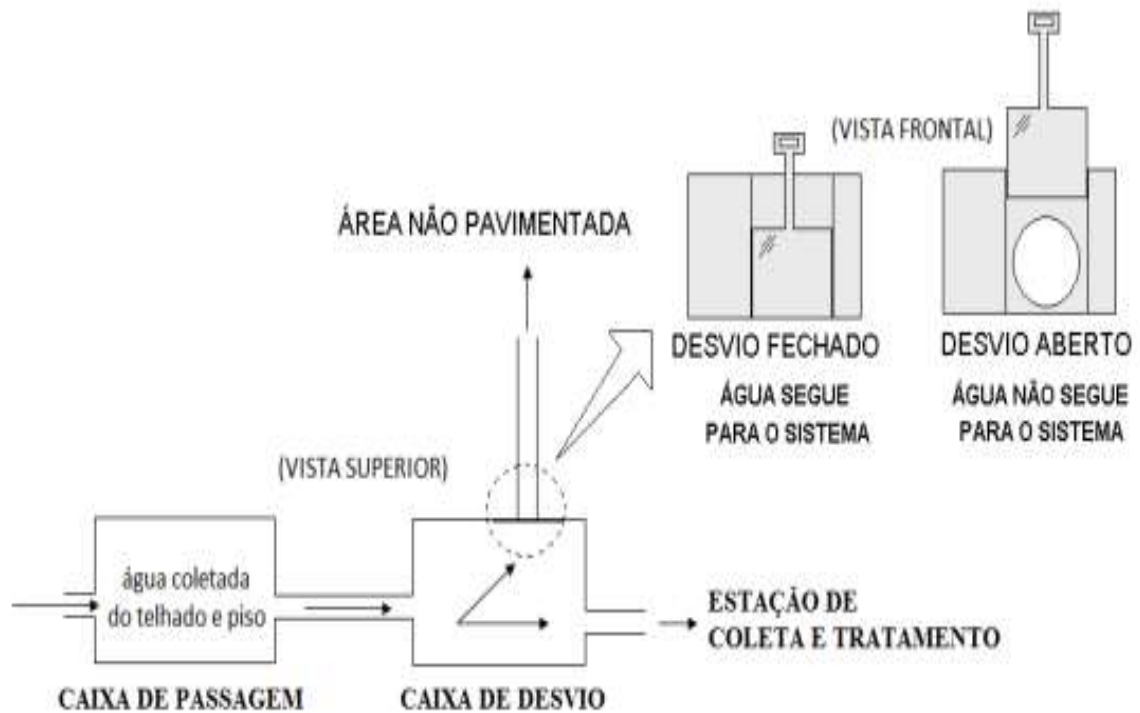
Fonte: Murakami (2011)

Figura 45: Caixa Gradeada



Fonte: Murakami (2011)

Figura 46: Esquema simplificado do sistema de desvio do estudo



Fonte: Murakami (2011)

Para o acumulo da água Murakami (2011) utilizou dois reservatórios de fibra de vidro, o primeiro, de acumulação, era destinado à retenção temporária da água pluvial coletada para posterior tratamento e o segundo, de armazenamento, era utilizado para reunir a água já tratada

pelo sistema. Por não possuir um sistema de desvio automático, muitas vezes ocorria o transbordamento da água contida no reservatório de acumulação.

Figura 47: Reservatório de acumulação (esquerda) e armazenamento (direita) utilizados por Murakami (2011)



Fonte: Murakami (2011)

O sistema também era composto por duas bombas hidráulicas. A primeira possuía vazão máxima de $4,8\text{m}^3/\text{hora}$ (h) e potência de $1/4$ cavalo vapor (cv), ela era utilizada para homogeneizar a água pluvial contida no reservatório de acumulação durante um ciclo de 10 minutos; já a segunda bomba possuía vazão máxima de $3,3\text{ m}^3/\text{h}$ e potência de $1/3\text{cv}$ e era utilizada para bombear esta mesma água até o filtro de pressão com posterior bombeamento até o reservatório de armazenamento.

Figura 48: Bomba utilizada para homogeneização da água do reservatório de acumulação



Fonte: Murakami (2011)

Figura 49: Bomba utilizada para encaminhar a água pluvial até o filtro de pressão



Fonte: Murakami (2011)

Figura 50: Processo de homogeneização da água do reservatório de acumulação



Fonte: Murakami (2011)

Para a filtração da água, utilizou-se um filtro de pressão com taxa de filtração nominal de $1440 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, com área filtrante de $0,06 \text{ m}^2$. Murakami (2011) procurou garantir um tempo médio de filtração de 60 minutos (min) e para isso utilizou uma taxa efetiva média de filtração de $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

Figura 51: Filtro de pressão utilizado por Murakami (2011). (Sem escala)



Fonte: Murakami (2011)

O meio filtrante selecionado por Murakami (2011) foi uma camada única de areia pois é o material mais usual em filtros de pressão além de sua fácil aquisição. Foi utilizada uma quantidade de 25 quilogramas (kg) desse material, conforme determinava o manual de instruções do filtro, e uma amostra seca dessa areia foi selecionada para fazer sua caracterização por meio da análise granulométrica em um peneiramento de 10 minutos nas peneiras de número

16, 40, 60, 100 e 200. Após esse tempo o material retido em cada peneira foi pesado para determinar sua granulometria e seu coeficiente de uniformidade.

Figura 52: Ensaio Granulométrico realizado por Murakami (2011).

Nota: (A) Amostra do meio filtrante; (B) Peneirador utilizado no ensaio; (C) Pesagem da amostra. Sem escala



Fonte: Murakami (2011)

Tabela 8: Resultado do ensaio granulométrico do meio filtrante utilizado por Muraki (2011)

Peneira		Material Retido (g)	Material Retido (%)
Número	Abertura (mm)		
16	1,200	13,24	6,91
40	0,420	178,18	92,97
60	0,250	0,15	0,08
100	0,150	0,06	0,03
200	0,075	0,01	0,01
TOTAL		191,74	100

Fonte: Murakami (2011)

Figura 53: Curva granulométrica do ensaio de Murakami (2011)

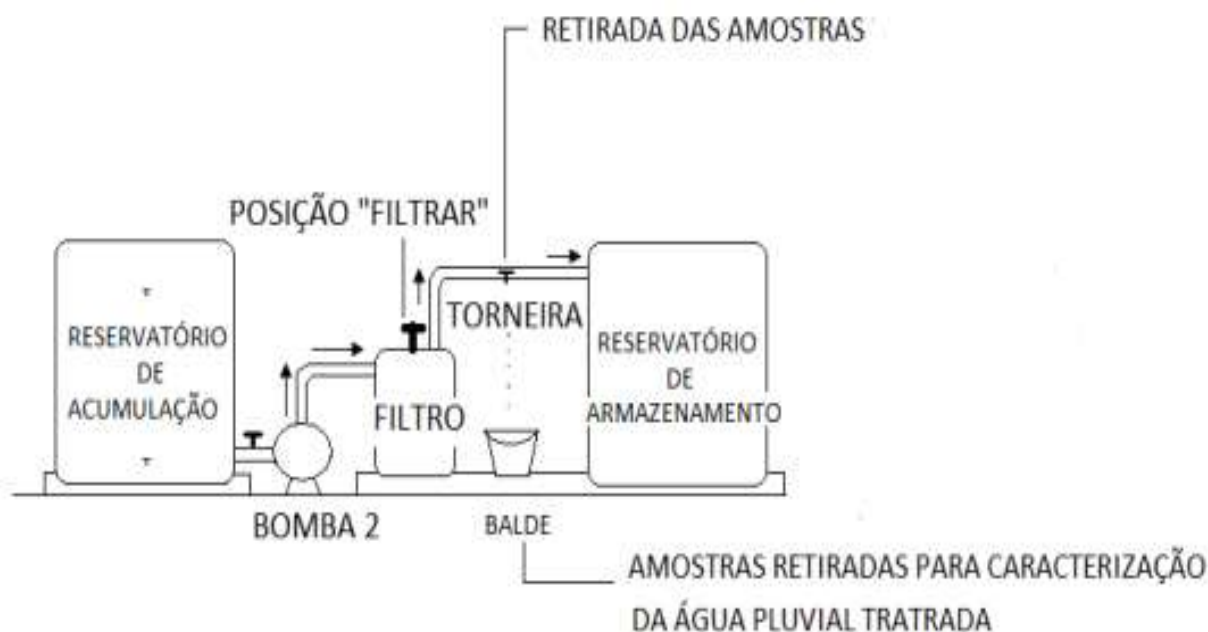


Fonte: Murakami (2011)

Para análise da água pluvial, primeiro a água contida no reservatório de armazenamento era homogeneizada e, em seguida, era coletado 20 litros para a caracterização físico-química e microbiológica de cada precipitação que fosse estudada. Após esse processo o filtro de pressão era acionado na posição (filtrar) e ligava-se a segunda bomba, que conduzia a água do reservatório de acumulação até o filtro e, deste, até o reservatório de armazenamento.

Entre o filtro de pressão e o reservatório de armazenamento foi instalada uma torneira que retirava 8 amostras de 100ml de água, uma em cada intervalo programado, entre 5 e 60 minutos de filtração, para analisar se ocorria saturação do meio filtrante o que também permitiu uma análise da variação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos conforme ocorria o processo de filtração.

Figura 54: Processo simplificado de filtração da água pluvial contida no reservatório de acumulação e retirada das amostras para análise da água filtrada.



Fonte: Adaptado de Murakami (2011)

Após cada processo de filtração feita por Murakami (2011) realizava-se a limpeza do filtro, para preservar as condições iniciais a cada filtração.

O procedimento de limpeza era realizado configurando o filtro na posição “lavar” e, em seguida, ligava a segunda bomba e, dependendo da abertura de registros do sistema, a água do reservatório de armazenamento era bombeada no sentido inverso ao da filtração durante três minutos, tempo representativo considerado pela autora como suficiente para que a água utilizada na limpeza do filtro adquirisse o parâmetro de cor aparente e de turbidez constante, para qualquer intervalo de tempo de lavagem igual ou superior a esse período.

A autora realizou um total de 18 ensaios, sendo 15 com diferentes dosagens de amido natural de milho como coagulante e os 3 últimos sem adição do respectivo material que é o objeto de estudo deste trabalho.

A Tabela 9 destaca os resultados obtidos nos 3 ensaios realizados por Murakami (2011): sem a utilização do coagulante, antes e após o processo de filtração, junto com a eficiência.

Tabela 9: Parâmetros encontrados por Murakami (2011) em seus ensaios sem uso de coagulante primário.

Data da amostra	PH*	Turbidez (uT)			Coliformes (NMP/100ml)			Cor (uH)		
	Antes do filtro	Antes do filtro	Após o filtro	Eficiência (%)	Antes do filtro	Após o filtro	Eficiência (%)	Antes do filtro	Após o filtro	Eficiência (%)
24/01/2010	5,8	20,80	15,6	25,0	1203,3 x 10 ²	1203,3 x 10 ²	0,0	124	108	12,9
26/01/2010	6,8	19,00	7,00	63,2	1732,9 x 10 ²	1413,3 x 10 ²	18,4	92	55	40,2
29/01/2010	7,3	16,50	8,50	48,5	1203,3 x 10 ²	866,4 x 10 ²	28,0	76	61	19,7
Eficiência média (%)	-	-	-	45,5	-	-	15,5	-	-	24,3

Fonte: Murakami (2011)

Nota: Não houve análise do pH após o processo de filtração*

Para o parâmetro de turbidez, os três ensaios realizados apresentaram uma alteração média de 18,8 uT para 10,4uT; para a cor aparente, o valor médio passou de 97,3uH para 74,7uH e para os coliformes totais, a amostra apresentou uma variação média de 1379,83 x 10² Número mais provável (NMP)/100ml para 1161,1 x 10² NMP/100ml após o tratamento.

