

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

Andressa Paolla Hubner da Silva

**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS
VISANDO SEU APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES**

Santa Maria, RS, Brasil
2018

Andressa Paolla Hubner da Silva

**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS VISANDO SEU
APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Elvis Carissimi
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Rutinéia Tassi

Santa Maria, RS, Brasil
2018

SILVA, Andressa Paolla Hubner
CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS VISANDO
SEU APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES / Andressa Paolla
Hubner SILVA.- 2018.
93 p.; 30 cm

Orientador: ELVIS CARISSIMI
Coorientadora: RUTINÉIA TASSI
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Água da chuva 2. Desinfecção 3. Cloro 4. Ozônio I.
CARISSIMI , ELVIS II. TASSI, RUTINÉIA III. Título.

Andressa Paolla Hubner da Silva

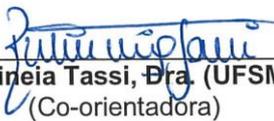
**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS VISANDO SEU
APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 03 de agosto de 2018:



Elvis Garissimi, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Rutineia Tassi, Dra. (UFSM)
(Co-orientadora)



Filipe Fagan Donato, Dr. (UFSM)



William Leonardo da Silva, Dr. (UFN)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e pelas oportunidades que lançou em meu caminho.

À minha família pelo amor incondicional, principalmente a minha mãe que sempre me apoiou e compreendeu minha ausência em muitos momentos;

Ao meu namorado Fabrício, pelo apoio incondicional e pela ajuda na montagem do sistema e na limpeza todas as vezes que foi necessário;

Aos meus orientadores Elvis Carissimi e Rutinéia Tassi, pelo aprendizado, amizade e exemplo profissional. Serei eternamente grata pela oportunidade.

Aos colegas do grupo de pesquisa, em especial Manoel, Matheus, Andressa e Keila pela amizade e compartilhamento de experiências;

Um agradecimento também especial ao Ronaldo, pelas várias vezes que me ajudou, tanto nas análises de laboratório, quanto no empréstimo de materiais, o que tornou essa pesquisa possível;

À todos os professores da universidade, pelos conhecimentos compartilhados;

À Rosa e a Luciane e pela atenção e ajuda concedida em vários momentos;

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino público de qualidade;

À Capes, pela bolsa de mestrado concedida;

À banca avaliadora deste trabalho pela disponibilidade e colaboração.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS VISANDO SEU APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES

AUTORA: Andressa Paolla Hubner da Silva

ORIENTADOR: Elvis Carissimi

CO-ORIENTADORA: Rutinéia Tassi

O grande crescimento da população urbana, atrelado à demanda crescente por água, bem como a iminente perspectiva de sua escassez, vem acarretando em graves pressões sobre os recursos hídricos, fazendo da conservação da água um tema atual e de grande importância. Embora o Brasil possua um dos maiores patrimônios hídricos do planeta, medidas de conservação da água tornam-se necessárias, principalmente nos grandes centros urbanos. A utilização da água pluvial, para satisfazer parte da demanda do consumo residencial, apresenta-se como uma alternativa eficaz, e tem sido praticada em todo o mundo há muitos anos. Porém, dependendo do consumo desejado, pode ser necessário algum tipo de tratamento, para que o uso seja seguro. Neste sentido, neste estudo foi realizada a caracterização das águas pluviais captadas em uma cobertura, e analisadas diferentes possibilidades de tratamento para aproveitamento em edificações residenciais. A água pluvial foi coletada a partir da drenagem da cobertura de uma das águas do telhado de uma unidade habitacional denominada de Casa Popular Eficiente, construída no Campus acadêmico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Santa Maria/RS. O sistema de captação contou com a instalação de calhas, condutores, filtro, dispositivo de descarte e reservatório de armazenagem. A água da chuva foi caracterizada em função de suas características físico-químicas e microbiológicas, e estas associadas às características dos eventos de precipitação, tanto no sistema de descarte, quanto no reservatório. Os tratamentos avaliados consistiram em filtração, descarte dos primeiros dois milímetros da chuva e desinfecção, a fim de obter água com qualidade adequada, e sem riscos à saúde dos usuários. Para isso, o cloro e o ozônio foram testados como agentes desinfetantes e, a partir da qualidade final da água obtida, os possíveis usos não potáveis foram estabelecidos em função de resoluções brasileiras e internacionais. Foi verificada a qualidade final da água obtida após filtração, descarte dos dois primeiros milímetros da precipitação e desinfecção com cloro, em concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5 mg L⁻¹, e com ozônio, em tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos. Os resultados indicaram que há uma tendência de melhoria na qualidade da água da chuva, na medida em que há um menor número de dias sem precipitação antecedente e, também, foi identificada a melhoria na qualidade com aumento do volume da precipitação. Além disso, foi possível evidenciar que o descarte dos primeiros dois milímetros da chuva promoveu uma melhoria nos parâmetros de qualidade da água armazenada no reservatório. Após a etapa de desinfecção, o parâmetro coliformes apresentou número ausente em todas as análises para cloro na concentração de 1,5 mg L⁻¹, e ozonização de 15 minutos.

Palavras-chave: Água da chuva. Desinfecção. Cloro. Ozônio.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION AND TREATMENT OF RAINWATER AIMING AT USING IN BUILDINGS

AUTHOR: Andressa Paolla Hubner da Silva
ADVISER: Elvis Carissimi
CO-ADVISER: Rutinéia Tassi

The rapid growth in urban population, alongside with the growing demand for water, as well as the imminent prospect of its scarcity, has led to serious pressures on water resources, making water conservation a current topic of great importance. Although Brazil has one of the largest water resources on the planet, water conservation measures are necessary, especially in large urban areas. The use of rainwater, in order to reach part of the demand for residential consumption, is an effective alternative and has been practiced all over the world for many years. However, depending on the desired consumption, some types of treatment may be necessary for safe use. Therefore, this study characterized the rainwater captured in roof tops and different treatment possibilities were analyzed for use in residential buildings. Rainwater was sampled from the roof-water drainage of one of the housing units called Efficient Popular House, built at the Federal University of Santa Maria (UFSM) in Santa Maria / RS. The system of capture included the installation of gutters, conductors, filter, first flush and reservoir. Rainwater was characterized according to its physical-chemical and microbiological features, and these are associated to the characteristics of precipitation events, both in the disposal system and in the reservoir. The evaluated treatments consisted of filtration, discard of the first two millimeters of rainfall, and disinfection in order to obtain quality water, without risks to users' health. For this, chlorine and ozone were tested as disinfectants agents and, based on the final quality of the obtained water, the possible non-drinkable uses were established according to Brazilian and international resolutions. The final quality of the water obtained after filtration, discard of the first two millimeters of precipitation and chlorine disinfection at 0.5, 1.0 and 1.5 mg L⁻¹, and with ozone at 5, 10 and 15 minutes. Results indicated that there is a tendency to improve rainwater quality, as there are a lower number of days with no previous precipitation, and also the improvement in quality with increasing volume precipitation intensity was identified. In addition, it was possible to show that the first two millimeters of discarded rainfall improved in the quality water parameters stored in the reservoir. After the disinfection step, the coliform parameter was absent in all analyzes for chlorine at the concentration of 1.5 mg L⁻¹, and ozonization of 15 minutes.

Keywords: Rainwater. Disinfection. Chlorine. Ozone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema dos componentes do sistema de água pluvial centralizado	22
Figura 2 - Representação das estruturas de ressonância da molécula de ozônio	35
Figura 3 - Localização da edificação do estudo	45
Figura 4 - Fachada Norte e Oeste da casa popular eficiente localizada na UFSM ...	46
Figura 5 - Fachada Norte e Leste da casa popular eficiente localizada na UFSM	46
Figura 6 - Planta baixa da habitação	47
Figura 7 - Área de coleta da água pluvial - Lado Oeste	48
Figura 8 - Modelo experimental coleta de águas pluviais: filtro, dispositivo de descarte para 2 mm da precipitação e reservatório de armazenamento com capacidade de 200L.	49
Figura 9 - Filtro para retenção de partículas grosseiras	49
Figura 10 - Esquema do reservatório de armazenamento	51
Figura 11 - Teste de desinfecção com cloro.....	54
Figura 12 - Teste de Desinfecção com ozônio usando o aparelho marca Enaly, modelo ZO-30N.	55
Figura 13 – Materiais e partículas retidas no filtro instalado no sistema	60
Figura 14 - Valores de pH no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado.....	61
Figura 15 - Valores de condutividade elétrica no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado	62
Figura 16 - Valores de cor aparente no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado.....	63
Figura 17 - Número Mais Provável de coliformes totais para cada evento de precipitação	63
Figura 18 – Valores de cor aparente encontrados nos eventos avaliados considerando o volume de precipitação	65
Figura 19 – Valores de cor aparente encontrados nos eventos avaliados considerando o número de dias consecutivos sem chuva antecedente ...	66
Figura 20 – Número Mais Provável de coliformes totais nos eventos avaliados considerando o volume de precipitação	66
Figura 21 – Número Mais Provável de coliformes totais nos eventos avaliados considerando número de dias consecutivos sem chuva antecedente.....	67
Figura 22 - Cor aparente em função das variáveis quantitativas da precipitação do eventos avaliados.....	69
Figura 23 - Coliformes totais em função das variáveis quantitativas da precipitação do eventos avaliados.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de água médio per capita e por economia nas regiões geográficas do Brasil	15
Tabela 2 - Estimativa do consumo interno de água residencial no Brasil	16
Tabela 3 - Características físico-químicas das águas pluviais	28
Tabela 4 - Qualidade da água pluvial na UFSM.....	29
Tabela 5 - Parâmetros de qualidade de água pluviais para usos restritivos não potáveis segundo a NBR 15527/2007	39
Tabela 6 - Padrões de qualidade em função da classificação dos usos segundo a NBR 13969/1997	40
Tabela 7 - Padrões estabelecidos pelo Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações em função da classe de reuso	41
Tabela 8 - Padrão de qualidade adotado pela US. EPA.	42
Tabela 9 - Padrão de qualidade para uso não potável da água pluvial no estado do Texas.....	43
Tabela 10 - Parâmetros de qualidade para a água pluvial no Reino Unido	43
Tabela 11 - Variáveis climatológicas utilizadas e características dos instrumentos de medição.....	51
Tabela 12 - Resumo das metodologias das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	52
Tabela 13 – Condições climatológicas e características quantitativas da água pluvial por evento analisado	57
Tabela 14 - Características qualitativas da água pluvial por evento analisado	59
Tabela 15 - Características quantitativas e qualitativas dos eventos avaliados em ordem crescente de volume de precipitação	68
Tabela 16 - pH das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção	72
Tabela 17 - Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção	73
Tabela 18 – NMP de coliformes totais em 100mL das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção com cloro e respectivos percentuais de remoção	74
Tabela 19 - NMP de coliformes totais em 100mL das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção com ozônio e respectivos percentuais de remoção	74
Tabela 20 - Comparação dos parâmetros avaliados as normas: NBR 15527/2007 e NBR 13969/1997, ao manual: ANA, FIESP e SindusCon-SP/2007 e aos guias internacionais: US. EPA/2004, TEXAS/2006 e BS 8515/2009	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	CONSUMO DE ÁGUA	14
3.2	CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	17
3.3	SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS..	18
3.3.1	Componentes do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais .	20
3.3.2	Projeto e dimensionamento.....	23
3.3.3	Benefícios do sistema de aproveitamento de água pluvial.....	25
3.4	CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	26
3.4.1	Características físico-químicas e microbiológicas	27
3.5	TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	31
3.5.1	Métodos de desinfecção	32
3.5.1.1	Cloro.....	33
3.5.1.2	Ozônio.....	34
3.5.1.3	Radiação com lâmpadas Ultravioleta	36
3.5.1.4	Radiação Solar.....	36
3.6	PARÂMETROS NORMATIVOS E DE REGULAMENTAÇÕES ACERCA DO APROVEITAMENTO PLUVIAL NO BRASIL	37
3.7	PARÂMETROS DE QUALIDADE	39
4	METODOLOGIA	45
4.1	LOCAL DE ESTUDO.....	45
4.1.1	Sistema de coleta de águas pluviais	48
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL	51
4.3	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL	52
4.3.1	Análise estatística	53
4.4	TRATAMENTO POR DESINFECÇÃO	53
4.4.1	Desinfecção por cloro.....	54
4.4.2	Desinfecção por ozônio.....	54
4.4.3	Análise estatística	56
4.5	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS APÓS DESINFECÇÃO À PADRÕES DE QUALIDADE	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL	57
5.2	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL	58
5.3	RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS	64
5.3.1	Cor	64
5.3.2	Coliformes	66
5.4	DESINFECÇÃO	71
5.5	COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE OBTIDOS COM OS LIMITES ESTABELECIDOS PARA CADA USO	75
6	CONCLUSÕES	81
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS.....	84

APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DO OZONIZADOR ENALY, MODELO ZO-30N.....	92
---	----

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água doce disponível no planeta é essencial para a vida, porém é um dos recursos que têm sido mais explorado nos últimos tempos. Com o aumento populacional e o crescente padrão de vida, a demanda por água será insustentável no futuro previsível (WANDERS e WADA, 2015). Além disso, muitas vezes a água é encontrada na natureza de forma degradada, dificultando ainda mais seu uso para consumo humano, o que torna a escassez de água uma realidade mundial não só por indisponibilidade quantitativa, mas também qualitativa.

Nas últimas décadas, a sociedade tem estado em um caminho de crescente conscientização sobre o impacto da ocupação humana no planeta. A necessidade de utilização e gestão sustentáveis dos recursos naturais é evidenciada pela sua contínua deterioração em todo o mundo (HUANG, YEH e CHANG, 2010). Além disso, à medida em que a escassez de água ocorre mais frequentemente, a procura por fontes alternativas, e formas para promover o seu uso racional são proeminentes, não só para atenuar problemas em regiões de escassez, mas também para assegurar um abastecimento de água estável e futuro (GHISI, MONTIBELLER e SCHMIDT, 2006).

Sendo assim, o uso de tecnologias descentralizadas para abastecimento de água vem aumentando, diminuindo a demanda por água potável fornecida pelas companhias de saneamento, e liberando suprimentos, de forma a aumentar a eficiência no uso da água, assegurando sua disponibilidade e reduzindo os custos com água potável.

Uma possível solução para mitigar o impacto sobre os recursos hídricos é a coleta e o aproveitamento da água da chuva no ponto de uso (HELMREICH e HORN, 2009). Assim, do ponto de vista estratégico, atuar no controle da demanda residencial é uma excelente alternativa para atenuar o estresse hídrico, visto que o consumo de água residencial pode constituir mais de 50% do consumo de água em áreas urbanas (GONÇALVES, SIMÕES e WANKE, 2010).

Além disso, as cidades brasileiras que passaram pela implantação de Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU) vêm exigindo que novos empreendimentos apresentem sistemas de controle do aumento de vazões gerados pela impermeabilização do solo, sendo que a instalação de reservatórios para armazenamento e aproveitamento da água da chuva são alternativas sugeridas. Porém, aspectos práticos em relação aos padrões de qualidade, necessidade de

tratamento, monitoramento e manutenção dos sistemas, para a efetiva utilização da água pluvial, são limitação acerca do tema.

A água da chuva, coletada em edificações, normalmente é usada para fins não-potáveis, como: descargas de bacia sanitária, rega de jardins, lavagem de carros e calçadas, o que contribui significativamente para a diminuição do consumo de água residencial. Em geral, devido ao risco de contaminação por micro-organismos e várias substâncias químicas, a água da chuva exige algum tipo de tratamento antes da sua utilização, dependendo principalmente do uso pretendido, e da qualidade da água da chuva coletada em telhados ou outras superfícies (HELMREICH e HORN, 2009).

A primeira etapa do tratamento, geralmente envolve o processo de filtração, onde os sólidos mais grosseiros são retidos, e para que essa água possa ser utilizada sem riscos de contaminação e disseminação de doenças aos usuários, é necessário complementar com tratamento químico via desinfecção. Segundo Mintz et al. (2001), entre os diferentes desinfetantes, o cloro livre é o mais simples, mais amplamente utilizado, e o mais acessível, porém a cloração produz subprodutos prejudiciais à saúde, como os trihalometanos (THMs).

Nesse contexto, pesquisas científicas vem sendo desenvolvidas a fim de adequar métodos alternativos de desinfecção, como a utilização do ozônio (O_3), que tornou-se notório nas últimas décadas em função da implementação de padrões cada vez mais restritivos em relação aos subprodutos da cloração.

O ozônio é um gás incolor, de odor característico, gerado a partir de oxigênio quando submetido a descargas elétricas de alta tensão (KUNZ et al., 2002). Outras tecnologias básicas usadas para melhorar a qualidade microbiológica da água são a desinfecção solar da água (SODIS), que usa radiação solar para inativar patógenos, e a desinfecção por lâmpadas de radiação UV.

Neste contexto, o objetivo principal deste estudo constituiu em comparar distintas alternativas de tratamento da água pluvial, visando a obtenção de uma água com qualidade segura para determinados usos. Assim, a água pluvial para análise foi coletada de uma unidade habitacional denominada Casa Popular Eficiente localizada na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, campus Santa Maria, e a proposta de tratamento foi filtração grosseira, descarte dos dois primeiros milímetros e desinfecção, a partir de cloro, em diferentes concentrações, e ozônio, em diferentes tempos de contato.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar métodos de tratamento para águas pluviais coletadas de um sistema experimental instalado em uma edificação residencial construída na Universidade Federal de Santa Maria em Santa Maria/RS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- I. Caracterizar qualitativamente, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas as águas pluviais;
- II. Caracterizar quantitativamente as variáveis hidroclimatológicas para os eventos de chuva avaliados;
- III. Correlacionar as características de qualidade da água coletada às características do evento de chuva;
- IV. Avaliar o uso da desinfecção para tratamento de águas pluviais, a partir dos desinfetantes cloro e ozônio, considerando diferentes tempos de contato, para desinfecção com ozônio, e diferentes concentrações, para desinfecção com cloro;
- V. Verificar as possibilidades de uso das águas resultantes do processo de tratamento, de acordo com normas, resoluções e guias de boas práticas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONSUMO DE ÁGUA

A disponibilidade de água é variável no tempo e no espaço, em razão das condições de cada região, além de ser afetada pelas atividades humanas, como demanda excessiva e problemas de poluição. Assim, a produção de água com qualidade, dentro dos padrões de potabilidade, torna-se cada vez mais onerosa, o que exige maior atenção quanto às prioridades do uso dos recursos hídricos para as diferentes finalidades (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

A água potável é destinada para atender muitas necessidades humanas, como: preparação de alimentos, higiene pessoal, irrigação e limpeza. Porém, muitos países estão tendo problemas com a falta desse recurso e o consumo tem aumentado mais que a taxa de crescimento da população.

Atualmente, o consumo mundial de água doce é seis vezes maior do que em 1900, embora a população mundial não tenha crescido na mesma proporção. O alto padrão de consumo hídrico está associado, sobretudo à irrigação (processo que ocasiona maior emprego da água doce), a indústria apresenta-se em segundo lugar no uso, e o terceiro consumo maior está relacionado ao uso doméstico. No entanto, há estimativas de que o consumo industrial duplicará até 2025 e que haverá um aumento de até quatro vezes na emissão de poluentes industriais nos corpos de água (SOECO/MG, 2009).

Embora o Brasil detenha uma das maiores reservas de água doce do mundo, muitas cidades brasileiras vêm passando por crises de abastecimento, das quais não escapam nem as situadas na região norte, que contém quase 80% das descargas de água de rios (REBOUÇAS, 2003).

Nas regiões brasileiras densamente povoadas, parte da água já perdeu a característica de recurso natural renovável em razão do crescimento dos processos de urbanização, industrialização e produção agrícola que, na maioria das vezes, não apresentam estruturas em termos de preservação da água e do ambiente.

A urbanização é um processo que tende a aumentar de maneira drástica a demanda de água para o consumo humano, e os edifícios residenciais, comerciais e públicos são os principais consumidores (GONÇALVES, SIMÕES e WANKE, 2010).

Portanto, a incorporação de práticas sustentáveis em edifícios é uma tendência crescente, já que proporciona muitos benefícios à sociedade e aos seus aspectos socioeconômicos e ambientais.

O consumo de água destinada para consumo humano pode ser classificada como potável e não potável, incluindo usos internos e externos. A água potável é utilizada para beber, preparar alimentos e higiene pessoal, e a não potável pode ser destinada a usos menos nobres, como, irrigação de jardins, lavagem de carros, e descarga sanitária.

A quantidade de água consumida por pessoa e a variação de cada tipo de uso em uma residência depende de muito fatores, a incluir diferenças locais, comportamentais e econômicas. Assim, o conhecimento da demanda nos pontos de utilização constitui uma ferramenta importante para determinação da priorização das ações de conservação da água em edificações.

Por exemplo, um estudo realizado pelo Ministério das Cidades dentro do Programa de Modernização do Setor de Saneamento - PMSS (2004) apresenta, no diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto, o consumo médio per capita e por economia em cada região geográfica do Brasil (Tabela 1). O consumo médio no Brasil é de 141,0 L dia⁻¹ per capita e de 14,1m³ por mês por economia.

Tabela 1 - Consumo de água médio per capita e por economia nas regiões geográficas do Brasil

Região	Consumo médio de água	
	Por habitante (L hab.dia ⁻¹)	Por economia (m ³ economia.mês ⁻¹)
Norte	111,7	16,1
Nordeste	107,3	12,5
Sudeste	174,0	15,9
Sul	124,6	11,7
Centro-Oeste	133,6	13,4
Brasil	141,0	14,1

Fonte: Adaptado de PMSS (2004).