Com esses dados, apesar de perceber uma melhora na qualidade da água, a autora concluiu que apenas esse processo de filtração não foi suficiente para atender os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde para o uso potável da água e nem atendido aos padrões de aproveitamento não potável de águas pluviais estabelecidos NBR 15527/2007, vigente na época do estudo.

4.1.5.5. Tratamento por filtração realizado por Vieira (2013)

A etapa de filtração das águas pluviais realizada por Vieira (2013) se deu com a utilização de dois filtros caseiros, cilíndricos, de acrílico e com 70 cm de altura; com fluxo descendente e diferentes materiais granulares. Antes de inserir o material filtrante o fundo do recipiente foi revestido com um anteparo de material geotêxtil (Bidim), para evitar a passagem dos finos do meio filtrante.

O primeiro filtro foi construído com uma camada de 52 centímetros de areia, de tamanho entre 0,15 e 0,60mm, sendo adicionado, na entrada e saída do filtro, bolas de gude com aproximadamente 150mm de diâmetro, considerado pelos autores um material inerte que uniformizariam o escoamento da água.

O segundo filtro foi construído com três materiais distintos: A camada superior, de 19 cm, composta por pedriscos de tamanho entre 6,35 e 9,52mm, que também tinha a função de evitar a ação do impacto da água nos demais materiais e espalhar o fluxo de água no sistema; uma camada intermediária de 21cm de carvão com grãos de tamanho entre 2,4 e 4,8mm e a camada inferior de 19cm de areia, com grãos de tamanho entre 0,6 e 1,2mm.

A disposição dos materiais deste filtro foi feita de forma que houvesse redução da granulometria à medida que a água escoasse, para que a última camada pudesse reter as partículas da camada anterior, sendo separados entre si por um material geotêxtil (Bidim). Todos os materiais de ambos os filtros foram lavados e peneirados antes de sua utilização.

Figura 55: Filtro 1 - filtro de areia



Fonte: Vieira (2013)

Figura 56: Filtro 2 - tripla camada



Fonte: Vieira (2013)

Um recipiente plástico foi furado e colocado sobre cada filtro onde era inserido a amostra de água para o posterior processo de filtração. Após a água passar pelo filtro, a amostra era recolhida para análise.

Figura 57 :Processo da filtração – despejo da amostra em recipiente plástico furado



Fonte: Vieira (2013)

Figura 58: Processo da filtração por gotejamento



Fonte: Vieira (2013)

Figura 59: Detalhe do gotejamento



Fonte: Vieira (2013)

Figura 60: Processo de filtração – despejo de amostra com o recipiente posicionado



Fonte: Vieira (2013)

Após os ensaios de filtração realizados por Vieira (2013), foram estudadas 11 amostras que serão apresentadas nas tabelas a seguir. Para atender a finalidade deste trabalho, os valores foram separados em duas tabelas.

Na Tabela 10 é possível visualizar os dados obtidos no experimento com água filtrada após a realização de um tratamento prévio de descarte e, na Tabela 11, é demonstrado os valores da água que não foi submetida ao processo de descarte antes da filtração. Foi calculado, em

ambas as tabelas, os valores médios e o desvio padrão de cada parâmetro para atender as necessidades deste estudo.

Tabela 10: Valores do processo de filtração realizado por Vieira (2013) da água previamente submetida a um tratamento de descarte dos primeiros milímetros.

Nº Amostra	PH			Turbidez (uT)			Coliformes (UFC/100ml)		
	Antes da filtração	Filtro de areia	Filtro de tripla camada	Antes da filtração	Filtro de areia	Filtro de tripla camada	No dia da filtração	Filtro de areia	Filtro de tripla camada
1	5,90	7,47	7,53	0,76	6,98	1,03	-	-	-
2	6,23	7,47	7,37	3,30	5,47	0,37	-	-	-
3	5,93	7,37	7,33	1,31	4,13	0,39	-	-	-
4	6,43	7,77	7,97	1,37	5,32	0,85	-	1300	800
5	6,13	7,73	7,70	5,27	6,21	1,35	-	-	-
6	5,53	7,80	7,77	1,03	3,49	2,01	-	-	-
7	6,17	8,17	8,10	1,26	3,10	2,19	1800	1450	480
Média	6,05	7,68	7,68	2,04	4,96	1,17	1800	1375	640
Desvio Padrão	0,29	0,27	0,29	1,65	1,43	0,72	-	-	-

Fonte: Adaptado de Vieira (2013)

Tabela 11: Valores do processo de filtração realizado por Vieira (2013) da água que não foi previamente submetida a um tratamento de descarte dos primeiros milímetros

Nº Amostra	PH			Turbidez (uT)		
	Antes da filtração	Filtro de areia	Filtro de tripla camada	Antes da filtração	Filtro de areia	Filtro de tripla camada
8	6,17	7,90	7,93	1,83	3,60	0,85
9	5,90	7,77	7,73	1,34	2,37	1,10
10	6,47	7,63	7,53	1,38	3,71	0,90
11	6,63	7,60	7,40	4,11	8,06	1,61
Média	6,29	7,73	7,65	2,17	4,44	1,12
Desvio Padrão	0,32	0,14	0,23	1,32	2,49	0,55

Fonte: Adaptado de Vieira (2013)

Na análise dos resultados, a autora constatou um aumento do pH da água, que originalmente possuía uma leve acidez. Ela entende que esse aumento pode ser atribuído as finas partículas que foram provenientes dos filtros.

No parâmetro de turbidez, os resultados médios atingiram valores inferiores a 5uT após a passagem de ambos os filtros, o que atende a recomendação da NBR 15527/2007, vigente na época do estudo, (e continua atendendo aos padrões da respectiva norma atualizada em 2019)

Vieira (2013) esperava que ambos os filtros reduzissem a turbidez, o que não se confirmou no filtro feito apenas com areia, que teve um resultado inverso ao esperado, o que a fez inferir que possivelmente as partículas finas de areia foram carregadas com as amostras durante o processo de filtração, recomendando um aprimoramento de sua granulometria, pois uma menor dimensão facilita o carregamento do material filtrante junto com a água no processo e aumentar sua turbidez.

Por sua vez, os coliformes totais estavam presentes em todas as amostras, de todas as etapas do estudo, submetidas a análises. Após o processo de filtração, os coliformes totais apresentaram uma redução de 19,44% no filtro de areia e 73,33% no filtro de tripla camada, indicando a eficiência do processo nesse aspecto.

A autora finaliza dizendo que para os parâmetros de pH e turbidez os filtros têm eficiência considerada satisfatória, porém a concentração de coliformes encontrada após a filtração ainda se torna um fator que obsta sua utilização até para fins não potáveis, recomendando um tratamento posterior para sua utilização.

4.1.5.6. Tratamento por filtração realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011)

Para o desenvolvimento do trabalho, Rocha, Reis e Araújo (2011) realizaram um sistema experimental de coleta de água da chuva de uma cobertura localizada em um pátio interno da Escola de Engenharia Civil na Universidade Federal de Goiás, em Goiânia – GO.

No sistema de tratamento produzido, os autores utilizaram sistemas de descarte, filtração e posterior desinfecção, por radiação UV ou por cloração, buscando fazer análise dos parâmetros de potabilidade da água após cada etapa de tratamento. Nesse tópico, será abordado o processo até a etapa de filtração e, oportunamente, no tópico de desinfecção, será mencionado sobre o respectivo processo de tratamento.

O início do tratamento consistia em um dispositivo de descarte com capacidade para armazenar os 2mm iniciais de cada precipitação, seguido por uma unidade de filtração inicial, por meio do gradeamento dos sólidos grosseiros de dimensão superior a 28mm, com posterior

armazenamento dessa água em duas bombonas de 200 litros, uma na parte externa e outra na parte interna do laboratório, conforme Figuras 61 e 62, respectivamente.

Figura 61: Sistema de captação, descarte, filtração para retenção de sólidos grosseiros e armazenamento de água de chuva



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

Após esse primeiro dispositivo de tratamento, a água seguia para o módulo de filtração, composto por dois filtros de fibra de celulose de 25 micra, instalados em série, que possibilitava a vazão de até 1200 L/h. Para obtenção da eficiência do tratamento, foi realizada a análise de duas amostras da água após o sistema de descarte (água bruta) e duas após o sistema de filtração.

Figura 62: Sistema de filtração constituído de dois filtros de celulose de 25 micras.



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

Nos parâmetros de pH, turbidez e cor aparente, a água bruta apresentava os valores médios de 8,08; 0,91uT e 9,28uH e, após a filtração, esses parâmetros passaram a apresentar uma média de 7,66; 1uT e 10,51uH, demonstrando que a água ficou mais ácida após o tratamento, porém houve uma redução da sua qualidade quanto a cor aparente e turbidez. Os autores não consideraram essas representativas devido a seus baixos índices nas amostras da água que foi coletada. No que tange a presença de coliformes, a média das análises passou de 57 para 34,12 NMP/100mL

De forma geral, os autores consideram que o processo de filtração realizado por meio do filtro de membrana celular foi capaz de prover melhorias na qualidade da água da chuva, mesmo não sendo o suficiente para eliminar os coliformes presentes nela.

4.1.5.7. Tratamento por filtração realizado por Santana (2012)

Em paralelo a análise da qualidade da água sujeita ao processo de descarte descrito em 4.2.3.5, Santana avaliou seus parâmetros quando essa mesma era submetida apenas ao tratamento por filtração.

O sistema de coleta era composto pela superfície de captação, um telhado de 100 m², condutores, filtro de areia e um reservatório de acumulação de 2000 litros.

Na construção do filtro de areia, Santana utilizou um reservatório de 1500 litros, com duas camadas de granulometrias diferentes; a camada inferior composta por brita Número (nº) 19 e a superior constituída de areia média. Entre as camadas de areia e brita foi colocado uma

camada de Bidin (manta geotêxtil) para evitar o carreamento da areia e, acima da camada superior foi colocado uma telha de fibrocimento para uniformizar o fluxo da água captada.

Figura 63: Colocação da brita na base do filtro



Fonte: Santana (2012)

Figura 64: Colocação da manta geotêxtil entre camadas



Fonte: Santana (2012)

Figura 65: Preenchimento da camada superior com areia



Fonte: Santana (2012)

Figura 66: Colocação de telha de fibrocimento sobre a camada superior



Fonte: Santana (2012)

Figura 67: Sistema de captação da água da chuva utilizado por Santana (2012)



Fonte: Santana (2012)

Figura 68: Coleta de água no reservatório após o tratamento de filtração



Fonte: Santana (2012)

Após o tratamento, Santana obteve os seguintes resultados e conclusões ao analisar o tratamento por filtração que foi realizado.

Os valores médios de pH obtidos após a filtração, 6,55, revelam que não houve grandes variações com o tempo pois, a água bruta da atmosfera possuía pH médio de 6,59 na época do estudo.

O parâmetro de Cor obteve resultado que variava entre 0 e 5uH, com uma média de 2,19uH, o que atende os padrões de qualidade exigidos nesse parâmetro para fins potáveis e não potáveis, ao contrário da Turbidez, onde metade dos ensaios realizados sequer atingiram qualidade para fins não potáveis ($<5\text{uT}$), atingindo valores entre 0,43 e 8,57, com uma média de 3,01.

Os coliformes totais também foram encontrados em todas as amostras analisadas, com uma média de 11,53 NMP/100ml, o que por si só inviabiliza seu uso para uso potável, porém dentro dos padrões exigidos para atividades de irrigação, lavagem de pisos e automóveis, descargas sanitárias, etc. Esse parâmetro obteve valores considerados baixos pela autora, podendo ser removidos por processo de desinfecção.

4.1.6. Tratamento por desinfecção

As águas pluviais podem conter agentes contaminantes orgânicos que inviabilizam o seu uso potável, sendo necessária sua remoção. Para isso é necessário um tratamento físico químico relativamente simples e uma desinfecção adequada para a inativação dos microrganismos (Silva, 2018).

Hoje se tem o processo de desinfecção considerado a principal forma de inativação/destruição de organismos patogênicos e prevenir as doenças transmitidas pela água aos seus usuários (USEPA, 1999). Surtos de doenças da água potável ocorrem quando patógenos bacterianos, protozoários ou virais ou produtos químicos tóxicos contaminam a água potável ingerida por humanos (Ligon e Bartram, 2016)

Os processos de desinfecção da água geralmente são a última barreira contra os agentes patogênicos devido a sua eficácia, certamente é o ponto mais importante na produção da água potável (Brito, 2015).

O processo de desinfecção procura inibir os microrganismos nocivos à saúde de se proliferarem quando os remove, elimina ou os desativa. A água contaminada vem sendo um problema em vários países; doenças como diarreia, cólera e febre tifoide são exemplos de enfermidades que podem ser transmitidas pelo consumo dessa água. (Brito, 2015)

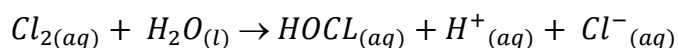
Conforme Tomaz (2010) dentre as maneiras básicas de se fazer a desinfecção da água potável estão a radiação ultravioleta e o uso do cloro

4.1.6.1.Desinfecção por Cloro

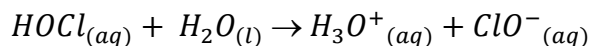
Conforme Tomaz (2010) o cloro é o desinfetante mais utilizado no tratamento de água, ele é um gás tóxico, amarelado e poderoso oxidante que pode ser utilizado para alterar as propriedades químicas da água, comumente utilizado para controlar bactérias, algas, etc.

Santos (2018) afirma que o cloro é o desinfetante químico mais utilizado no tratamento de água, mas faz a ressalva de que o produto não é eficaz contra alguns protozoários como *cryptosporidium* e a giárdia, que podem ser transmitidos pela água contaminada. A autora também enaltece que há riscos envolvidos ao transporte, armazenamento e utilização do produto que é considerado corrosivo e perigoso.

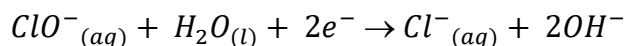
O cloro e seus compostos são fortes agentes oxidantes, de forma geral, a velocidade de reação do cloro aumenta com a temperatura e reduz com o pH (Meyer, 1994). Brito (2010, p. 1619) afirma que as propriedades de desinfecção do cloro em água são baseadas no poder de oxidação dos átomos de oxigênio livres e nas reações de substituição pelo cloro. A reação inicial do cloro, ao ser adicionado na água é apresentada a seguir:



Sendo que a depender do pH da água, o ácido hipocloroso (HOCL) se decompõe em íons de hipoclorito



E, por fim, este se decompõe em cloreto e átomos de oxigênio:



Ao descrever a reação acima, Brito (2015) afirma que os produtos da reação do cloro com a água podem penetrar no interior dos microrganismos patógenos, como bactérias e vírus, rompendo suas ligações químicas e os eliminando, sendo mais eficientes com o pH entre 5,5 e 7,5.

Na pesquisa realizada por Neto et al. (2016) foi possível constatar que o processo de desinfecção por cloro, na forma de NaClO (água sanitária), a uma taxa de 0,0 5ml/L, atendeu as exigências estabelecidas quanto aos coliformes totais ou qualquer outro teste bacteriológico realizado, além de não exceder o limite para cloro residual livre, definidos por legislação, conforme portaria do Ministério da Saúde, inferindo assim que a desinfecção por cloro é eficiente na remoção dos coliformes presentes na água.

Apesar de ser um método utilizado para a desinfecção, o uso do cloro pode trazer riscos nocivos à saúde. Alguns autores (Silva, 2018; Tomaz, 2010; Meyer 1994) alertam quanto a formação de Trihalometanos, que ocorre a partir da reação do cloro com alguns compostos orgânicos da água bruta. Meyer (1994) relata que o composto clorofórmio (um THM) na água tratada está associado a quadros cancerígenos, com resultados já comprovados em experimentos, em animais, em laboratórios.

No Brasil, conforme Portaria 888 de 2021 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido de Trihalometanos na água é limitado a 0,1mg/L

4.1.6.2. Radiação Ultravioleta.

O uso da radiação UV é um método bastante estudado por pesquisadores no mundo todo e é um método que está atingindo crescente aplicação como alternativa aos agentes químicos tratamento da água (Aguilar, 2000, p.23; Santos, 2018, p.31). Ela é uma opção de desinfecção por não adicionar produtos à água, resultando em um processo simples e pouca necessidade de operação manual (Martins, 2021)

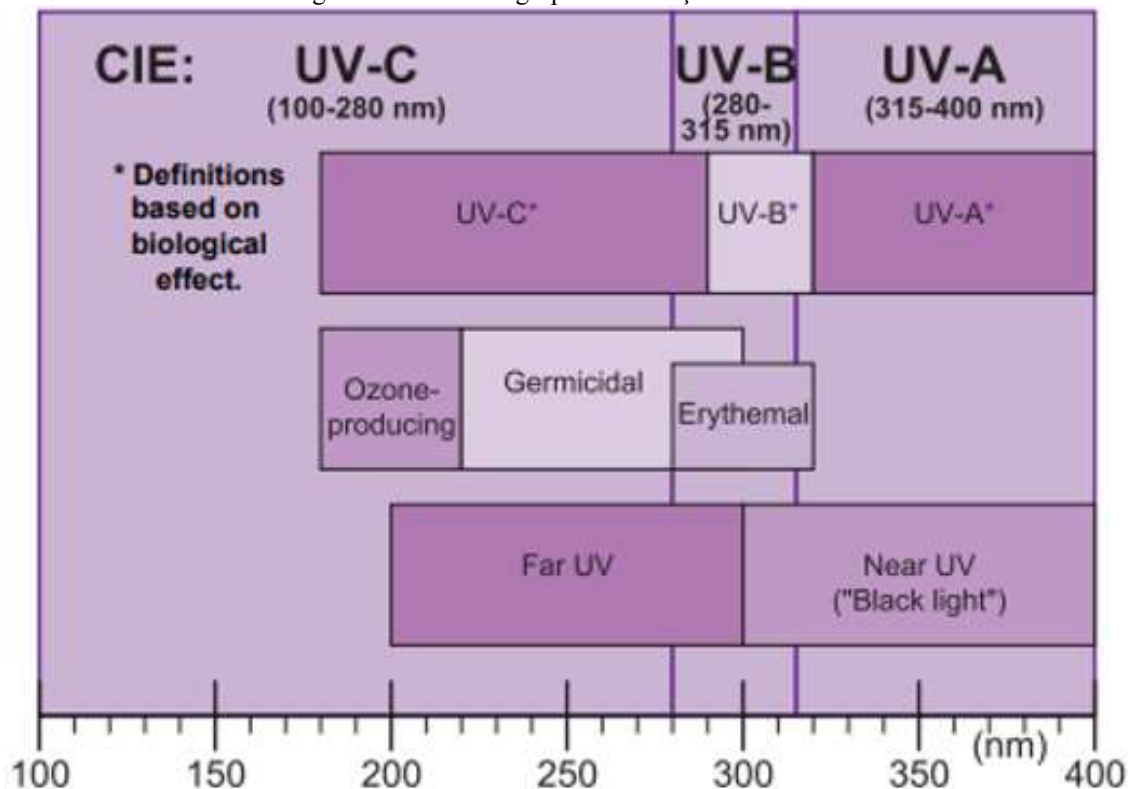
O principal mecanismo de ação da radiação UV na desinfecção é através da interferência na biossíntese e na reprodução celular. Os microrganismos são inativados pela radiação UV como resultado dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucleicos (Aguilar, 2000, P.26).

De acordo com a USEPA (1999) Dentre os fatores que afetam a eficiência da desinfecção por radiação UV estão a intensidade da radiação e o tempo de exposição que os microrganismos ficam expostos à radiação.

Além disso, há de se considerar as características da água, como a concentração de coloides e quantidade de partículas que se encontram no meio, pois os sólidos presentes na água podem ficar na “sombra” da luz UV ou serem incorporados a estas partículas, não sendo afetados pelo processo de desinfecção (Scarpelini e Meyer, 2017; USEPA, 1999)

A Luz UV tem o comprimento de onda que varia entre 100 e 400 nm (nanômetros). Conforme Ryan (1997) a faixa da luz Ultravioleta pode ser dividida em 3 categorias, UV-A, UV-B e UV-C baseada nos impactos biológicos que podem causar. Para a faixa germicida, utiliza-se o UV-C, na faixa de comprimento de onda entre 200 e 280nm, devido ao seu potencial de matar bactérias.

Figura 69: Faixas de grupos da radiação Ultravioleta

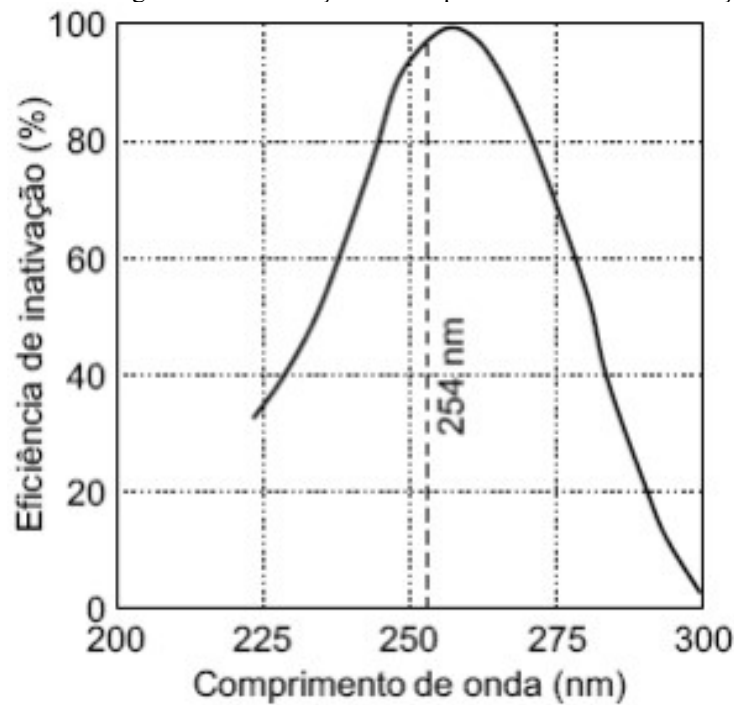


Fonte: Ryer (1997)

De acordo com Martins (2021, P10), o melhor proveito da luz UV no tratamento de água se dá na faixa UV-C na seguinte situação:

O comprimento de onda de maior efeito bactericida é o de 254 nm, e corresponde à emissão máxima das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. No entanto, a absorção máxima de radiação ultravioleta ocorre a 260 nm. A faixa germicida ótima para inativação de microrganismos é no intervalo de comprimento de onda entre 245 nm e 285 nm

Figura 70: Efeito germicida em função do comprimento de onda da radiação UV



Fonte: Martins (2021)

Por se tratar de um método de desinfecção física, a desinfecção UV, aplicada corretamente, não produz subprodutos que afeta as propriedades químicas da água. Santos (2018) Afirma que, ao contrário da desinfecção da água realizada por alguns agentes químicos, a radiação UV não causa interferência nas características da água.