May (2009) reuniu o resultado de algumas pesquisas que estimaram o uso do consumo residência de água no Brasil. A Tabela 2 reúne informações obtidas pela

Universidade de São Paulo - USP em 2009 e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT em 2007.

Tabela 2 - Estimativa do consumo interno de água residencial no Brasil

PONTO DE UTILIZAÇÃO	PORCENTAGEM DE CONSUMO	
	USP	IPT
Bacia sanitária	29%	5%
Chuveiro	28%	54%
Lavatório	6%	7%
Pia da cozinha	17%	17%
Tanque	6%	10%
Máquina de lavar roupas	5%	4%
Máquina de lavar louças	9%	3%

Fonte: Adaptado de May (2009).

Embora apresente variações, pois o consumo varia para cada localidade, considerando diferenças climáticas, fatores socioeconômicos, equipamentos hidráulicos e tipologia das edificações, a bacia sanitária e o chuveiro, em conjunto, correspondem aos principais consumos residências de água.

A grande variação apresentada na Tabela 2, referente ao consumo na bacia sanitária, deve-se ao fato de que a pesquisa realizada pelo IPT levou em consideração somente a utilização de caixas acopladas com capacidade de 6 a 8 L por descarga (MAY, 2009).

Embora não seja apresentado na Tabela 2, os consumos externos também devem ser considerados, pois uma grande demanda de água é utilizada em muitas residências para lavagem de calçadas e irrigação de jardins. Segundo DeOreo, Lander e Mayer (1996), esses consumos podem chegar até 78% do consumo total de uma residência. Como exemplo, em apenas uma lavagem de carro pode consumir até 150 litros de água (TOMAZ, 2003).

O consumo de água residencial constitui grande parte da demanda urbana, sendo assim a prática do uso racional e conservação da água nesse meio deve ser incentivada, a fim de minimizar a escassez desse recurso, principalmente nos centros urbanos.

3.2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

A água é um importante recurso natural indispensável a vida e a manutenção do meio ambiente e é utilizada nas mais diversas atividades industriais, agrícolas, domésticas, recreativas e culturais, porém o seu uso desordenado vem tornando esse recurso cada dia mais escasso.

Ligado a isso, a água potável deve ser acessível a todos sem comprometer a sustentabilidade e abastecimento (em termos de quantidade e qualidade), sendo um grande desafio em vista do crescimento populacional. Segundo a Organização das Nações unidas (ONU) (UN, 2012) espera-se um aumento da população mundial de aproximadamente 70% até 2050.

O crescimento das áreas urbanas exige um aumento contínuo da quantidade de água para abastecimento e, como a maioria das fontes urbanas e dos aquíferos são muito explorados ou poluídos, o tratamento e a distribuição desta muitas vezes é prejudicado. Assim, conflitos em relação ao uso dos recursos hídricos têm surgido em muitas regiões do mundo, confrontando seus diferentes usos: abastecimento humano, indústria, irrigação e pecuária, hidroeletricidade (especialmente em regiões semiáridas ameaçadas por secas recorrentes) (DE JONG et al., 2013).

Desta forma, a preocupação em torno do que deve ser feito para que a água seja melhor utilizada e a busca por alternativas, a fim de atenuar seu uso intensivo, levou à diversificação de soluções acerca dos recursos hídricos, uma vez que a água de alta qualidade não é necessária para as atividades não potáveis que compreendem grande parte da demanda de água de um edifício (CAMPISANO e MODICA, 2010).

A medida que a escassez de água torna-se mais frequente, a utilização racional e a procura por fontes alternativas se tornam necessárias para assegurar o abastecimento humano. Neste contexto, qualquer tecnologia de conservação implantada localmente para suprir uma determinada quantidade de água com qualidade aceitável é bem recebida. A conservação da água engloba qualquer ação que busque a redução nas perdas, desperdício ou uso racional desse recurso.

O uso de fontes alternativas de água nas edificações constitui uma medida eficiente para conservação da água, e pode representar uma economia de água potável entre 15 a 30%. Entre os usos mais viáveis para as águas de fontes alternativas são descargas sanitárias, lavagem de calçadas e carros, e irrigação de jardins (ABES, 2006).

O aproveitamento da água pluvial para diversos fins, como fonte alternativa, vem ganhando destaque em todo o mundo, pois se trata de um sistema simples e eficaz, capaz de diminuir a demanda por água potável, atenuando a crescente escassez de água para consumo. Além disso, os padrões urbanos estão evoluindo em direção a cidades mais sustentáveis.

As técnicas de captação e uso de águas pluviais são alternativas sustentáveis, que além de proporcionar a conservação dos recursos hídricos, possibilitam a minimização de inundações e enchentes, pois o volume de água que era escoado superficialmente é reduzido. Muitas tecnologias e projetos vêm sendo desenvolvidos e praticados, a fim de minimizar esses efeitos e principalmente possibilitar a redução do consumo de água potável.

3.3 SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAS

O uso da água pluvial possui um longo histórico no mundo inteiro e vem crescendo de forma relevante. Usada em muitas sociedades como um valioso recurso para diversos fins, é considerada como um método simples e eficaz, capaz de atenuar a crescente demanda de água potável. Contudo, a sua utilização está vinculada a um armazenamento, em volume suficiente, que possa suprir a demanda de uso. A utilização da água pluvial advém de mais de 2.000 anos, período em que a população já captava a água para utilização na agricultura, para a dessedentação de animais e para fins domésticos (TOMAZ, 2003).

Embora esse sistema de aproveitamento seja provavelmente a técnica mais antiga para lidar com a necessidade de abastecimento de água, nas últimas décadas, como resultado de novas possibilidades tecnológicas, muitos países estão apoiando a implementação moderna desta prática para enfrentar diversos problemas relacionados ao crescente aumento de demanda de água associado às mudanças climáticas, ambientais e sociais (AMOS, RAHMAN e GATHENYA, 2016).

Hoje, o aproveitamento de água pluvial surge como uma alternativa para diminuir os problemas com a escassez e contribuir para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.

A exemplo da Holanda, onde a água é coletada, armazenada e utilizada principalmente na irrigação de lavouras e fontes ornamentais, a fim de prevenir a cheia de canais que rodeiam o país situado abaixo do nível do mar. Na Alemanha, a coleta

e aproveitamento de águas pluviais, auxiliou na solução de problemas ocasionados pela péssima qualidade de água distribuída (PNUMA, 2001). No Reino Unido, o incentivo ao uso de águas pluviais tem sido intensificado em função da economia gerada de água potável que pode ser substituída (FEWKES, 1999).

Países industrializados, como Japão e Alemanha, estão seriamente empenhados em prol do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis. Outros países como Estados Unidos e Singapura, também estão desenvolvendo pesquisas sobre esses sistemas com o mesmo fim (MAY, 2004).

No Brasil, as cidades que passaram pela implantação de Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), vem exigindo que novos empreendimentos apresentem sistemas de controle para o aumento de vazões gerados pela impermeabilização do solo, sendo que, a instalação de reservatórios para armazenamento e aproveitamento da água da chuva são alternativas sugeridas.

Como exemplo, a cidade de Curitiba – PR, em 2003, instituiu a lei municipal nº 10.785 que cria na cidade o Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações PURAE, com o objetivo de estabelecer medidas que promovam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água pluvial em novas edificações. Na cidade de Porto Alegre, a prefeitura municipal criou o Decreto N ° 15.371, de 17 de novembro de 2006 que limita o lançamento de vazões na rede de drenagem, como uma forma de obrigar o empreendedor a controlar o excedente de vazões geradas em seu espaço. A cidade São Paulo – SP, com a lei nº 14.018 de 2005, instituiu um programa com os mesmos objetivos do PURAE, adicionando a opção de reuso nas edificações e a obrigatoriedade em todos os bens imóveis, a serem adaptados num prazo de 10 anos. Ainda, em 2007, o estado de São Paulo promulgou a lei estadual nº 12.526, que torna obrigatório à implantação de sistemas para captação de água da chuva em áreas com impermeabilização superior a 500 m².

A escassez de água associado a necessidade de aumento de suprimento de água, não é a única razão que motivou a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Esse sistema pertence também as abordagens de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) ou Sistema de Drenagem Sustentável (SuDS) de retenção, e pode ser adotado como uma medida complementar para reduzir a frequência, picos e volumes de escoamento urbano se os sistemas forem adequadamente projetados. A retenção do escoamento superficial em áreas urbanas

por sistemas de coleta de águas pluviais em tanques, ou outras tecnologias de controle na fonte, podem ajudar na redução dos impactos, provenientes da crescente urbanização, sobre os sistema de drenagem de águas pluviais (BRODIE, 2008; BURNS et al., 2015).

Nas áreas urbanas, o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais consiste na concentração, coleta, armazenamento e tratamento da água da chuva. Inicialmente a água é coletada de áreas impermeáveis (telhados, calçadas, terraços), em seguida é tratada e armazenada em reservatório de acumulação para posterior utilização.

Irrigação, jardinagem e paisagismo são usos tradicionais para água pluvial coletada, outras utilizações não potáveis consideradas são, utilização para descarga em bacias sanitárias e lavagem superficial de edifícios, o que compõem uma grande parte da demanda de água de edifícios urbanos.

O uso da água da chuva pode promover economias significativas da água potável nas residências em diversos países. Na Alemanha, por exemplo, um estudo realizado por Herrmann e Schmida (1999) mostrou que o potencial de economia de água potável em uma casa pode variar de 30 a 60%, dependendo da demanda e da área de captação do telhado. No Reino Unido, Fewkes (1999) monitorou o desempenho de um coletor de água da chuva instalado em uma casa em Nottingham e encontrou uma economia média de água de aproximadamente 57%. No Brasil, um estudo realizado por Marinoski, Ghisi e Gomez (2004) avaliou um prédio residencial de vários andares composto por seis blocos localizados na cidade de Florianópolis-SC, observando um potencial de economia de água potável de cerca de 40%. Ainda, Ghaffarianhoseini et al. (2016) sugeriram que estes usos podem alcançar entre 80 e 90% do consumo total de água nas residências familiares, comprovando os significativos benefícios de conservação da água associados à implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

3.3.1 Componentes do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais

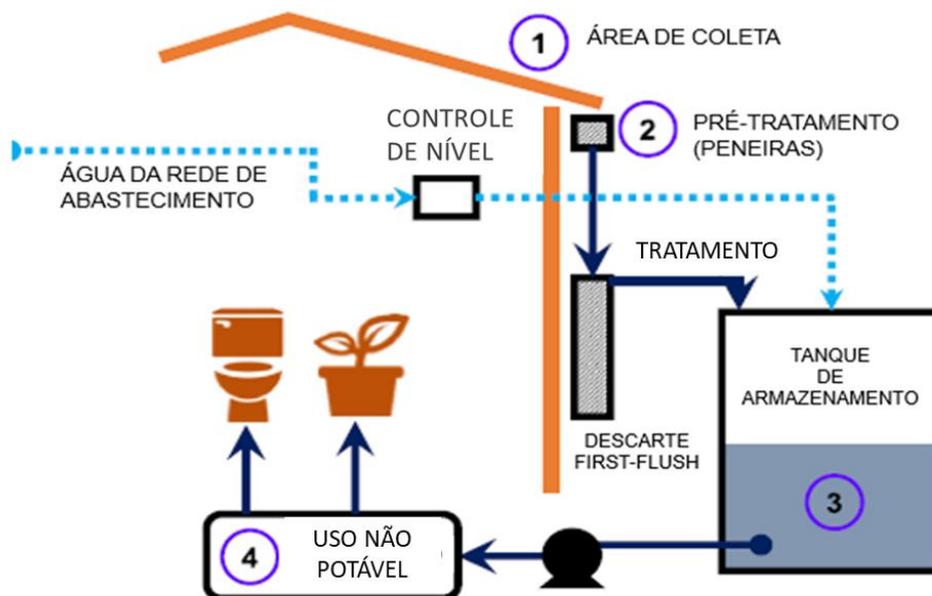
O sistema de coleta e aproveitamento de água pluvial é formado pelos seguintes componentes (MAY, 2004):

- Área de coleta: área utilizada para a coleta da água pluvial, geralmente telhado ou laje da edificação. Também pode-se utilizar áreas impermeáveis como pátios, calçadas e estacionamentos.
- Peneiras: utilizadas para evitar o entupimento dos condutores que direcionam a água pluvial até o reservatório. Um sistema de peneiras deve ser introduzido para retirada de folhas e galhos.
- Condutores: sistema de calhas e condutores horizontais e verticais com a função de direcionar a água até o reservatório.
- Sistema de descarte da água de limpeza do telhado: como nas áreas impermeáveis de coleta de águas pluviais geralmente há deposição de materiais orgânicos, é recomendado o descarte da porção inicial de chuva (*first-flush*) que fará a limpeza da superfície.
- Armazenamento: sistema composto por reservatório(s) com o objetivo de armazenar as águas pluviais a fim de atender em partes a demanda por água no interior do edifício e usos externos. O reservatório deve ser projetado a partir da disponibilidade pluviométrica local, da área de coleta e para atender as necessidades de usos pretendidos.
- Tratamento: o sistema para tratamento das águas pluviais depende principalmente da qualidade da água bruta e do seu uso pretendido.

Além desses elementos, dependendo do destinação da água pluvial, se necessário diariamente ou não, um sistema de ligação com a água de abastecimento potável deve ser previsto, a fim de evitar falhas no sistema nos dias em que a precipitação não for suficiente para suprir a demanda.

A Figura 1 mostra um sistema genérico de coleta e tratamento de águas pluviais, onde a água pode ser usada para suprir a demanda de irrigação do jardim e descarga sanitária.

Figura 1 – Esquema dos componentes do sistema de água pluvial centralizado



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

Quanto a área de coleta, os telhados podem ser construídos de diversos materiais, como, telha cerâmica, fibrocimento, zinco, entre outros, sendo que sua identificação é importante para definição coeficiente de escoamento superficial. Farreny et al. (2011) afirmam que, os telhados lisos e inclinados com ângulos de inclinação mais altos, podem colher até 50% mais água da chuva do que os telhados planos e ásperos, e geralmente fornecem água de melhor qualidade.

O descarte dos primeiros milímetros de chuva, constitui uma importante fase do sistema, pois remove as partículas que se acumulam nos telhados. Além disso, o evento de precipitação anterior interfere na deposição acumulada e portanto, na concentração de poluentes do escoamento superficial. O escoamento inicial da água sobre o telhado exibe um primeiro efeito de descarga, onde a superfície é “lavada” e as concentrações de poluentes e contaminantes diminuem normalmente à medida que a precipitação continua.

Após o desvio da primeira descarga, a água da chuva é armazenada. O projeto do reservatório de armazenamento é um parâmetro fundamental que afeta tanto a qualidade quanto a quantidade de água da chuva armazenada, sendo que, devem ser previstos coberturas e telas nos tanques. Recomenda-se um tanque de água da chuva

firmemente selado para melhorar a qualidade microbiológica e evitar a criação de mosquitos (GOULD e NISSEN-PETERSEN, 1999).

Um ponto crítico do projeto desse sistema é o tipo e o tamanho do tanque a ser usado para tal armazenamento. Embora o uso não potável seja esperado na grande maioria dos casos, a destinação dessa água e a demanda necessária desempenham um papel importante na seleção do tanque.

Os reservatórios de acumulação podem ser do tipo apoiado, enterrado ou elevado, dependendo das necessidades exigidas. Estes poderão ser construídos por diversos materiais, desde plásticos, fibra de vidro, concreto, ferro-cimento, alvenaria, madeira, ferro galvanizado, entre outros. A escolha do material construtivo é de grande importância, pois influencia no custo do sistema e na qualidade da água armazenada.

O mercado oferece uma variedade de tanques de "barris chuva" acima do solo (normalmente recipientes de plástico ou metal de alguns metros cúbicos de capacidade) tipicamente usados para fins de irrigação e controle de escoamento em edifícios residenciais unifamiliares, ou abaixo do solo (cisternas de concreto), normalmente de maior tamanho. Porém, a experiência mostra que, embora os tanques de armazenamento de alta capacidade possam aumentar os benefícios desses sistemas, o espaço limitado pode muitas vezes impedir sua instalação (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2016).

De um modo geral, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais apresentam-se como uma forma de conservação da água apresentando baixo custo, fácil manuseio e viabilidade econômica favorável. Porém, devido ao risco de contaminação por micro-organismos e substâncias químicas, a água pluvial exige algum tipo de tratamento antes de sua utilização.

3.3.2 Projeto e dimensionamento

No Brasil, as instalações prediais de águas pluviais, devem ser projetadas atendendo a Norma Brasileira da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 10844 de 1989, sendo que, o sistema de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável e os pontos de consumo devem ser de uso restrito e identificados.

Quanto aos sistemas de aproveitamento da água pluvial, as diretrizes de projeto e dimensionamento estão presentes na ABNT NBR 15.527 (2007): Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Essa norma dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e define a concepção do projeto do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais deve atender os requisitos da ABNT NBR 10844 (1989) e da ABNT NBR 5626 (1998) - Instalação Predial de Água Fria.

A NBR 15527 (2007) trata exclusivamente do aproveitamento de coberturas, com referência aos equipamentos de coleta e condução da água de chuva. A norma estabelece que as calhas e condutores horizontais e verticais devem atender a ABNT NBR 10844 (1989), e determina que devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos e para descarte inicial da água de chuva. Para os dispositivos de descarte inicial de chuva, sugere-se o uso de dispositivos automáticos, e recomenda o descarte de dois milímetros de precipitação inicial quando não houver a disponibilidade de dados para o dimensionamento.

A norma apresenta ainda, em caráter informativo, no seu ANEXO A, métodos de cálculos para dimensionamento de reservatórios, ficando a critério do projetista a opção pelo método a ser utilizado desde que devidamente justificado, sendo que, o volume dos reservatórios deve ser fundamentado nas boas práticas da engenharia e baseado em critérios técnicos, econômicos e ambientais.

Segundo Amorim Pereira (2008), o reservatório de um sistema de aproveitamento da água de chuva não pode permanecer ocioso por longos períodos de tempo, assim não pode provocar o desperdício da água de chuva em detrimento ao atendimento ao consumo.

O Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações, elaborado em conjunto pela ANA (Agência Nacional das Águas), FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e SindusCon (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo), apresenta uma metodologia básica para projetos de coleta, tratamento e uso das águas pluviais. Essa metodologia divide o projeto nas seguintes etapas: Determinação da precipitação média anual; Determinação da área de coleta; Projeto dos sistema complementares (tubulações, grades, filtros, ect.); Projeto do reservatório de descarte da primeira descarga de água da chuva; Escolha do tratamento adequado; Projeto da cisterna; Caracterização da qualidade da água

pluvial, e; Identificação dos usos possíveis a partir da qualidade final da água coletada (ANA, FIESP e SINDUSCON-SP, 2007).

3.3.3 Benefícios do sistema de aproveitamento de água pluvial

A utilização da água da chuva é uma solução possível que oferece várias vantagens sobre os sistemas comuns de distribuição de água municipal, sendo a mais evidente a redução da demanda dos consumidores pelo abastecimento de água (LEE et al., 2010). Além de propiciar a conservação dos recursos hídricos, sobre o ponto de vista de qualidade ambiental e social, possibilita a redução do escoamento superficial resultante da impermeabilização do solo, diminuindo a carga nos sistemas de coleta pluviais, o que, conseqüentemente, diminui o risco de alagamentos e enchentes, pois, a água que seria escoada, transforma-se em água recolhida para satisfazer determinados consumos. Para isso, é necessário que estes sistemas sejam bem elaborados e executados de forma prática e simples para que o seu funcionamento seja eficiente (PETERS, 2006).

Além disso, os sistemas de aproveitamento de água pluvial diminui a demanda de água potável, fornecendo subsídios para quando esse consumo for realmente necessário. A economia de água potável é tão significativa que influencia na redução dos custos referente ao consumo de água.

Em áreas densamente povoadas, boa parte do escoamento pode ser reduzido se todos os consumidores adotarem sistemas de aproveitamento de água pluvial (LEE et al., 2010). Ainda, um escoamento reduzido ajuda a prolongar a vida dos sistemas de drenagem e possibilita a redução da erosão local.

São muitos os benefícios obtidos com a instalação desses sistemas, como: controle de escoamento, prevenção de inundações, conservação de água potável, diminuição na demanda de água potável e educação ambiental. Porém, qualquer que seja a forma de reutilização empregada é fundamental a observância de alguns princípios básicos que orientam esta prática: preservação da saúde dos usuários, preservação do meio ambiente, atendimento às exigências de qualidade (HESPANHOL, 1999).

O correto planejamento, implantação e operação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, possibilitam a preservação dos recursos hídricos e

compõe uma fonte hídrica alternativa capaz de atender parte da demanda crescente em diversos municípios.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A qualidade da água da chuva coletada pode variar em relação ao grau de poluição do ambiente, sendo que, de maneira geral, os poluentes se incorporam à água da chuva durante a precipitação atmosférica. Outro fator determinante em relação a qualidade das águas pluviais, segundo Lee et al. (2010), é o tipo de materiais utilizados para construir o sistema de aproveitamento e o ambiente em que está localizado. Além disso, podem variar de acordo com as condições meteorológicas, principalmente precipitação, estações do ano e com a presença de carga poluidora.

Apesar das superfícies dos telhados serem comparativamente mais limpas do que as superfícies de estacionamento, calçadas e outras áreas impermeáveis, o escoamento do telhado pode conter uma determinada quantidade de metais pesados e nutrientes (HAMDAN, 2009). As fontes de poluentes no escoamento do telhado incluem precipitação (deposição húmida), deposição atmosférica (deposição seca) e materiais utilizados na construção do telhado (ABBASI, ABBASI, 2011).