Barroso e Wolff (2009) corroboram a informação dizendo que a formação de subprodutos da desinfecção é mínima, pois a radiação ataca principalmente nos ácidos nucleicos dos microrganismos, afetando seu material genético (DNA e RNA), ao contrário da desinfecção química como a realizada por cloro, que gera subprodutos e alguns deles podem apresentar potencial cancerígeno, inclusive, tal potencial carcinogênicos e tóxico do uso do cloro tem que tem se tornado objeto de estudos e preocupação e vem sendo questionada a sua aplicação (Scarpelini e Meyer, 2017; Meyer 1994)

A seguir são apresentados dois quadros, no Quadro 1 é realizado um comparativo entre a desinfecção por cloro e desinfecção UV e, no Quadro 2, é apresentado algumas vantagens e desvantagens da desinfecção por radiação UV

Quadro 1: Comparação entre a desinfecção por Cloração e UV

CLORAÇÃO	UV
Afeta gosto e odor	Não afeta o gosto e odor
Gera subprodutos carcinogênicos	Não gera subprodutos carcinogênicos
Químicos Perigosos	Sem químicos perigosos
Muda a composição química da água	Não muda a composição química da água
Corrosivo	Não corrosivo
Longo tempo de Contato (até 25 min)	Curto tempo de contato (< 5 segundos)
Tóxico	Não Tóxico

Fonte: Scarpelini e Meyer (2017)

Quadro 2: Vantagens e desvantagens do tratamento por radiação UV

Vantagens	Desvantagens
• A radiação UV é efetiva na inativação da maioria dos vírus, esporos e cistos • A radiação UV é um processo físico que, contrariamente aos desinfetantes químicos, não precisa gerir, manusear, transportar ou guardar produtos químicos tóxicos/ perigosos ou corrosivos • Não gera efeitos residuais ao homem ou a vida aquática • É um método de fácil utilização pelo operador • Leva menos tempo de contato quando comparado com outros métodos desinfetantes (aproximadamente 20 ~30 segundos com lâmpadas de baixa pressão) • Desinfecção por radiação UV exige menos espaço físico para operar do que outros métodos.	• Baixas dosagens podem não ser efetivas para inativar alguns vírus, esporos e cistos. • Alguns organismos podem se regenerar e reverter o efeito destrutivo da radiação UV através de um “mecanismo de reparo”, conhecido como fotorreativação ou em ausência de luz, conhecido como “reparo no escuro” • São necessárias manutenções programadas para remover os biofilmes nos tubos emissores de radiação UV. • Turbidez e sólidos totais na água residual podem tornar a desinfecção por radiação UV inefetiva. • O método de Desinfecção UV não possui um custo-benefício como o da cloração, mas os custos se tornam competitivos quando se compara ao processo de cloração com descoloração e quando se sabe utilizar o tratamento.

Fonte: USEPA 1999

4.1.6.3. Radiação Solar.

O uso da radiação solar é considerado uma tecnologia alternativa para o processo de desinfecção da água, e não requer grandes investimentos nem utilização de agentes químicos, para prover a eficiência do processo.

O método *solar disinfection* (SODIS) é um processo que vem sendo aplicado em países em desenvolvimento considerado uma técnica segura para tratamento de água (Botto, Mota e Ceballos, 2009). Por se tratar de um processo de desinfecção física, não altera as propriedades da água, como cor e odor; possui a facilidade de que pode ser aplicada a nível residencial com o simples uso de garrafas PET, tal como descrito por Amaral et al. (2006) e Oliveira (2021).

A eficiência da radiação solar sofre influência da quantidade de oxigênio que se encontra dissolvido na água, pois ao reagir com a luz solar ele cria radicais livres hiperativos que destroem as estruturas básicas das células, como sua membrana celular, e inibem suas atividades enzimáticas, causando a morte dos microrganismos procarióticos e eucarióticos (Botto, Mota e Ceballos, 2009).

Pereira et al. (2014) afirmam que só com o uso da luz solar e das garrafas plásticas já é possível utilizar esse procedimento de desinfecção. Ainda conforme os autores, a luz solar fornece dois componentes úteis a este processo: a radiação UV-A, que tem efeito germicida e destrói o DNA do patógeno e a radiação infravermelha que aquece a água, causando um processo de pasteurização. A atuação conjunta desses dois componentes favorece a eficiência da desinfecção.

Apesar do uso de garrafas PET denotarem viabilidade conforme já mencionado por Amaral et al. (2006), Oliveira (2021) e Pereira et al. (2014), há estudos que alertam para alguns detalhes no uso desse material no emprego conservação de água e na sua tolerância a elevadas temperaturas.

Kereszte et al. (2013) concluíram que as garrafas PET podem liberar substâncias nocivas quando aquecidas, como os ftalatos, porém isso varia de acordo com alguns parâmetros como o seu volume, ao se constatar que garrafas de menor volume tinham maior concentração de ftalatos e apresentam uma superfície de contato proporcionalmente maior com o conteúdo armazenado em seu interior em relação as garrafas de maior volume, também destacando que a temperatura de exposição e armazenamento é um fator que pode também influenciar na degradação o material.

Ainda conforme os autores, há uma forte relação da liberação de ftalatos quando as garrafas PET são produzidas com polímeros reciclados, sendo possível inferir que o uso de garrafas não recicladas são mais seguras para a aplicação da técnica SODIS. O estudo de Kereszte et al. (2013) foi realizado com temperaturas de exposição de até 60° não constatando ameaças à saúde humana nessas condições.

4.1.7. Estudo de autores que empregaram tratamento por desinfecção

4.1.7.1. Tratamento por desinfecção realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011)

No tratamento por desinfecção de águas pluviais, realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011), após a filtração previamente realizada e descrita em 4.2.5.6, uma parcela da água foi tratada por cloração e outra por radiação UV, após a filtração, oferecendo dados que possam evidenciar a eficiência singular de cada uma das tecnologias aplicadas para o tratamento de água da chuva.

Os autores armazenavam água em bombonas com volume de 200 litros, na bombona 1 era armazenada a água proveniente da chuva que passava por um processo de descarte e gradeamento dos sólidos com dimensão superior a 28mm.

Na bombona 2 era armazenada a água que havia passado pela bombona 1 e já havia sido submetido ao processo de filtração e também pelo módulo de desinfecção UV.

O sistema de tratamento por radiação UV era composto por uma lâmpada de 15W e capacidade para tratar até 2500 Litros/hora. Ele funcionava durante 8 horas por dia, interligado a um *timmer*, recirculando a água já tratada, a fim de aumentar a eficiência do processo que visava eliminar todos os microrganismos patogênicos pois, conforme os autores, o sistema UV não gera residual que inibe a proliferação desses microrganismos no reservatório de armazenamento.

Figura 71: Sistema experimental de tratamento de água de chuva utilizado por Rocha, Reis e Araújo (2011)



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

Figura 72: Unidade de desinfecção por UV.



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

Figura 73: Bombona de armazenamento 2.



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

A bombona 3 havia apenas água que já tinha passado pelo sistema de dupla filtração que posteriormente passava pelo processo de cloração e era conduzida por um sistema de bombeamento automatizado para o interior da bombona número 4.

Durante o bombeamento da água entre essas duas bombonas, uma bomba dosadora de cloro era ativada simultaneamente, provendo adição desse elemento para a bombona 4. O cloro utilizado foi uma solução concentrada desse elemento, preparada com cloro estabilizado, utilizado em piscinas, e armazenada em um ambiente hermeticamente fechado com concentração buscaram seguir as recomendações de teor de cloro residual livre estabelecida pela NBR 15.527/2007, vigente na época do trabalho dos autores.

Figura 74: Bomba dosadora de cloro



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

O resultado médio das análises realizadas por Rocha, Reis e Araújo (2011) são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Média dos resultados de análise dos parâmetros de qualidade das águas após o tratamento realizado por Rocha, Reis e Araújo (2011)

Parâmetro	Após unidade de filtração	Após unidade de cloração	Após unidade U.V.
Turbidez	1,0	0,82	0,62
Cor aparente	10,51	5,33	6,07
pH	7,66	7,92	7,32
Coliformes Totais (NMP 100 mL)	34,12	<18	<18

Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

Os autores afirmam não detectarem a presença de microrganismos patogênicos após a água passar pelas unidades de desinfecção UV e cloro, os levando a considerar uma eficiência de 100% de redução na contagem de coliformes totais e que os parâmetros físico-químicos analisados atendiam o disposto pela portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde (substituída pela portaria nº888/2021, que determina, dentre outros, o controle de qualidade da água para consumo humano e sua potabilidade).

Diante disso, Rocha, Reis e Araújo (2011) consideraram que os tratamentos que precederam os processos de desinfecção se mostraram de suma importância, pois eles reduziram inicialmente a cor, turbidez e teor de matéria orgânica presente na água da chuva escoada dos telhados da edificação, o que tornou mais eficiente o processo de desinfecção.

4.1.7.2. Tratamento por desinfecção realizado por Oliveira (2021)

Após o processo de filtração realizado por Oliveira (2021), descrito em 4.2.5.3, a água armazenada nas bombonas esterilizadas eram envasadas em garrafas PET de 1 litro, transparentes, também esterilizadas e pintadas de preto na superfície voltada para o solo.

Figura 75: Garrafa PET do experimento de Oliveira (2021)



Fonte: Oliveira (2021)

As garrafas eram colocadas por 6 horas ao sol, no intervalo das 10h da manhã até as 16 horas da tarde, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2021. Nesse processo, a menor radiação solar que a água ficou exposta foi 548 Watt-hora (Wh)/m², com a máxima de 1376 Wh/m² e média de exposição de $1059,5 \pm 195,96$ Wh/m².

Para amplificar a eficiência do processo, Oliveira (2021) utilizou um concentrador solar construído de papelão e papel alumínio e acoplado ao sistema de desinfecção conforme pode ser visto na Figura 76.

Figura 76: Concentrador solar utilizado por Oliveira (2021)



Fonte: Oliveira (2021)

Após esse procedimento de desinfecção o autor notou uma redução da turbidez, que passou de 1,67 para 0,87uH assim como uma variação no pH da água em relação a amostra original, variando de 7,48 para 7,19, sendo este último parâmetro considerado como estável, com comportamento dentro do esperado por Oliveira (2021),

A concentração de coliformes na água foi reduzida em 100% após o período de 6 horas de exposição solar das amostras, inclusive para as amostras que receberam menor índice de radiação solar. A redução dos coliformes, conforme entendimento da autora, pode ser o motivo que explique a variação da cor aparente, que decaiu de 3,7uH para 2,47uH, pois ela expõe que, conforme a literatura, a cor da água está relacionada a concentração de ácido húmico no meio, que por sua vez é proporcional a atividade bacteriana e a eliminação dos coliformes causa a consequente redução da cor aparente.

4.1.7.3. Tratamento por desinfecção realizado por Santos (2018)

A dissertação de Santos (2018) buscou analisar a viabilidade do processo de desinfecção por radiação UV, alimentado por um painel fotovoltaico no tratamento de águas pluviais com finalidades não potáveis. O trabalho se desenvolveu no município de Curitiba/PR, no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com coleta da água no período de junho a dezembro de 2017.

Figura 77: Escritório Verde da UTFPR



Fonte: Santos (2018) – (google maps, 2017)

O sistema de coleta de águas pluviais se dá por meio de sua percolação pelo telhado da edificação, passando por um filtro de descida para eliminar as primeiras águas da chuva,

removendo impurezas como musgos, folhas, insetos e outros possíveis detritos, então seguindo percurso até uma cisterna de armazenamento de 1500L

Figura 78: Cisterna de armazenamento inicial utilizada por Santos (2018)



Fonte: Santos (2021)

Próxima a essa cisterna há uma válvula utilizada para controlar a vazão de água que chega ao sistema de desinfecção por meio do bombeamento hidráulico da cisterna até o sistema de desinfecção UV.

Figura 79: Válvula de controle da vazão e bomba fotovoltaica



Fonte: Santos (2018)

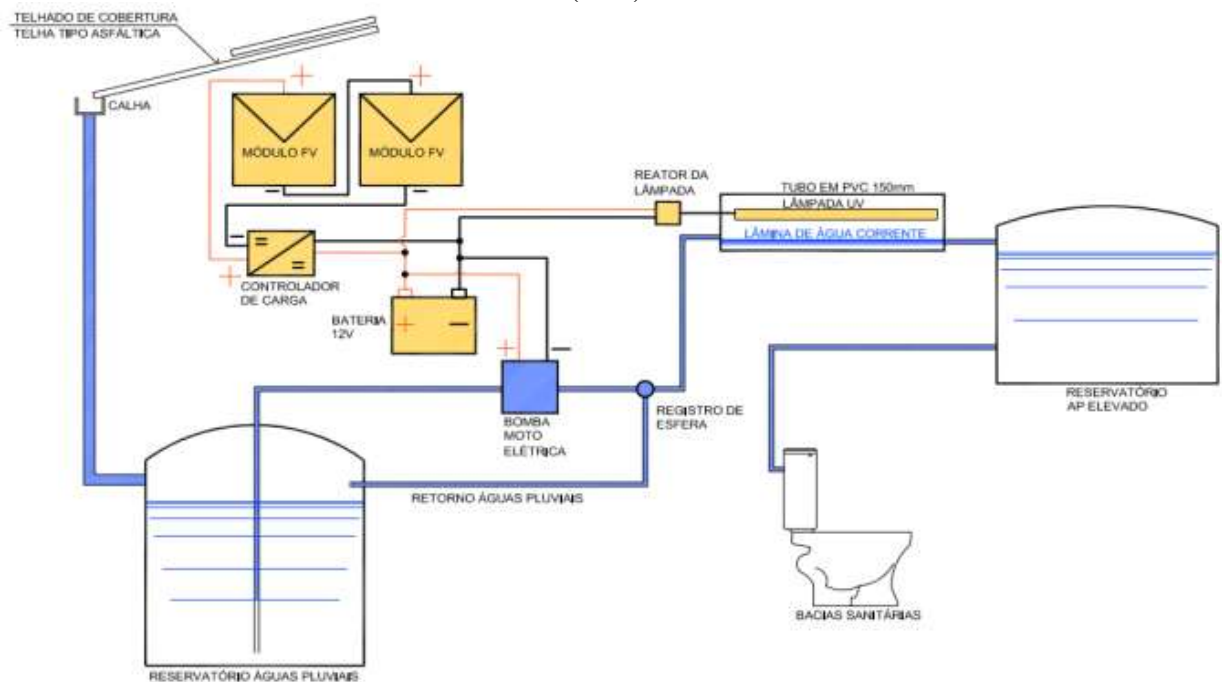
O sistema de desinfecção UV utilizado por Santos (2018) foi construído utilizando um tubo PVC de 100mm de diâmetro, com lâmpada tubular germicida T8, 30W com 89,5cm de comprimento e que emitia ondas de 254 nanômetros, alimentada por um painel fotovoltaico.

Figura 80: Sistema de desinfecção ultravioleta



Fonte: Santos (2018)

Figura 81: Sistema de desinfecção de água da chuva alimentado por módulos fotovoltaicos utilizado por Santos (2018)



Fonte: Santos (2018)

As amostras analisadas foram retiradas de duas cisternas de armazenamento de água, sendo uma após o descarte inicial e outra após o processo de desinfecção UV, utilizando frascos de polipropileno esterilizados em autoclave como recipiente de coleta. Foram analisadas 13 amostras de água que passaram pelo sistema de desinfecção em 3 vazões distintas demonstradas na Tabela 13.

Tabela 13: Média das análises da água nos ensaios realizados no laboratório da UTFPR por Santos (2018)

Parâmetro	Água cisterna (antes da desinfecção)	Vazão de 0,041 l/s	Vazão de 0,024 l/s	Vazão de 0,006 L/s
Turbidez	2,24	1,76	1,87	1,93
Cor	19,29	14,71	14,38	10,56
pH	6,60	6,52	6,55	6,49
Coliformes Totais (NMP 100 ml)	280	54	0	0

Fonte: Santos (2018)

Com esses resultados a Santos (2018) concluiu que quanto menor a vazão que percola pelo sistema de desinfecção, melhor será a eficiência do tratamento devido ao maior tempo de exposição da água à lâmpada do sistema.

Para os parâmetros de cor, turbidez e pH, a autora não considera que houve alterações significativas desses parâmetros independentemente da vazão analisada, afirmando que o valor do pH é indiferente para a eficiência do método de desinfecção UV.

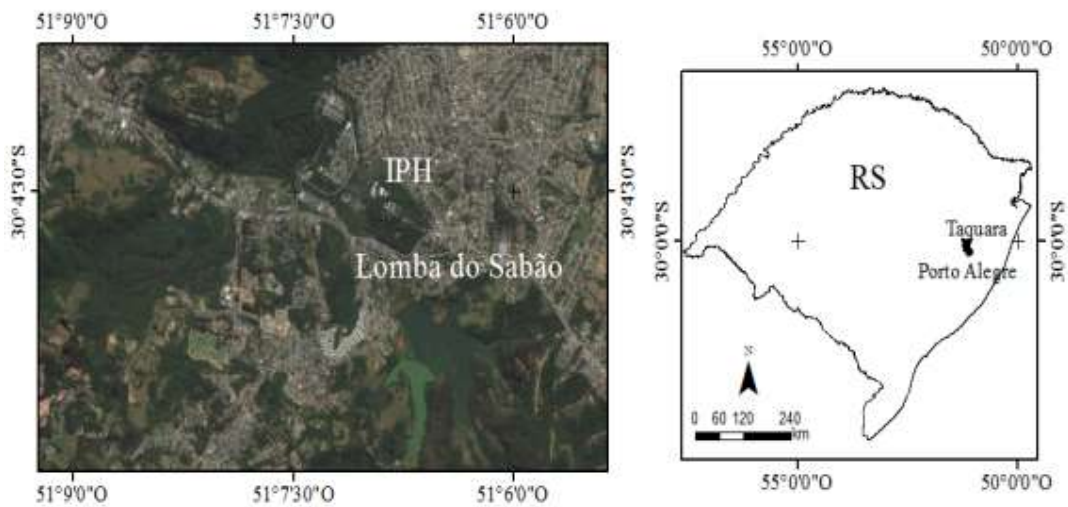
Para os coliformes totais, a eficiência do sistema foi de 80% para a vazão máxima estudada e de 100% para as vazões média e mínima, levando Santos (2018) a afirmar que ficou evidente o desempenho do sistema de desinfecção UV empregado como um todo

4.1.7.4. Tratamento por desinfecção realizado por Carvajal (2015)

Em sua dissertação, Carvajal (2015) avaliou ensaios de desinfecção solar (SODIS) em águas provenientes da chuva, poço e manancial superficial. Para efeitos deste trabalho, será apenas abordado os ensaios realizados utilizando águas pluviais.

O local da pesquisa foi na cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul e a água foi coletada no telhado das instalações do Laboratório de Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 82: Local de coleta das amostras de Carvajal (2015)



Fonte: Carvajal (2015)

As amostras de água foram recolhidas dos tubos de queda do telhado do anexo do Laboratório de Saneamento Ambiental, durante os dias chuvosos dos meses de verão, coletadas em baldes de 20L e eram submetidas à mensuração de alguns parâmetros, tais como pH, turbidez e cor.

Inicialmente as amostras eram filtradas em tecido de algodão esterilizados para reter parte dos sólidos presentes na água e em seguida eram colocadas em repouso entre 20 e 24h para a separação dos sólidos sedimentáveis, a fim de prover maior absorção da radiação solar pelos microrganismos, no processo de desinfecção. Após esse processo, a água era colocada em garrafas PET de 1,5 litro, devidamente higienizadas, e então submetidas ao tratamento por SODIS durante um período de 6 horas, entre as 10:00 e as 16:00 horas, com posterior análise físico-químico bacteriológica após o procedimento.

Figura 83: filtração das amostras de Carvajal (2015)



Fonte: Carvajal (2015)

A radiação solar, a média das amostras expostas ao sol variou entre 710 e 950 Wh/m² durante o experimento, que foi realizado em dias de céu claro sem nenhuma nuvem. As amostras foram dispostas de forma que aproveitassem ao máximo essa radiação, viradas para a direção norte, com angulação entre 40° e 45°.

Figura 84: À esquerda: Estrutura suporte para os ensaios SODIS. À direita: Disposição de garrafas PET em telhados para exposição ao sol.



Fonte: Carvajal (2015)

Após o tratamento, Carvajal (2015) encontrou os seguintes resultados que podem ser vistos conforme a Tabela 14.

Tabela 14: Média dos parâmetros físicos-químicos e microbiológicos medidos nas amostras de água estudada por Carvajal (2015)

Parâmetro	Após filtração	Após tratamento SODIS	Eficiência
pH	6,9	6,6	-
Turbidez (NTU)	2,5	0,8	68,00%
Cor aparente (mg Pt-Co/L)	16,9	11,9	29,59%
Coliformes totais NMP/100ml	10904	2,45	99,97%

Fonte: Adaptado de Carvajal (2015)

Para Carvajal (2015), a eficiência da técnica SODIS está diretamente relacionada a água bruta, a temperatura atingida no período de exposição ao sol e a dose de radiação solar incidente; não tendo como objetivo a remoção de cor e da turbidez da água. Os valores de turbidez variaram entre 1,25 e 3,73 NTU e a temperatura da água variou entre 26°C e 40°C no interior das garrafas. O próprio autor afirma que, conforme a literatura, o SODIS pode ser aplicado em turbidez inferior a 30 NTU, mas o ideal para a inativação completa dos microrganismos é 50°C.

Os coliformes totais que variavam entre 99,38% e 99,99% para água da chuva, o que fez Carvajal (2015) considerar o resultado significativo e que esse parâmetro apresentou valores suficientemente baixos para garantir um pequeno nível de risco na ingestão da água, na ausência de água potável. Por fim, foi recomendado o estudo de tratamento por SODIS na região sul do Brasil durante o período de inverno, quando as temperaturas são mais baixas e os dias tem menor insolação ou então aumentar o tempo de exposição ao sol durante esses períodos.

5.COMPARAÇÃO ENTRE AS OPÇÕES DE TRATAMENTO

Nos estudos apresentados de descarte constatou-se que a qualidade da água bruta, coletada diretamente da atmosfera, apresentaram diferentes resultados quando comparados entre si.

As diferenças podem ser justificadas porque água, no início da precipitação, originalmente destilada, incorpora partículas que se encontram suspensas na atmosfera até alcançar o solo (Andrade e Neto, 2014). Tais partículas podem ser compostas por substâncias variadas e estarem em maior ou menor número de acordo com o local de estudo.

Deste modo, ao se comparar os estudos de e Hernandez e Amorim (2005), realizado em uma região influenciada pelo plantio e queima da cana de açúcar e atividades industriais, com o estudo realizado por Xavier et al. (2010), em uma zona rural do Semiárido Brasileiro que, conforme os autores, tende a ter baixa poluição, é possível verificar a diferença dos no parâmetro de pH, e turbidez, cujos índices são de melhor qualidade no segundo estudo.

Todavia, foi possível constatar que, independentemente do local de estudo, a qualidade da água que passou pelo processo de descarte apresentou os parâmetros de qualidade melhores que os da água descartada, mostrando que os dispositivos de descarte têm sua eficiência no tratamento de águas pluviais ao concentrar os poluentes carregados pela lavagem realizada pelos milímetros iniciais de precipitação.

Por fim, é válido ressaltar que a depender do reservatório de armazenamento, pode haver o desprendimento dos materiais que o constituem, como foi constatado por Xavier (2010) que utilizou cimento para a construção do seu sistema de desvio que pode liberar íons em contato com a água, hipótese que levou o autor a justificar o aumento do pH em seus sistemas de desvio.

Essa possibilidade de desprendimento dos materiais é ressaltada por Heijnen (2012) ao afirmar que as cisternas de concreto e ferrocimento, quando novas, podem elevar o pH devido à liberação de cal em excesso ou que, um pH baixo pode lixiviar tanques, tubos ou acessórios metálicos do sistema e comprometer a qualidade da água armazenada.

Já dentre as referências encontradas que empregaram o sistema de filtração das águas pluviais, 5 estudos já haviam aplicado previamente o método de descarte dessa água, o que já lhe forneceu melhor qualidade antes da próxima etapa.