A deposição atmosférica é a transferência de poluentes atmosféricos (poeira, partículas contendo metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos, sulfatos, nitratos, etc.) para ecossistemas terrestres e aquáticos (AMODIO et al., 2014). Muitos desses poluentes podem estar presentes em ambientes urbanos, sendo variável de acordo com a intensidade do tráfego, proximidade de industriais, entre outros.

A deposição úmida refere-se à lavagem do ar com a água da chuva, que captura os poluentes do ar dentro das gotas de chuva e as transfere para o solo. Após isso, o transporte destas partículas continua, através da lavagem das superfícies urbanas contendo camadas de deposição seca que se estabeleceram entre os eventos de chuva. A lavagem do ar acima das cidades ocorre rapidamente e na fase inicial de um evento de precipitação. Em suma, a deposição atmosférica constitui uma contribuição importante para a contaminação das águas pluviais, fornecendo nitrogênio, sólidos em suspensão, fósforo, carbono orgânico dissolvido e metais pesados (SANCHÉZ, COHIM, KALID, 2015).

3.4.1 Características físico-químicas e microbiológicas

Os parâmetros físicos relacionam-se com a presença de sólidos e gases na água, destacando-se, sólidos, temperatura, condutividade, cor e turbidez. Entre os parâmetros químicos, estão, pH, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro, manganês, fósforo, nitrogênio e matéria orgânica, indicam a presença de algum composto químico.

O nitrogênio orgânico na forma de pólen, esporos, bactérias e outras substâncias contribui significativamente para a concentração total de nitrogênio no período de chuva, dependendo das condições climáticas e do vento. O fósforo de fontes naturais, como fezes de aves e líquens que contaminam o escoamento do telhado, também pode ser adicionado à água da chuva (SANCHÉZ, COHIM, KALID, 2015).

Outro problema frequente relacionado a qualidade da água da chuva é a chuva ácida, esse fenômeno pode resultar em valores baixos de pH em áreas caracterizadas por altos volumes de tráfego de veículos, desenvolvimento residencial de alta densidade e indústria (MELIDIS et al., 2007). O nível de acidez da água da chuva, é altamente dependente da trajetória seguida pela massa de ar e pode ser influenciada pela passagem por áreas industriais distantes.

Além da deposição úmida e seca, os materiais constituintes das superfícies de captação podem servir como uma fonte significativa de contaminantes no escoamento, sendo que, processos de intemperismo e reações químicas e físicas ocorrem entre a água da chuva e os materiais (SANCHÉZ, COHIM, KALID, 2015).

Leong et al. (2017) resumiram as características físico-químicas das águas pluviais levando em consideração várias pesquisas realizadas em diversos locais, de 1989 a 2012. A alta variabilidade apresentada na maioria dos parâmetros físico-químicos para a água da chuva, evidenciam que a qualidade dessas águas depende das características de cada regiões, conforme a Tabela 3.

Além disso, micro-organismos podem ser transportados e transferidos para a água da chuva, podendo ser encontrados geralmente nas superfícies de captação, seja por deposição ou decomposição da matéria orgânica.

Os agentes patogênicos representam uma ameaça significativa para a saúde em aplicações de utilização potável e não potável, pois há riscos de contaminação cruzada, ingestão ou contato corporal. Apesar disso, não é economicamente viável

testar todos os agentes patogênicos nas águas de origem, então indicadores comuns como *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes, *Streptococci* e *Enterococci* são usados para indicar esta contaminação (LEONG et al., 2017).

Da mesma maneira utilizada para concepção dos valores mostrados na Tabela 3, encontraram uma alta frequência de amostras de água da chuva com testes positivos para *E. coli*, indicando que a água da chuva é muitas vezes contaminada por fezes de aves e pequenos mamíferos. Isso mostra a necessidade de medidas eficientes de desinfecção para redução de tais concentrações.

Tabela 3 - Características físico-químicas das águas pluviais

PARÂMETRO	UNIDADE	MÍNIMO	MÁXIMO
pH	-	3,10	11,40
Alcalinidade	mg L ⁻¹	0,50	61,00
Condutividade elétrica	µS cm ⁻¹	3,00	1017,00
Turbidez	NTU	0,20	303,50
Cor	Pt-Co	0,40	310,50
Sólidos totais dissolvidos	mg L ⁻¹	1,00	750,00
Sólidos totais em suspensão	mg L ⁻¹	1,00	153,00
Sólidos totais	mg L ⁻¹	2,00	200,00
DBO	mg L ⁻¹	0,00	3,00
DQO	mg L ⁻¹	8,40	23,83
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	0,45	1,92
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,21	50,00
Oxigênio dissolvido	mg L ⁻¹	4,41	6,79
Alumínio	µg L ⁻¹	80,20	336,00
Arsênio	µg L ⁻¹	0,00	27,10
Bário	µg L ⁻¹	0,00	11,20
Cádmio	µg L ⁻¹	0,00	0,40
Flúor	µg L ⁻¹	0,00	1000,00
Magnésio	µg L ⁻¹	0,00	9350,00
Mercúrio	µg L ⁻¹	0,00	0,00
Níquel	µg L ⁻¹	0,00	12,20
Potássio	µg L ⁻¹	0,00	8730,00
Sódio	µg L ⁻¹	0,00	32.320,00
Zinco	µg L ⁻¹	0,50	3200,00

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

Hagemann (2009) em seu estudo, analisou a qualidade da água da chuva em 16 eventos de precipitação na cidade de Santa Maria – RS para diferentes intervalos de precipitação. Foram selecionadas duas áreas com características distintas para

caracterização das águas pluviais, um amostrador foi montado para coleta de água do telhado do Laboratório de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica no campus da UFSM e o outro em uma área próxima. Um amostrador que coletava água diretamente da atmosfera também foi instalado. Cada dispositivo foi dividido em cinco compartimentos para coletar e armazenar separadamente os cinco primeiros milímetros de chuva. A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade em função dos primeiros 5 milímetros de precipitação analisados para o amostrador localizado na UFSM e para o amostrador de coleta direta.

Tabela 4 - Qualidade da água pluvial na UFSM

PARÂMETRO	Amostrador telhado UFSM					Amostrador Direto				
	1 ^o mm	2 ^o mm	3 ^o mm	4 ^o mm	5 ^o mm	1 ^o mm	2 ^o mm	3 ^o mm	4 ^o mm	5 ^o mm
pH	7,3	7,3	7,3	7,3	7,1	6,0	5,8	5,8	5,9	5,9
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	155	88	75	70	54	62	21	15	13	12
Turbidez (UNT)	35	27	17	12	12	13	10	6	5	4
<i>E. coli</i> (NMP 100mL ⁻¹)	24	10	7	7	5	2	1	1	1	1
DBO (mg L ⁻¹)	7	6	5	4	4	8	7	5	5	4
DQO (mg L ⁻¹)	32	23	17	13	13	31	17	12	10	9
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	138	95	77	55	47	-	-	-	-	-
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	56	39	25	15	19	-	-	-	-	-
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	80	56	52	40	25	-	-	-	-	-
Cor (mgPt-Co L ⁻¹)	31	11	8	5	5	ND	ND	ND	ND	ND
Cloretos (mg L ⁻¹)	7,4	3,9	4,7	5,2	3,2	8,1	2,7	2,0	2,5	2,6
Dureza (mg L ⁻¹)	52,1	33,5	35,4	40,3	33,7	7,4	3,8	2,0	1,7	1,1
Alcalinidade (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	40,3	31,5	33,9	37,0	34,4	8,0	5,3	3,5	3,5	3,6
Ferro (mg L ⁻¹)	0,07	0,07	0,07	0,07	ND	0,07	0,08	0,06	0,07	0,04
Manganês (mg L ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,03	ND	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
Sulfatos (mg L ⁻¹)	4,7	3,9	2,9	3,9	3,6	3,4	2,0	1,7	1,6	2,0
Fosfatos (mg L ⁻¹)	0,39	0,25	0,41	0,46	0,62	0,35	0,37	0,3	0,28	0,58
Amônia (mg L ⁻¹)	1,50	1,55	1,13	0,68	0,88	0,68	0,84	0,82	0,73	1,15
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,80	0,69	0,73	0,78	0,94	0,69	0,59	0,50	0,38	0,58

Fonte: Adaptado de Hagemann (2009).

Nessa pesquisa foi observado que a maioria dos parâmetros sofreram redução ao longo das amostras, consequência da limpeza gradual da área de captação no decorrer da chuva. Porém, em alguns eventos, as amostras correspondentes ao segundo ou terceiro milímetro de chuva continham mais impurezas que as amostras

correspondentes ao primeiro milímetro. Ainda, a água coletada diretamente da atmosfera apresentou melhor qualidade que a do telhado, reforçando a ideia de que as maiores alterações na qualidade da água da chuva ocorrem após sua passagem pela superfície de captação (HAGEMANN, 2009).

Por mais que a água pluvial possa apresentar vários contaminantes, ela apresenta algumas vantagens em relação a alguns de seus parâmetros físico-químicos, quando comparados com a água da rede ou com água subterrânea. A água pluvial, em geral, apresenta menor dureza e sólidos em suspensão total, sendo adequado para alguns usos, como lavanderia ou torres de resfriamento. Além disso, jardinagem e paisagismo são usos tradicionais para a água da chuva em locais urbanos (SANCHÉZ, COHIM, KALID, 2015).

Em se tratando de sistemas de aproveitamento da água de chuva, a manutenção e higienização dos equipamentos componentes de tal sistema são fundamentais para a preservação da qualidade da água. Segundo Tordo (2004) é fundamental o controle da população microbiana presente na água de chuva coletada em telhado, pois em densidades elevadas estes micro-organismos podem induzir o desenvolvimento de odores, sabores desagradáveis e até a produção de biofilmes, deteriorando assim a qualidade da água. Destaca-se dentre estes micro-organismos o grupo dos coliformes termotolerantes e das bactérias heterotróficas, cuja detecção evidencia o risco de presença de organismos patogênicos na água analisada.

Sistemas bem projetados de coleta de água da chuva, com reservatórios mantidos limpos e tratamento eficiente, associado à boas práticas de higiene, podem oferecer água para usos não potáveis com risco sanitário muito baixo. Além disso, a qualidade e a variabilidade de águas pluviais escoadas e armazenadas apontam que a concepção de sistemas de tratamento de águas pluviais deve ser realizada considerando a grande variabilidade de qualidade entre eventos de chuva.

Um estudo realizado por Nakada e Moruzzi (2014), na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, situada no campus de Rio Claro, indicaram que a grande variabilidade das águas pluviais coletadas é influenciada, sobretudo pela deposição de sólidos durante o período de estiagem e pela decomposição de matéria orgânica, requerendo tecnologias de operação no tratamento flexíveis.

3.5 TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAS

O tratamento de água ocorre através de um conjunto de processos a fim de adequar as características físicas, químicas e biológicas da água a um padrão que não apresente riscos à saúde da população. A escolha do tratamento a ser utilizado dependerá não apenas das características da água coletada, mas também da quantidade a ser tratada e da qualidade necessária ao uso pretendido.