Alguns dos estudos não apresentaram a taxa de filtração empregada e/ou a granulometria do filtro. A granulometria é um fator que influencia diretamente na taxa de filtração pois quanto mais fino o material filtrante, mais difícil é da água percolar e o processo

se torna mais lento; em contrapartida a água tenderá a reter mais sólidos em seu interior aumentando a eficiência do processo, pois o filtro de areia, dentre outros objetivos, tem a capacidade de remover a cor e a turbidez da água, não sendo esperado que o processo de filtração apresente resultados significativos na alteração do pH da água,.

O filtro descrito por Bastos (2007) possuía diâmetro efetivo de grão de 0,36 mm, com camada filtrante de 90 cm de areia, obtendo os melhores resultados nos parâmetros de turbidez e remoção de coliformes que foram apresentados; o parâmetro de cor apresentou um resultado de apenas 1,7% para a taxa de $4\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, mas chegou a alcançar uma eficiência média de 40% em outro filtro que possuía as mesmas características.

Oliveira (2021) e Vieira (2013) também detalharam a granulometria da areia empregado no meio filtrante. Oliveira (2021) utilizou areia com diâmetro específico de 0,3 mm enquanto que Vieira (2013) usou areia com diâmetro heterogêneo, entre 0,15 e 0,60 mm, mas não alcançaram resultados eficientes como os de Bastos (2007).

Ambos autores obtiveram efeito reverso ao esperado na remoção da turbidez. Oliveira (2021) explicou que foi devido à dificuldade encontrada para a limpeza do meio filtrante, a água de sucessivas filtrações carregou o biofilme que se encontrava em camadas mais profundas que o esperado. Já Vieira (2013) justifica o aumento da turbidez por conta da areia que foi carregada junto com a água no processo de filtração.

O filtro BSF descrito por Oliveira (2021) apresentou o melhor resultados na redução de coliformes, O BSF se caracteriza por facilitar a formação do biofilme, um dos principais agentes responsáveis pela redução desse parâmetro, sendo bastante efetivo na redução dos microrganismos quando bem desenvolvida (Brito et al. 2005). Já o parâmetro de cor aparente encontrado, foi apresentado uma significativa redução, apesar de ter um acréscimo de sua turbidez, isso pode ser justificado, conforme Oliveira (2021), pela redução dos coliformes, que traz como consequência redução da cor aparente da água.

Um ponto perceptível é que apenas os estudos de Hirt e Santos (2011) e Vieira (2013) tiveram um acréscimo de pH para todos os tipos de material filtrante que eles utilizaram; os dois trabalhos foram realizados em condições similares e no mesmo local de estudo. É possível justificar esse aumento de pH devido ao arraso das partículas do filtro pela água, Hirt e Santos (2011) levantaram a possibilidade de em seu trabalho as impurezas dos materiais empregados não terem sido totalmente removidos antes do experimento e que o pequeno volume filtrado pode ter acentuado seus efeitos, que ficaram concentradas nesse volume.

Ambos os casos ressaltam a importância da limpeza dos materiais empregados antes de sua utilização no filtro junto com a remoção dos materiais que ficam retidos por conta da filtração, principalmente nas camadas superiores e também a necessidade de um material sob camada inferior do filtro, que impeça que o meio filtrante seja removido do sistema e prejudique a qualidade da água tratada.

De forma geral, se constatou que a taxa de filtração teve um desempenho superior em taxas mais lentas quando comparado a filtração rápida realizada por Murakami (2011) e nos dois filtros de fibra de celulose de 25 micra de Rocha, Reis e Araújo (2011).

No que diz respeito as técnicas de desinfecção, foram analisados os métodos cloração, SODIS e por radiação UV. Para todos os casos explorados, foi constatado uma melhoria nos parâmetros apresentados, salvo o pH que não sofreu variações significativas em nenhum dos processos de desinfecção realizados.

Nos trabalhos apresentados, o processo de desinfecção foi precedido por algum tratamento anterior de descarte, filtração ou ambos. Esse tratamento prévio é um fundamento que pode ser utilizado para ampliar a eficiência do processo de desinfecção, pois os sólidos suspensos na água podem atuar como um escudo que protege os microrganismos da radiação UV, do cloro ou da luz solar.

É perceptível que a vazão aplicada no sistema de desinfecção UV interfere na qualidade da água após a desinfecção, conforme apresentado por Santos (2018), as menores vazões apresentaram 100% de redução de coliformes totais enquanto que na vazão máxima, o valor foi de 80% de redução, trazendo a percepção de que o tempo que a água fica sob os efeitos da radiação UV tem interferência direta sobre a taxa de sucesso na remoção de coliformes.

Se o processo não eliminar todos os agentes patógenos da água ela estará sujeita futura proliferação durante o seu armazenamento para uso futuro, isso pode ser constatado no estudo de filtração de Vieira (2013) onde a contagem de coliformes aumentou de 510 para 1800 após um período de 3 meses, mesmo a amostra estando refrigerada. Rocha, Reis e Araújo (2011) compartilham desse pensamento, já que no seu processo de tratamento por radiação UV eles optaram por ficar recirculando a água sob a luz do reator para garantir a eliminação de todos os microrganismos pois, conforme os autores, a radiação UV não deixa residuais que inibam a reprodução desses agentes.

A ausência dos residuais supracitada pode também ser considerado um fator positivo para a desinfecção UV, pois não gera subprodutos que possam afetar a saúde humana, tal como o processo de cloração empregado por Rocha, Reis e Araújo (2011), que precisa seguir padrões

técnicos para evitar causar um efeitos nocivo à saúde durante a manipulação do cloro ou no tratamento em si, esse devendo seguir dosagens definidos pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde que determina tempo de exposição da água com o cloro com base no seu pH, temperatura e quantidade de cloro residual livre tolerado para as águas destinadas a fins potáveis.

Por fim, a desinfecção por SODIS, não exige gastos significativos para sua aplicação, mas necessita de um ambiente com acesso direto a luz solar e a utilização de recipientes hermeticamente selados para prevenir o contato da água com outros contaminantes.

Ao se aplicar o SODIS, é recomendável ficar atento ao material do recipiente utilizado a fim de que a radiação e o calor solar não reaja com o material e não liberem substâncias nocivas na água, o que limita a quantidade de reservatórios que possam ser utilizados no emprego do SODIS, a exemplo do que pôde ser constatado no estudo mencionado de Keresztes et al. (2013).

Oliveira (2021) atingiu 100% de redução dos coliformes totais submetendo a água a uma radiação solar durante 6 horas, concentrando os raios solares em garrafas pet com o auxílio de papelão revestido de papel alumínio. Foi constatada a redução de turbidez e cor aparente, onde o autor não estabeleceu uma correlação desses parâmetros com os índices de radiação solar, apesar de ter conhecimento que ela existe e não encontrar interferências de outros elementos que justifiquem a alteração desses dois parâmetros.

Carvajal (2015) atingiu taxas de redução média de 99,99% dos coliformes totais em sua pesquisa, armazenado água da chuva em garrafas pets higienizados e as submetendo a uma exposição direta aos raios solares durante 6h, não detectando recrescimento dos coliformes nos períodos entre 24 e 48h após o experimento, o que evidencia a qualidade do processo.

Dentre as técnicas avaliadas, notou-se que, em via de regra, elas apresentaram resultados positivos para a qualidade da água. Algumas eficiências negativas puderam ser encontradas nos mecanismos de filtração, o que pode ser justificado devido alguma deficiência no procedimento de execução, como mencionado por alguns dos próprios autores, como uma lavagem incorreta do material filtrante ou a má higienização da colmatação acumulada, evidenciando que as técnicas são efetivas ao seguir as recomendações encontradas na literatura.

Os dispositivos de descarte automático agregaram sua importância nas etapas iniciais de recolhimento da água da chuva ao eliminar as primeiras águas, isso é perceptível ao se verificar que a água retida e descartada contém índices de cor e turbidez mais elevados. Os

poluentes carregados pela chuva também alteram o pH do meio para mais ácido ou mais alcalino, a depender do tipo e de sua concentração.

A partir da literatura é possível inferir também que os dispositivos de descarte têm potencial para conferir melhor qualidade microbiológica, o que infelizmente não foi um índice verificado pelos autores analisados, demandando mais estudos para esse caso em particular a fim de mensurar melhor o potencial dessa técnica de tratamento.

Ao verificar a dissertação de Hagemnan (2009), que se propôs a analisar a qualidade da água até o 5º milímetro, separadamente, é possível perceber que os parâmetros de pH, cor e turbidez, índices relacionados diretamente com partículas suspensas na atmosfera ou acumuladas nas superfícies de captação, tendiam adquirir melhor qualidade a cada milímetro que se analisava, inclusive os valores médios, em seu estudo, dos índices de pH, cor e turbidez estariam convergindo para uma qualidade que se assemelhava a dos padrões da água que foi coletada diretamente na atmosfera após cada milímetro de chuva.

Todavia, para a aplicação desse método, é necessário que o índice pluviométrico da precipitação seja superior ao dos primeiros milímetros de descarte, para que assim ainda reste água para consumo futuro ou para aplicação de outra técnica de tratamento. Quanto maior o volume de água precipitado, mais as impurezas presentes na atmosfera e no dispositivo de captação tenderão a se diluir, resultando em águas com qualidade cada vez melhor.

Além disso, ressalta-se que longos períodos de estiagem tendem a piorar a qualidade do primeiro evento de chuva por conta do acúmulo de impurezas não lavadas, fato esse que pode ser mitigado com a higienização da superfície de coleta da chuva.

A respeito da técnica de filtração, notou-se que muitos estudos empregaram areia na construção do meio filtrante e geralmente apresentaram resultados satisfatórios além de ser um material filtrante mais acessível à população.

Nesse caso, a quantidade da água precipitada é indiferente na eficiência do filtro, mas a qualidade inicial afeta diretamente na maior ou menor velocidade de colmatção, o que por sua vez aumenta a perda de carga, reduzindo a velocidade de filtração, influenciando em maiores ou menores intervalos de limpeza do material.

Além disso, a granulometria do meio filtrante tende a afetar diretamente a taxa de filtração já que em materiais mais finos a taxa de filtração é menor, porém é esperado que se adquira melhor eficiência na retenção dos sólidos impuros.

Para os índices aqui estudados, Bastos (2007) apresentou, no conjunto dos parâmetros, o melhor resultado. Ela entende uma menor taxa de filtração tende a oferecer maior eficiência

no filtro e que isso só não foi constatado no seu estudo porque, para a menor taxa de filtração aplicada em sua pesquisa, o filtro ainda não estava totalmente estabilizado.

Foi percebido que o filtro, não sendo completamente limpo ou corretamente construído causará efeito deletério na água ao carrear as partículas de areia, as quais também podem conter impurezas, se não for higienizada antes de sua inserção no meio.

A redução dos índices microbiológicos também pode ser fornecida pelo filtro, porém sua melhor eficiência necessita ser complementada por meios responsáveis pela desinfecção, como o biofilme, para isso o filtro precisa passar entre dias e semanas em atividades para que haja o crescimento desse agente e nesse parâmetro, o filtro BSF de Oliveira (2021) adquiriu melhor índice, visto que é um tipo de filtro de areia que visa potencializar a eficiência desinfetante, mas mesmo assim, ainda recomenda-se a aplicação de um processo de desinfecção da água.

Quanto a análise dos diferentes métodos de desinfecção, observou-se resultados satisfatórios para todos os casos verificados e também, além de atingir os organismos patogênicos, foi constatado uma melhoria nos parâmetros de cor e turbidez da água nos casos apresentados.

Foi verificado que todos os autores aqui apresentados procuraram oferecer um tratamento inicial a água, seja o descarte ou a filtração. Conforme a literatura já apresentada neste trabalho, esse tratamento inicial potencializa os efeitos da desinfecção, seja ela química ou física, ao remover partículas da água que agiriam como um escudo para os microrganismos que estão no meio; parâmetros como a turbidez dificultam o efeito da cloração na água, impedem a penetração da radiação UV e da luz solar durante o tratamento, quanto menor esse índice, melhor tende a ser a eficiência de desinfecção.