O elevado potencial de contaminação da água pluvial requer o uso de diferentes opções de tratamento para produzir água de qualidade adequada para os usos determinados. As principais opções simplificadas de tratamento para os sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais incluem filtração, desvio do *first-flush*, e desinfecção.

Os sistemas de filtração, sendo eles, filtros de sedimentos, de areia, e outros, constituem a primeira fase do melhoramento da qualidade da água. A filtração é uma opção que pode ser utilizada para retirada dos elementos em suspensão que são arrastados pela água da chuva ao passar pelas superfícies de captação ou que estão na atmosfera, de modo a remover a turbidez e produzir um efluente mais clarificado, melhorando a eficiência da desinfecção e a estética da água (HELLER e PÁDUA, 2010).

A segunda etapa corresponde ao dispositivo de desvio da primeira descarga, responsável pelo descarte de um volume inicial do escoamento do telhado. Devido a este descarte, a maioria dos poluentes associados as deposições úmidas e secas acabam não entrando no tanque de armazenamento, pois as concentrações mais elevadas de matéria particulada estão presentes na parte inicial dos eventos de escoamento do telhado (LEE et al., 2002).

A maioria dos estudos sobre a qualidade da água da chuva coletada defende que o desvio do *first-flush* pode melhorar significativamente a qualidade da água da chuva coletada e recomenda isso como uma etapa primordial do projeto (ABDULLA e AL-SHAREEF, 2009).

O volume adequado do dispositivo responsável pelo descarte do *first-flush*, varia com a intensidade do evento de precipitação. Assim, há uma lavagem incompleta na fase inicial de eventos de intensidade relativamente menores. Egodawatta et al. (2009) encontraram resultados onde cerca de 75% das partículas disponíveis nas superfícies do telhado foram removidas por um evento de chuvas com

intensidade de 20 mm h^{-1} , enquanto que quase 100% das partículas foram removidas durante um evento de precipitação com intensidade de 115 mm h^{-1} . O volume necessário para esse dispositivo depende também do número de dias secos que precedem o evento de chuva. Tipicamente, os dispositivos de *first-flush* desviam os primeiros 0,8-3,5 mm de precipitação.

Em combinação com os desviadores, tecnologias de tratamento mais eficientes devem ser usadas para remoção de partículas finas em suspensão e micro-organismos, quando se exigem padrões de qualidade de água mais elevados para o seu uso (AHMED et al., 2012).

A desinfecção geralmente é a última etapa do tratamento da água, onde organismos que não ficaram retidos nos processos anteriores de tratamento são expostos a processos químicos ou físicos que tem por objetivo torná-los inativos ou não infectantes. Esse processo provoca a inativação de muitos micro-organismos patogênicos ou indesejáveis, incluindo bactérias, vírus, protozoários e algas, sendo que, muitas formas podem ser utilizadas.

3.5.1 Métodos de desinfecção

Os métodos de desinfecção são diversos, algumas opções incluem, calor, cloro, radiação solar, radiação ultravioleta e ozônio. Na prática, não há um desinfetante ideal, cada um apresenta vantagens e desvantagens em função das condições de utilização, da qualidade da água a ser tratada e das condições de projeto, operação e manutenção dos sistemas. A seleção da tecnologia desinfetante ideal para um processo de tratamento de água deve levar em conta a eficácia, o custo, a praticidade e efeitos adversos do agente desinfetante.

A desinfecção, na maioria das vezes, causa mudanças bioquímicas nos micro-organismos patogênicos e enquanto é benéfica para inativação dos mesmos, além de resultar em alterações químicas na água.

É importante salientar que, embora a desinfecção possas ser levada a ponto de esterilização, nem sempre é atingido a destruição completa dos micro-organismos (MEYER, 1994).

3.5.1.1 Cloro

A cloração é a forma mais comum para desinfecção, pois é de baixo custo, amplamente disponível e deixa residuais que impedem um novo crescimento microbiano. Antigamente o cloro era empregado na desinfecção de águas somente quando ocorriam epidemias, entretanto a partir de 1900 começou a ser empregado de maneira contínua (MEYER, 1994).

Durante o processo de cloração, a inativação microbiana é influenciada por variações de sensibilidade dos micro-organismos, sendo que, é mais fácil a inativação, por desinfecção com cloro, de bactérias, do que de vírus e protozoários. Ainda, fatores ambientais como pH, tempo de contato, concentração, turbidez e cloro residual interferem na eficiência do processo. Em geral, são atingidos níveis de inativação mais altos com alta concentração de cloro residual, alta temperatura, maior tempo de contato, e turbidez e baixos níveis de pH (USEPA, 1999).

A cloração pode ser realizada utilizando seus derivados inorgânicos, como hipoclorito de sódio, gás cloro e dióxido de cloro, ou inorgânicos, como cloraminas, especialmente monocloraminas (MEYER, 1994).

Embora esse desinfetante venha sendo muito utilizado, a cloração produz subprodutos prejudiciais à saúde, como os trihalometanos (THMs). O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com vários compostos presentes na água. De modo simplificado, o cloro reage com a amônia produzindo compostos chamados cloraminas e, eventualmente, oxida a amônia em gás nitrogênio (N₂). O mecanismo de reação é complexo, e os produtos gerados apresentam variação de acordo com o pH, razão entre cloro adicionado, quantidade de amônia presente e tempo de contato. As reações com outros compostos inorgânicos, como o sulfeto de hidrogênio (H₂S), ocorrem imediatamente após a aplicação de cloro, e das reações com compostos orgânicos, é que pode haver formação de trihalometanos (AISSE et al., 2003).

Para controlar a formação de THMs, pesquisadores sugerem o uso de desinfetantes alternativos ao cloro, como dióxido de cloro e ozônio (PASCHOALATO ET AL., 2003). Em relação ao dióxido de cloro, uma desvantagem é a produção de cloritos e cloratos, além de outras espécies aniônicas (MEYER, 1994).

May (2009) encontrou como resultado, para águas pluviais tratadas com hipoclorito de sódio nas concentrações de 0,6 a 1,2 mg L⁻¹, ausência de coliformes totais e coliformes termotolerantes.

3.5.1.2 Ozônio

O ozônio é um potente desinfetante, pouco empregado no Brasil, porém, muito usado na Europa e em pequenas instalações de tratamento de água dos EUA (DANIEL et al., 2001).

Dentre os desinfetantes alternativos ao cloro, o ozônio tornou-se notório nas últimas décadas em função da implementação de padrões cada vez mais restritivos em relação aos subprodutos da cloração, como os trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (AHAs).

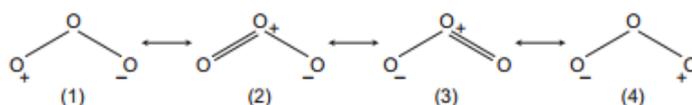
O O₃ é um gás incolor de odor característico, gerado a partir de oxigênio quando submetido a descargas elétricas de alta tensão. É a forma triatômica do oxigênio, que na fase aquosa, decompõe-se rapidamente a oxigênio e espécies radiculares (KUNZ e ZAMORA, 2002). O ozônio é muito instável em soluções aquosas, sendo reativo com muitos constituintes presentes na água e sofre o processo de decomposição espontânea (SILLANPÄÄ e KURNIAWAN, 2011). Ao ser dissolvido em um líquido, apresenta grande poder de oxidação.

O ozônio (O₃) é um dos desinfetantes mais fortes e eficientes, podendo ser usado para inativação dos organismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, embora, não seja interessante usá-lo como desinfetante secundário, pelo fato de que sua concentração residual decai muito rapidamente (USEPA, 1999). Sendo assim, a principal dificuldade de implementação da ozonização para tratamento de água é a impossibilidade de o ozônio produzir residual desinfetante no meio líquido que impeça o novo crescimento microbiano, já que o residual de ozônio, decai a oxigênio rapidamente.

O ozônio possui uma estrutura química composta por quatro modos de ressonância (Figura 2). Os componentes (1) e (4), em razão da tendência eletrofílica do átomo de oxigênio terminal com apenas 6 elétrons, representam os principais contribuintes que conferem o comportamento altamente reativo ao ozônio. A reação ocorre mediante a quebra de ligações π carbono-carbono e seguinte transferência dos

elétrons liberados nesse processo para o átomo de oxigênio deficiente (EVANS, 1972).

Figura 2 - Representação das estruturas de ressonância da molécula de ozônio



Fonte: Evans (1972).

Como a desinfecção por ozônio envolve relações de equilíbrio químico, variações em alguns parâmetros como temperatura e pH, podem alterar a taxa de transferência gás-líquido, limitando sua eficiência. Por exemplo, o aquecimento do gerador de ozônio favorece a regeneração das moléculas de O₂ e impede a formação do O₃ (MAUSTELLER, 1989).

Segundo Usepa (1999), o ozônio não forma subprodutos halogenados, como os trialometanos e os ácidos haloacéticos, entretanto, pode formar vários outros subprodutos orgânicos e inorgânicos. Segundo estudos de Von Gunten (2003), uma dose de 2,5 mg L⁻¹ de ozônio reduziu em 70% a formação de THMs. Isso ocorre porque o ozônio reage com o material orgânico natural, levando a remoção parcial dos THMs. Porém, no tratamento de água com ozônio, ocorre a produção de bromato, que representa riscos à saúde em função de seu potencial carcinogênico. Para minimizar esse efeito, medidas adicionais no tratamento de água como, pré-cloração e adição de amônia antes da ozonização vem sendo investigadas (BUFFLE et al., 2004).

O forte caráter oxidante do ozônio lhe confere habilidade para reagir com grande variedade de grupos funcionais orgânicos e organometálicos, originando subprodutos de menor peso molecular e geralmente mais biodegradáveis. A ozonização da água, pode remover substâncias responsáveis pela cor, gosto e odor, além de micro-organismos resistentes a outras técnicas de desinfecção (MAUSTELLER, 1989).

Oh et al. (2015) utilizaram ozônio para desinfetar águas claras filtradas em um sistema de escala piloto, onde a recirculação do ozônio removeu com sucesso todos os coliformes totais.

3.5.1.3 Radiação com lâmpadas Ultravioleta

A radiação utilizando lâmpadas UV também apresenta-se como uma boa forma de desinfecção. O sistema de desinfecção por radiação Ultravioleta para tratamento de água, consiste em uma ou mais lâmpadas UV e um canal em que a água é irradiada. Segundo Daniel (2001), esse mecanismo atua por meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucleicos dos micro-organismos, promovendo ações fotoquímicas capazes de inativar os vírus e bactérias.

A faixa de variação do comprimento de onda da radiação UV que tem efeito sobre os seres vivos é da ordem de 200 a 400 nm, sendo que, o comprimento de onda de 260 nm permite máxima adsorção, no entanto, a máxima emissão de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio correspondem a 254 nm. Ainda, o intervalo de comprimento de onda entre 245 e 285 nm é considerado a faixa germicida ideal para inativação dos micro-organismos (GONÇALVES, 2003).