Para a eficiência da cloração, a dosagem aplicada deverá ser executada de forma que tornem o tratamento efetivo contra microrganismos, mas que não tornem a água nociva para o consumo humano ou na aplicação desejada, devendo haver um equilíbrio no seu uso. Sua aplicação necessita de cuidados técnicos devido aos riscos envolvidos na manipulação do material e na toxicidade que ele pode representar a saúde humana.

Já a desinfecção UV, também é efetiva na inativação e eliminação dos microrganismos, porém a água deve ser submetida ao tratamento por tempo suficientemente longo para conseguir melhor eficiência. Vazões elevadas podem fazer o processo não ser eficiente na eliminação de todos esses agentes conforme constatado por Santos (2018), sendo um risco não conferir a qualidade desejada a água, porém vazões mais baixas podem não suprir necessidades imediatas.

Outro aspecto da desinfecção UV está relacionado ao equipamento empregado, onde o fluxo de água estará limitado ao aparelho utilizado; aos conhecimentos técnicos de quem o manipula e aos cuidados em manter o emissor de radiação limpo para evitar que sedimentos se acumulem e bloqueiem a passagem da luz UV.

Por fim, a técnica SODIS tem potencial para eliminar 100% dos microrganismos patogênicos da água, ficando sujeita apenas a necessidade da luz proveniente do sol, com maior eficiência em regiões que possuem maior incidência de radiação solar, como as regiões do semiárido do nordeste brasileiro.

Para o SODIS é importante que a água passe tempo suficiente exposta a luz solar. Carvajal (2015) e Oliveira (2021) deixaram a água exposta ao sol durante 6h, mas ambos realizaram o experimento com radiações solares médias distintas, o que pode ter sido o fator responsável pela diferença de eficiência encontrada na eliminação de coliformes no trabalho dos autores. De acordo com Carvajal (2015), uma das saídas para lugares com menor insolação é deixar a água mais tempo exposta ao sol.

Apesar de ser uma técnica de baixo custo, podendo ser aplicada utilizando apenas garrafas PET, o seu volume de tratamento será limitado ao que se deixar exposto e possui sua eficiência reduzida em períodos de menor insolação, como no inverno.

Por fim, percebe-se a necessidade de padronização no estudo de cada uma das tecnologias empregadas para auxiliar a identificar melhor a eficiência de cada tratamento. Um ponto observado é que a qualidade inicial da água e a quantidade de amostras estudadas e o volume de água tratada pode influenciar significativamente na eficiência de tratamento.

Nesse contexto, é pertinente mencionar as observações constatadas por Hirt e Santos (2011) em seu filtro de carvão e nas conclusões obtidas por Rocha, Reis e Araújo (2011), em que pequenas variações quantitativas em uma água, com parâmetros iniciais mais próximos de zero tendem a apresentar maiores impactos no percentual de eficiência.

Tais situações podem ser mitigadas ao se estudar mais amostras e maiores volumes, pois os valores encontrados tenderão a convergir para resultados mais fidedignos à realidade do método.

Por fim, nas Tabelas 15, 16 e 17 encontra-se uma compilação dos resultados apresentados nos diversos estudos revisados neste TCC.

Tabela 15: Tratamento por descarte - Valores médios

Autor(es)	Precipitação descartada	pH			Turbidez				Coliformes Totais (NMP/100ml)			
		Água Bruta	Água do Descarte	Água após Descarte	Água Bruta	Água do Descarte	Água após Descarte	Eficiência de remoção	Água Bruta	Água do Descarte	Água após Descarte	Eficiência de remoção
Hirt e Santos(2011)	2mm	s.i	6,34	5,61	s.i	6,06	2,74	54,8% (comparado a água do descarte)	s.i	900* (UFC/ 100ml)	740*(UFC/ 100ml)	17,8% (comparado a água do descarte)
Vieira (2013)	2 mm	6,29	5,92	6,05	2,16	3,75	2,04	5,5% (comparado a água bruta); 45,6 (comparado a água do descarte)	720* (UFC/ 100ml)	1297 (UFC/ 100ml)	666 (UFC/ 100ml)	7,5% (comparado a água bruta); 48,65% (comparado a água do descarte)
Xavier et al. (2009) fecho hídrico	1 mm	6,22**	De 9,89 até 10,66	De 6,33 até 6,64	0,92**	De 2,63 até 11	De 1,58 até 2,73	52,9% (comparado a água do descarte)	s.i	s.i	s.i	
Xavier et al. (2009) -vasos comunicantes	1 mm	6,22**	De 8,11 até 9,31	De 6,44 até 7,34	0,92**	De 4,8 até 6,7	De 2,20 até 2,57	21,3% (comparado a água do descarte)	s.i	s.i	s.i	
Hernandes e Amorin (2005)	s.i	5,62**	6,7	7,78	5,02**	132,39	2,46	98,14% (comparado a água do descarte)	s.i	59	19	67,80% (comparado a água do descarte)
Santana (2012)	3 mm	6,59**	6,68	6,55	2,33**	2,49	1,17	53% (comparado a água do descarte)	4,23**	18,53	10,38	56,02% (comparado a água do descarte)

Fonte: Autoria própria

*Amostra única

** Valor referente a amostra de chuva coletada diretamente da atmosfera, sem passar por um sistema de escoamento de telhados, calhas e/ou dutos.

s.i. = sem informação

Tabela 16: Tratamento por filtração - Valores médios

Autor(es)	Meio filtrante (dimensão)	Vazão filtrada	pH		Turbidez (uT)			Coliformes Totais (NMP/100ml)			Cor (uH)		
			Água Bruta	Água Filtrada	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de remoção	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de Remoção	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de remoção
Bastos (2007)	Pedregulho (0,1m); Areia (0,9m)	4m³ /m²/dia	6,9	6,8	0,41	0,02	95,5%	373,6	132,8	64,5%	0,61 (verdadeira)	0,60 (verdadeira)	1,7%
Bastos (2007)	Pedregulho (0,1m); Areia (0,9m)	6m³/m²/dia	6,58	6,59	0,23	0,00	100%	629	189	68,8%	5,13 (verdadeira)	1,14 (verdadeira)	90,5%
Bastos (2007)	Pedregulho (0,1m); Areia (0,9m)	8m³/m²/dia	6,79	6,81	1,13	0,06	89,5%	7601	3162	65,2%	16,03 (verdadeira)	4,10 (verdadeira)	82,9%
Hirt e Santos (2011)- Após processo de descarte	Seixo (0,05m); Areia (0,55m)	s.i	5,61	7,83	2,74	1,15	58%	740* (UFC/100ml)	410* (UFC/100ml)	45%	s.i	s.i	s.i
Hirt e Santos (2011)- Após processo de descarte	Seixo (0,05m); Antracito (0,55m)	s.i	5,61	8,43	2,74	2,26	17,5%	740* (UFC/100ml)	910* (UFC/100ml)	-23%	s.i	s.i	s.i
Oliveira (2021)	Areia (0,40m) Brita (0,3m)	2,26m³/m²/dia (Filtro BSF)	7,86	7,48	1,17	1,67	-42,7%	Ausente em 50% das amostras	Ausente em 13% das amostras	74%	7,33 (aparente)	3,7 (aparente)	49,5%
Murakami (2011)	Areia (s.i)	1200m³/m²/dia (filtro de pressão)	5,8; 6,8 e 7,3	s.i.	20,8, 19 e 16,5	15,6; 7,0 e 8,5	45,55%	1203,3; 1732,9 e 1203,3 (x 10²)	1203,3; 1413,6 e 866,4 (x 10²)	15,48%	124, 92 e 76 (aparente)	108, 55 e 61 (aparente)	24,29%
Vieira (2013) Após processo de descarte	Areia (0,52m)	s.i	6,05	7,68	2,04	4,96	-142,66%	1800* ^{e****} (UFC/100ml)	1450* (UFC/100ml)	19,44%	s.i	s.i	s.i

Autor(es)	Meio filtrante (dimensão)	Vazão filtrada	pH		Turbidez (uT)			Coliformes Totais (NMP/100ml)			Cor (uH)		
			Água Bruta	Água Filtrada	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de remoção	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de Remoção	Água Bruta	Água Filtrada	Eficiência de remoção
Vieira (2013) Após processo de descarte	Pedrisco (0,19m), Carvão (0,21m) e areia (0,19m)	s.i	6,05	7,68	2,04	1,17	42,73%	1800 ^{*e**} (UFC/100ml)	480 [*] (UFC/100ml)	73,33%	s.i	s.i	s.i
Rocha, Reis e Araújo (2011) Após processo de descarte	Dois filtros de fibra de celulose de 25 micra.	s.i	8,08	7,66	0,91	1,0	-9%	57	34,12	40,14	9,28 (aparente)	10,51 (aparente)	-13,25% (aparente)
Santana (2012)	Areia (s.i); Brita nº 19	s.i	6,59 ^{**}	6,55	2,33 ^{**}	3,01	-29,18%	4,23 ^{**}	11,53	-172,57%	0,94 ^{**}	2,19	-132,98%

Fonte: Autoria própria

* = Amostra única

** = Valor referente a amostra de chuva coletada diretamente da atmosfera, sem passar por um sistema de escoamento de telhados, calhas e/ou dutos.

*** = Amostra no dia da filtração

s.i. = sem informação

Tabela 17: Tratamento por desinfecção - Valores médios

Autor(es)	Tipo de desinfecção	pH		Turbidez (uT)			Coliformes Totais (NMP/100ml)			Cor (uH)		
		Água Bruta	Água tratada	Água Bruta	Água tratada	Eficiência de remoção	Água Bruta	Água tratada	Eficiência de Remoção	Água Bruta	Água tratada	Eficiência de remoção
Rocha, Reis e Araújo (2011)	Cloração (Após filtração)	7,66	7,92	1,0	0,82	18,00%	34,12	<18	100%	10,51	5,53	47,38%
Rocha, Reis e Araújo (2011)	UV (Lâmpada 15w) (Após filtração)	7,66	7,32	1,0	0,62	38,00%	34,12	<18	100%	10,51	6,07	42,25%
Oliveira (2021)	Desinfecção por radiação solar (Após filtração)	7,48	7,19	1,67	0,87	47,90%	Ausente em 87% das amostras	Ausente em 100% das amostras	100%	3,7 (Aparente)	2,47 (Aparente)	33,24%
Santos (2018)	UV (Após descarte) Vazão de 0,041 l/s	6,6	6,52	2,24	1,76	21,43%	280	54	80,71%	19,29	14,71	23,74%
Santos (2018)	UV (Após descarte) Vazão de 0,024 l/s	6,6	6,55	2,24	1,87	16,52%	280	0	100%	19,29	14,38	25,45%
Santos (2018)	UV (Após descarte) Vazão de 0,006 l/s	6,6	6,49	2,24	1,93	13,84%	280	0	100%	19,29	10,56	45,26%
Carvajal (2015)	Desinfecção por radiação solar	6,9	6,6	2,5	0,8	68,00%	10904	2,45	99,97	16,9 (Aparente)	11,9 (Aparente)	25,59%

Fonte: Autoria própria

s.i. = sem informação

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se verificar os resultados obtidos, observou-se que os tratamentos aqui mencionados apresentaram eficiência positiva na qualidade da água, com ressalvas para alguns parâmetros pontuais de determinados estudos de tratamento por filtração relatados.

Em todos os casos, cada tecnologia tem sua utilidade em aplicação. O descarte dos primeiros milímetros oferece um tratamento inicial à água ao remover do sistema aquela que carrega as impurezas acumuladas com o tempo nas superfícies por onde ela passa, o que pode ser verificado através dos resultados apresentados desse tratamento, em que a água do descarte possuía qualidade inferior à água após o descarte.

O processo de filtração exige atenção na montagem do sistema e uma higienização periódica para se manter em atividade. Ele tem potencial para melhorar a turbidez e a cor da água e pode apresentar resultados apreciáveis para a remoção dos coliformes, inclusive fornecer índices de qualidade para uso não potável, pois para o uso potável da água e seu consumo humano, um dos requisitos estabelecidos pelo ministério da saúde é a ausência de coliformes.