A luz UV é capaz de passar através da parede celular dos micro-organismos, sendo absorvida pelas proteínas e pelos nucleotídeos perturbando a estrutura do DNA ou RNA dos micro-organismos, causando sua inativação. A desinfecção por UV para tratamento de água não introduz ou gera quaisquer substâncias químicas ou subprodutos perigosos durante o procedimento (GRAY, 2014). Sendo assim, uma vantagem da radiação UV é que não são gerados subprodutos, ao contrário do ozônio e do cloro.

3.5.1.4 Radiação Solar

Uma alternativa mais simples às lâmpadas UV é utilização do sol como fonte de radiação. A energia solar, além de ser uma fonte disponível naturalmente, é perfeitamente aplicável a desinfecção da água.

A desinfecção solar da água (SODIS), consiste na inativação dos micro-organismos patogênicos, por meio da exposição da água aos raios solares, podendo este ser feito em garrafas PET, vidro, entre outros materiais que favoreçam o contato direto da água (QUELUZ, 2013). Este processo leva cerca de 5 horas, porém se as temperaturas da água excederem 50 °C, uma hora de exposição é suficiente para obter água de boa qualidade.

Os micro-organismos patogênicos são vulneráveis à dois efeitos da luz solar, à radiação no espectro da luz UV-A e ao calor, no caso da SODIS há uma combinação desses efeitos (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002). A SODIS é uma tecnologia simples, verde e de baixo custo (MUSTAFA et. al., 2013), sendo um método descomplicado que desinfeta a água inativando os agentes patogênicos.

A eficiência desse processo pode ser melhorada usando um coletor solar com base retangular e arestas abertas reflexivas. O sistema é acomodado em superfícies refletoras de luz solar, como por exemplo, alumínio ou placas de ferro onduladas, obtendo efeitos mais concentrados de radiação solar e temperatura (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002; GELOVER et. al., 2006).

3.6 PARÂMETROS NORMATIVOS E DE REGULAMENTAÇÕES ACERCA DO APROVEITAMENTO PLUVIAL NO BRASIL

Como visto, o uso da água da chuva vem fazendo parte dos esforços para mitigar a pressão sobre os recursos hídricos. Dentro disso, os governos exercem um papel fundamental, com a função de estabelecer políticas que regulam e incentivam a implementação de sistemas de coleta de águas pluviais. Porém, no Brasil, essas políticas estão dispersas, dificultando uma visualização geral da regulação do setor de águas no país.

Um marco brasileiro a respeito de que a água deve ser gerenciada e entendida como um recurso limitado, foi a criação da Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Segundo seu artigo 1º, a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e em situações de escassez o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Dessa maneira, a introdução de leis e políticas que incentivem a instalação de sistemas para captação de água da chuva vem aumentando no Brasil. Por exemplo, o programa de tecnologia social, promovido pela Articulação do Semiárido (ASA), Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), busca fornecer aos habitantes da região Nordeste acesso à água através da construção de cisternas de chapas pré-fabricadas. Desde 2003, 420 mil dessas cisternas foram construídas (ASA, 2015).

Em muitas cidades brasileiras existem leis que estabelecem a coleta de águas pluviais de forma a minimizar problemas de escassez, no entanto, essas políticas, quando existem, variam muito em todo o território e há pouca cobertura a nível federal nesse aspecto. É muito mais comum encontrar legislações acerca desse tema a nível local, e neste aspecto, existem várias cidades e municípios com leis que regulam a captação e armazenamento de água da chuva para usos não potáveis.

Pacheco et al. (2017) realizaram um estudo acerca do cenário legislativo para a captação de água pluvial no Brasil, com o objetivo de mostrar a variação entre os diferentes regulamentos existentes em várias partes do país. Os resultados obtidos na pesquisa indicam, que em grande parte do território não há regulamentos que incentivem a coleta e uso de água da chuva.

Das 26 capitais brasileiras, 16 apresentam legislação sobre os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, sendo que, algumas capitais (36%), impõem o projeto destes sistemas como um pré-requisito para emissão de licenças de construção. No cenário estadual, dos 26 estados e do Distrito Federal, apenas sete apresentam legislação para uso de águas pluviais, ainda, nas legislações estaduais, 50% mencionam a redução do escoamento destinado à drenagem municipal como uma importante motivação para a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial (PACHECO et al., 2017).

A nível federal, um projeto de lei (Lei 7818/14) está em análise na Câmara dos Deputados. Este projeto de lei pretende criar uma Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais, propondo a concessão de incentivos econômicos para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em cidades com população acima de 100.000 habitantes ou com histórico de seca crônica (PACHECO et al., 2017).

Ainda se tratando de projetos de lei e contra a premissa de que águas residuárias e pluviais só podem ser usadas para consumo não potável, o senado aprovou em abril de 2018 o projeto que quebra a exclusividade no abastecimento de água por parte da concessionária pública. O objetivo do PLS 51/2015 é permitir o fornecimento de água potável por fontes alternativas — reuso, água de chuva e águas residuais, entre outras, e vai contra a legislação atual (Lei 11.445/2007), que proíbe a ligação de fontes alternativas de abastecimento de água às instalações prediais urbanas conectadas à rede pública.

O texto determina a inclusão do abastecimento de água por fontes alternativas como parte integrante do saneamento básico, devendo haver regulação e fiscalização pela entidade reguladora, sendo sua viabilidade técnica, econômica e ambiental comprovada em estudos. Além disso, determina que esse abastecimento atenda aos parâmetros de qualidade da água e exige que as edificações disponham de instalações hidráulicas independentes.

Embora essa forma de abastecimento possa gerar insegurança em função dos possíveis riscos à saúde pública, na justificativa do projeto, é ponderado as constantes secas do Nordeste e a escassez hídrica que afetou São Paulo e outros estados brasileiros, o que têm estimulado a busca por alternativas capazes de reduzir a demanda e elevar a oferta hídrica.

3.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE

Visando as condições de qualidade das águas pluviais para seu uso final, é fundamental a observância de critérios para proteção à saúde dos usuários destes sistemas, ou seja, os requisitos de qualidade e segurança sanitária dessas águas estão diretamente relacionados com a destinação de uso, e necessitam de um controle da qualidade a fim de garantir saúde do usuário.

No Brasil, a Norma ABNT NBR 15.527 (2007): Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, determina que os padrões de qualidade podem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista, mas sugere alguns padrões de qualidade de águas pluviais para os usos não potáveis mais restritivos (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros de qualidade de água pluviais para usos restritivos não potáveis segundo a NBR 15527/2007

PARÂMETROS	ANÁLISES	FAIXA
Coliformes termotolerantes	Semanal	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Semanal	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg L ⁻¹
Cor aparente	Mensal	<15 uH
pH	Mensal	6,0 a 8,0
Turbidez	Mensal	< 2 UNT
		<5 UNT (usos menos restritivos)

Fonte: Adaptado de ABNT/NBR 15527 (2007).

Outras normas brasileiras podem subsidiar a determinação dos padrões de qualidade que a água necessários para aproveitamento em determinados usos. A Norma Técnica ABNT NBR 13969 (1997) – Tanques Sépticos: Unidades de Tratamento complementar e disposição de final dos efluentes líquidos – Projeto, Construção e Operação, fornece instruções a respeito do reuso de esgoto doméstico e define que o esgoto tratado deve ser utilizado para fins que exigem qualidade da água não potável. Para isso, a norma classifica a água de reuso doméstico e indica os padrões de qualidade que devem ser seguidos para cada classe (Tabela 6), onde:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água;
- Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3: Reuso nas descargas dos vasos sanitários;
- Classe 4: Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Tabela 6 - Padrões de qualidade em função da classificação dos usos segundo a NBR 13969/1997

PARÂMETRO	VALOR LIMITE – CLASSE			
	1	2	3	4
Cloro residual livre (mg L ⁻¹)	0,5 – 1,5	0,5		
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	200	500	500	5000
pH	6,0 – 8,0			
Turbidez (UNT)	5,0	5,0	10	
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L ⁻¹)	200			

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997).

Da mesma forma, o Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificação, especifica as condições mínimas de qualidade da água para reuso, subdividindo a água também em classes. Alguns parâmetros são ilustrados na Tabela 7. Esse manual tem o objetivo de orientar a implantação de programas de conservação da água em edificações comerciais residenciais e industriais, sendo as principais classes divididas em (ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2007):

- Classe 1: Uso em descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos;
- Classe 2: Usos associados à fase de construção de um edifício (lavagem de agregados, preparação do concreto, compactação do solo e controle de poeira)
- Classe 3: Irrigação de áreas verdes e rega de jardins;

Tabela 7 - Padrões estabelecidos pelo Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações em função da classe de reuso

PARÂMETRO	VALOR LIMITE – CLASSE		
	1	2	3
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	Ausência	100	200
Cor (uH)	10		30
DBO (mg L ⁻¹)	10	30	20
Fósforo (mg L ⁻¹)	0,1		
Turbidez (UNT)	2,0		5,0
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L ⁻¹)	500		
Sólidos Suspensos Totais (mg L ⁻¹)	5	30	20

Fonte: Adaptado de ANA, FIESP e SindusCon-SP (2007).

Entretanto, aspectos práticos em relação aos padrões de qualidade, necessidade de tratamento, monitoramento e manutenção dos sistemas, para a real utilização do água pluvial, são limitação acerca do tema. Ainda há falta de legislação brasileira rígida e específica que defina a qualidade necessária para aproveitamento água pluvial, o que se tem, são legislações que podem nortear seu uso a fim de definir uma qualidade adequada em função dos usos pretendidos. Sendo assim, não há um consenso adotado pela bibliografia quanto a quais normas seguir ou as quais parâmetros adotar. Ainda, quanto a normatização de cada legislação, existem distinções referentes aos usos definidos da água e as fontes esperadas das mesmas, o que dificulta uma transposição direta e segura dos padrões necessários ao aproveitamento da água pluvial.

Quanto as legislações internacionais, a Organização Mundial de Saúde (WHO), apresenta três diretrizes relacionadas a água, as quais apresentam uma concepção do nível de riscos toleráveis em relação à saúde da população. As

diretrizes promovem padrões de proteção à saúde humana embasadas em estudos epidemiológicos e de avaliação de riscos, e tratam essencialmente de critérios microbiológicos, recomendando tecnologias a serem aplicadas no tratamento de águas residuárias. Uma dessas normas, lançada em 2006, apresenta as diretrizes para a utilização segura das águas residuárias, excretas e águas cinzas, baseadas nos riscos de aplicação da técnica na agricultura e aquicultura, e define que, para isso, o número mais provável para o parâmetro coliformes termotolerantes deve ser menor que 1000 em 100 mL (WHO, 2006).