Já os processos de desinfecção têm como objetivo a inativação e eliminação completa dos microrganismos patógenos, o que foi obtido em quase todos os casos aqui relatados. É sugerido que a água passe por um tratamento inicial, que melhore os padrões de cor e turbidez, antes do emprego da desinfecção.

Cada um dos métodos, individualmente, é capaz de prover qualidade suficiente para as águas pluviais para usos não potáveis, porém isso estará atrelado aos usos pretendidos e também à qualidade inicial da água precipitada.

Para uso potável e ingestão humana, em locais que não tem acesso ao abastecimento público, é recomendado a aplicação de dois ou mais métodos de tratamento simultaneamente, para que cada um supra as deficiências do método anterior, recomendando também sempre a aplicação da desinfecção na etapa final. Dessa forma é possível que os parâmetros analisados neste trabalho atinjam inclusive os requisitos de qualidades estabelecidos pela portaria 888/2021 do Ministério da Saúde.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15.527/2019. Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos

AGUIAR, A. M. S. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas**. 111p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da UFMG – Minas Gerais, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8DYF5S/1/alexmoural15.pdf>> Acesso em: fevereiro de 2023

AMARAL, L. NUNES, A. P; CASTANIA, J.; LORENZON, C. S.; BARROS, L. S. S; NADER FILHO, A. Uso da Radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, n. 1, p. 45–50, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aib/a/CYDnTQ8dnBmW5ZcRqkSRyBR/?format=pdf#:~:text=Os%20resultados%20obtidos%20evidenciaram%20que,coli%2C%20respectivamente>>. Acesso em: Setembro de 2023

ANDRADE NETO, C. O. de. **Água de Chuva: alternativa para conviver com a seca**. XII Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Engenharia Civil – Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária – Laboratório de recursos hídricos e saneamento ambiental (2014). Disponível em: < <https://docplayer.com.br/1011245-Painel-2-um-desafio-historico-no-nordeste-escassez-de-agua-ou-de-solucoes-agua-de-chuva-alternativa-para-conviver-com-a-seca.html>> Acesso em: Setembro de 2023

BARROSO B. B; WOLFF D. B. Radiação ultravioleta para desinfecção de água. **Disciplinarum Scientia; Série. Ciências Naturais e Tecnológicas**, S. Maria, v. 10, n. 1, p.1-16, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/download/1250/1183> Acesso em: Setembro de 2023.

BASTOS. F. P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. 135p Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/1933/1/Dissertacao%20Fernanda%20Bastos.pdf>> Acesso em: fevereiro de 2023

BOTTO, P. M.; MOTA, B. S. F.; CEBALLOS, O. S. B. Efeito da oxigenação por agitação manual da água na eficiência de inativação de coliformes termotolerantes utilizando luz solar para desinfecção em batelada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n 3, p. 347-352, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/jfs8pB4XB8rJWwkjF9kYKKN/?lang=pt>> Acesso em: Setembro de 2023

BRASIL. Ministério da Saúde - PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Disponível em:<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html> Acesso em: Setembro de 2023

BRANDÃO, C. C. S.; WIECHETECK, G. K.; MELLO, O. M. T.; BERNARDO, L.; GALVIS C., G.; VERAS, L. R. V. **O Uso da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas.** In: XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 1998. O uso da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas. Lima, Peru. v. 1. p. 300-310. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/d5233e67-d2c8-4733-9baa-52ef4b854f61/prod_000998_sysno_1013029...> Acesso em: Outubro de 2023

BRINCK, N. C. P. **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento.** 2009. 393 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-01092009-160800/publico/Tese.pdf>> Acesso em: Setembro de 2023

BRITO, C.N.; ARAÚJO, E. G.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Application of Advanced Oxidation Methods for Water Disinfection. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 5, 2015. Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/viewFile/765/663>> Acesso em: Setembro de 2023

BRITO, L.L.A; CARDOSO, A.B.; SALVADOR, D.P; HELLER, F.L. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: Uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Vol.10 - Nº 4 - out/dez 2005, 307-317. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/ZdmL5dwnwmpk5sx8NrDzs7m/?format=pdfM>> Acesso em: Setembro de 2023

CARVAJAL, R.A.R; **Desinfecção solar da água: Avaliação da técnica “SODIS” aplicadas a águas de chuva, poço e manancial superficial, nas condições climáticas de verão na região de Porto Alegre, RS.** 100p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, RS, 2015. Disponível em:<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147070>> Acesso em: Outubro de 2023

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração.** 2011. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05052011-085250/publico/Duarte_Marco.pdf>. Acesso em: 05 de setembro de 2023

HAGEMANN S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** 140p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, RS, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7715/HAGEMANN,%20SABRINA%20ELICKER.pdf>> Acesso em: Fevereiro de 2022.

HEIJNEN, H.A. **Captação de Água da Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene.** 8º. Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva. Campina Grande – PB, 2012. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/forumdemocratico/LinkClick.aspx?fileticket=Zv8iFiAtyTk%3D#:~>>

:text=A%20qualidade%20da%20%C3%A1gua%20de,natureza%20da%20%C3%A1rea%20de%20capta%C3%A7%C3%A3o.>. Acesso em: Setembro de 2023.

HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. **Avaliação qualitativa de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação na cidade de Ribeirão Preto**. In: 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva, Belo Horizonte, MG. 2007. Disponível em: <<https://dokumen.tips/documents/avaliacao-quantitativa-e-qualitativa-de-um-sistema-de-avaliacao-quantitativa.html?page=5>> Acesso em: Setembro de 2023

HIRT, B. F.; SANTOS, D. S. **Avaliação da filtração de águas pluviais para uso não potável**. 2011. 76p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2011. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8334/2/CT_EPC_2011_2_13.PDF>. Acesso em: 27 de Julho de 2023

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Manual para Captação emergencial e uso doméstico de Água de Chuva**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.ipt.br/banco_arquivos/1200-Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_AGUA_DA_CHUVA.pdf> Acesso em: Setembro de 2023

KERESZTES, S; TATÁR, E; CZÉGÉNY, Z; ZÁRAY, G; MIHUCZ, V G. Study on the leaching of phthalates from polyethylene terephthalate bottles into mineral water. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 458–460, p. 451–458, 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.056. Disponível em: <http://real.mtak.hu/5851/1/Keresztes_STOTEN_2013_REAL.pdf> Acesso em: Novembro de 2023

LIGON, G.; BARTRAM, J. Literature review of associations among attributes of reported drinking water disease outbreaks. **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 6, p. 527, 2016.

MARTINS, R. J. E. **A radiação ultravioleta na desinfecção de águas residuais domésticas**. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2021. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/642946/2/LIVRO%20A%20radia%C3%A7%C3%A3o%20ultravioleta%20na%20desinfec%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1guas%20residuais%20dom%C3%A9sticas.pdf>>. Acesso em: Setembro de 2023

MELLO, O. M. T; **Avaliação do Desempenho da Filtração em Múltiplas etapas no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas**. 136p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília – Distrito Federal, GO, 1998. Disponível em: < Avaliação do Desempenho da Filtração em Múltiplas etapas no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas>. Acesso em: Setembro de 2023

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99–110, mar. 1994, Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/pQy9fHxmbtW7Jx7BkxNjtp/#ModalTutors> Acesso em: Setembro de 2023

MURAKAMI, M.F. **Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário**. 82p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

Disponível em:

<<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4296/3409.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: Agosto de 2023

NADDEO, V.; SCANNAPIECO, D.; BELGIORNO, V.. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 498, p.287-291, ago. 2013.

OLIVEIRA, B.F. **Tratamento de água da chuva através de filtração lenta e desinfecção por radiação solar UV**. 2021. 78p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, RS. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/5131/1/OLIVEIRA.pdf>> Acesso em: Setembro de 2023

PEREIRA, L. A.; VIEIRA, P. F.; BRITO, L. T. L.; GAVA, C. A. T. **Avaliação de tratamento simplificado da água de cisterna: desinfecção solar (SODIS) para consumo humano**. In: Simpósio Brasileiro de Captação e manejo de água de chuva, 9., 2014, Feira de Santana. Água de chuva: segurança hídrica para o século XXI. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107132/1/Lucio.pdf>> Acesso em: Setembro de 2023

PEREIRA NETO, S. **Estudo da potabilidade da água da chuva após processos de filtração e desinfecção**. 2015. 32p. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade Tecnológica do Paraná- Campo Mourão, PR. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6952/3/CM_COEAM_2015_2_27.pdf>. Acesso em: setembro de. 2023.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

ROCHA B. C. C. M.; REIS R. P. A.; ARAÚJO J. V. G. Avaliação de sistema de tratamento de águas de chuva coletadas em telhado de cimento amianto, utilizando filtração e desinfecção por UV e cloro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil** nº 3, V.1. p. 12 a 18. 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/reec/article/download/16818/10234/68892>>. Acesso em: fevereiro de 2023

RUOSO JUNIOR, H.; KEMERICH, P. D. C.; RIGHER, A. A. Filtro de areia para água da chuva com filtro reverso. **Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 7, n. 1, p. 083-098, 2010. Disponível em: <<http://www.engwhere.com.br/empreiteiros/filtro-de-areia-para-agua-da-chuva-com-fluxo-reverso.pdf>> Acesso em: fevereiro de 2023

RYER, A.D.. **Light measurement handbook**. 2. ed.; Newburyport: Technical Publications International Light Inc. 1997. Disponível em: <https://cgvr.informatik.uni-bremen.de/teaching/cg_literatur/ILT-Light-Measurement-Handbook.pdf> Acesso em: Setembro de 2023

SANTANA, N. C. B. **Qualidade das águas de chuva em João Pessoa PB: estudo comparativo com padrões de qualidade para uso residencial**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. Disponível em: < <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5464/1/arquivototal.pdf>> Acesso em: Setembro de 2023.

SANTOS, F. R. **Tratamento da água da chuva por radiação ultravioleta usando energia fotovoltaica**. 2018. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3832/1/CT_PPGEC_M_Santos%2c%20Francielle%20da%20Rocha_2018.pdf> Acesso em: Setembro de 2023

SILVA, D.B. **Ozonioterapia na desinfecção de águas pluviais**. 2018. 47p. Monografia (Pós-Graduação). Universidade Federal De Minas Gerais – Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ICBB-BDASJV/1/monografia____douglas_bambirra_da_silva.pdf> Acesso em: fevereiro de 2023

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Guarulhos 2010. Disponível em: > Acesso em: Fevereiro de 2023

USEPA. – **United States Environmental Protection Agency** (1999). Wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection. Washington: Office of Water (EPA/832/F-99/064). Disponível em: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf> Acesso em: Setembro de 2023

VIEIRA, V. V. **Aproveitamento de águas pluviais: influência do volume de descarte da filtração na qualidade da água**. 2013. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8376/2/CT_EPC_2012_2_06.PDF> Acesso em: Julho/2023

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. V.1, 2ª ed. -Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7676328/mod_resource/content/1/Von%20Sperling%20Vol%201%20_%20introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20qualidade%20de%20%C3%A1gua%20e%20tratamento%20de%20esgoto%20%281%29.pdf> Acesso em: Setembro de 2023.

XAVIER, R. P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. 2010.130f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil,2010. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4045>>. Acesso em: Setembro de 2023

XAVIER, R. P.; NÓBREGA, R. L. B.; MIRANDA P. C.; GALVÃO, C. O.; CEBALLOS, B. S. O. **Avaliação da eficiência de dois tipos de desvio das primeiras águas de chuva na melhoria da qualidade da água de cisternas rurais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 7., 2009, Caruaru. Anais... Caruaru, PE: ABCMAC, 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/32485333-Avaliacao-da->

[eficiencia-de-dois-tipos-de-desvio-das-primeiras-aguas-de-chuva-na-melhoria-da-qualidade-da-agua-de-cisternas-rurais.html](#)> Acesso em: Setembro de 2023