Nos Estados Unidos, a agência de Proteção Ambiental Americana juntamente com a Agência Americana de Desenvolvimento, lançou em 1992, diretrizes para reutilização da água “*Guidelines for Water Reuse*”, a qual parte do conceito “risco zero”. A legislação foi atualizada em 2004 com o propósito de apresentar diretrizes de reuso de águas estaduais e informações de suporte para benefícios dos serviços públicos e agências regulatórias, particularmente nos Estados Unidos. O conteúdo dirige-se a muitos aspectos de reuso da água, incluindo processos de tratamento, parâmetros de qualidade e monitoramento (USEPA, 2004). A Tabela 8 apresenta os padrões adotados pela referida legislação para reuso urbano na irrigação, lavagem de veículos, descargas sanitárias, sistemas de ar condicionado, etc., recomendando tratamento secundário seguido por filtração e desinfecção.

Tabela 8 - Padrão de qualidade adotado pela US. EPA.

PARÂMETRO	VALOR LIMITE
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	Ausência
Cloro residual (mg L ⁻¹)	>1 (tempo de contato de 30 min)
DBO (mg L ⁻¹)	10
Turbidez (UNT)	2
pH	6,0 – 9,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L ⁻¹)	500 – 2000 (Irrigação)

Fonte: Adaptado de USEPA (2004).

Existem ainda, guias de boas práticas em vários países que estabelecem parâmetros mínimos necessários para garantia da qualidade de água pluvial em diversos usos. Cada legislação apresenta parâmetros em função da realidade de sua

população, e consideram o aproveitamento pluvial como uma forma alternativa de abastecimento de água

O guia de 2006 do Estado do Texas “*Rainwater Harvesting potencial and Guidelines for Texas*” - Potencial de Coleta da Chuva e Diretrizes para o Texas, fornece, entre outros, parâmetros de qualidade mínimos que devem ser atingidos para aproveitamento da água pluvial em usos não potáveis em residências unifamiliares (Tabela 9).

Tabela 9 - Padrão de qualidade para uso não potável da água pluvial no estado do Texas

PARÂMETRO	VALOR LIMITE
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	100
Coliformes totais (NMP 100m)	500

Fonte adaptado de *Rainwater Harvesting potencial and Guidelines for Texas* (2006).

No Reino Unido, o Código de boas práticas estabelecido pela Norma BS 8515 (2009): “*Rainwater Harvesting Systems - Code of Practice*” – Sistema de Coleta de Água da Chuva – Código de Práticas, inclui diversas informações sobre o aproveitamento da água pluvial, incluindo alguns parâmetros de qualidade que devem ser observados no reservatório (Tabela 10).

Tabela 10 - Parâmetros de qualidade para a água pluvial no Reino Unido

PARÂMETRO	VALOR LIMITE
<i>Escherichia Coli</i> (NMP 100mL ⁻¹)	250 (rega de jardins e descarga)
Coliformes totais (NMP 100mL ⁻¹)	1000 (rega de jardins e descarga)
Cor	Não desagradável
Cloro residual (mg L ⁻¹)	0,5 (rega de jardins) 2 (demais usos)
OD no reservatório (mg L ⁻¹)	> 1
pH	6,0 – 8,0
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	Clara e sem detritos flutuantes
Turbidez (UNT)	10

Fonte: Adaptado de BS 8515 (2009).

Além desses, outros lugares do mundo apresentam em seus guias ou legislações, parâmetros de qualidade para diferentes usos não potáveis da água, como é o caso da Austrália e Nova Zelândia, *Australian and New Zealand Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters* (AUSTRALIA, 2000). Este guia objetiva a produtividade das terras agrícolas irrigadas e dos recursos hídrico visando a sustentabilidade, e fornece valores de qualidade da água recomendados para diversos usos na irrigação.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho desenvolveu-se em quatro etapas. Na primeira etapa realizou-se uma instalação de uma unidade para coleta e armazenamento da água da chuva. A segunda etapa envolveu uma abordagem quantitativa, dos dados climatológicos, e qualitativa, através da investigação da qualidade de água, em função de eventos de coleta, relacionando estas variáveis. A terceira etapa envolveu aplicação de diferentes formas de desinfecção, com cloro e ozônio, para águas pluviais coletadas no armazenamento e, por fim, a última etapa do trabalho constituiu de uma abordagem dos possíveis usos para a água da chuva em função dos resultados encontrados nos diferentes tratamentos.

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O local escolhido para realização deste estudo foi a casa popular eficiente, localizada na Universidade Federal de Santa Maria, campus Santa Maria – RS, em uma área onde predomina vegetação de médio e grande porte, poucas edificações e baixo tráfego de veículos (Figura 3).

Figura 3 - Localização da edificação do estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2017.

A edificação estudada é unifamiliar, de interesse social, e foi construída decorrente de uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Maria (UFSCAR) e a Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), tendo como premissas básicas o

desenvolvimento de ações que valorizam a redução do consumo de energia elétrica e a utilização de condicionantes bioclimáticos. Além disso, a construção reúne diversas estratégias para a melhor utilização dos recursos naturais, como o aproveitamento da água da chuva.

O protótipo da Casa Popular Eficiente (Figuras 4, 5 e 6) possui uma área total de 55,4 m², com dois dormitórios, um banheiro, uma sala de estar e uma cozinha com área de serviço integrada. Nas Figuras 4 e 5 é possível visualizar as fachadas Norte-Oeste e Norte-Leste respectivamente, enquanto a Figura 6 mostra em detalhes a planta baixa.

Figura 4 - Fachada Norte e Oeste da casa popular eficiente localizada na UFSM



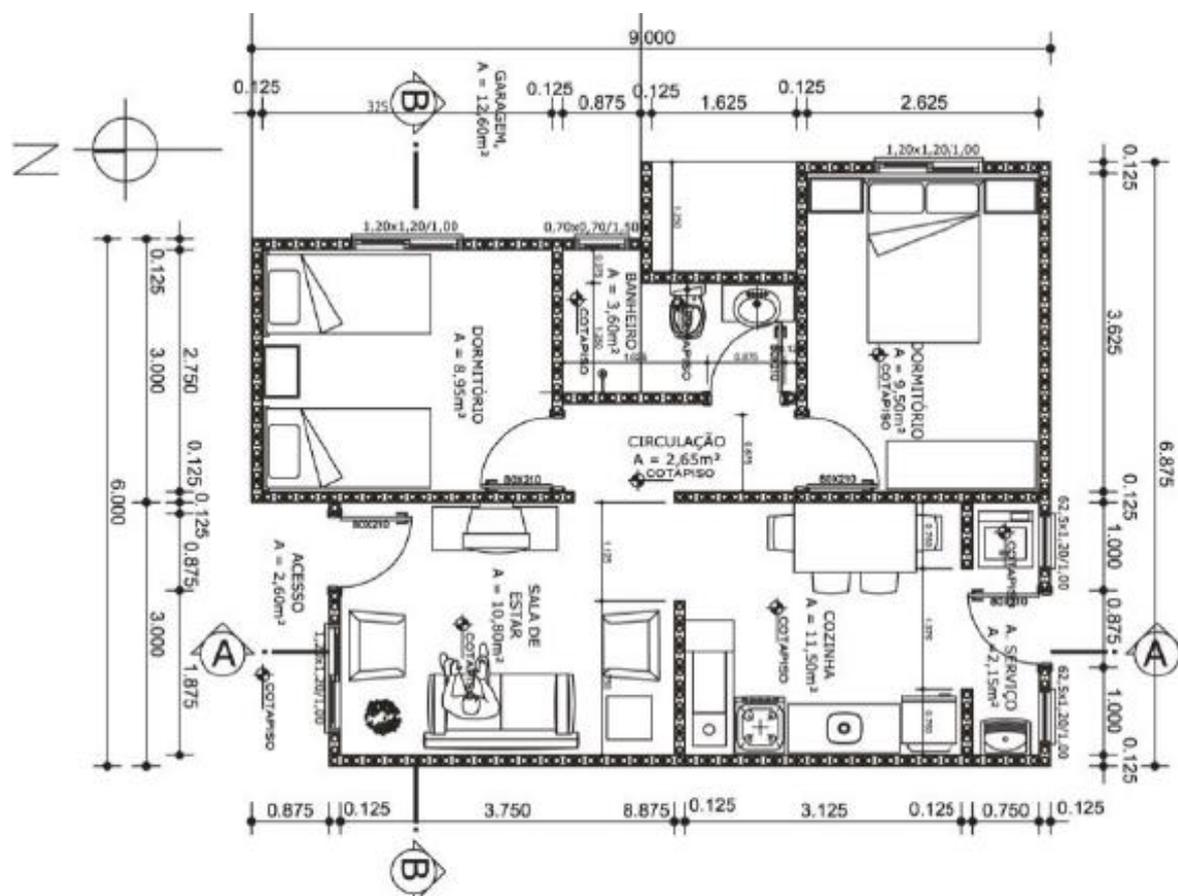
Fonte: Vagheti et al. (2013).

Figura 5 - Fachada Norte e Leste da casa popular eficiente localizada na UFSM



Fonte: Vagheti et al. (2013).

Figura 6 - Planta baixa da habitação



Fonte: Vagheti et al. (2013).

A concepção desta casa evidencia que é possível projetar e construir casas populares sustentáveis e de baixo custo, utilizando materiais alternativos. A casa popular eficiente permite a concepção de uma construção sustentável alternativa na área de construção. As várias tecnologias presentes e as soluções apresentadas são importantes do ponto de vista ambiental, a fim de preservar o meio ambiente (SILVA et al., 2018).

A cobertura da edificação é constituída por um telhado com duas águas, separando as áreas de coleta da água pluvial em duas unidades. Do lado leste, um sistema de aproveitamento já está implantado, sendo assim, o sistema experimental foi implantado do lado oeste (Figura 7).

Figura 7 - Área de coleta da água pluvial - Lado Oeste



Fonte: O Autor

4.1.1 Sistema de coleta de águas pluviais

Para a captação da água de chuva da cobertura, foram aproveitados os equipamentos de coleta e condução de águas pluviais existentes na edificação, sendo necessárias algumas adaptações.

O modelo experimental de coleta e armazenamento das águas pluviais (Figura 8) foi composto pelos seguintes elementos: calha, condutor vertical, filtro (para retirada de folhas e galhos) e dois reservatórios, funcionando da seguinte maneira: as águas pluviais são coletadas de um telhado com área de 40 m², coberto por telhas onduladas do tipo Tetra-PaK; a água pluvial escoar pela calha (i) e é direcionada até o condutor vertical (ii), passando por um sistema de filtração (iii); em seguida, a água passa pelo sistema de descarte (iv), responsável por acumular e descartar os primeiros milímetros de chuva; e quando o sistema de descarte atinge sua capacidade, um sistema (v) direciona a água pluvial para o reservatório de acumulação (vi).

No modelo adaptado para este estudo, o filtro adotado foi do tipo peneira, com chapa perfurada de aço inox inclinada, com malha de 2 mm, instalado como parte da própria tubulação do sistema (Figura 9).

Figura 8 - Modelo experimental coleta de águas pluviais: filtro, dispositivo de descarte para 2 mm da precipitação e reservatório de armazenamento com capacidade de 200L.



Fonte: O Autor

Figura 9 - Filtro para retenção de partículas grosseiras



Fonte: O Autor

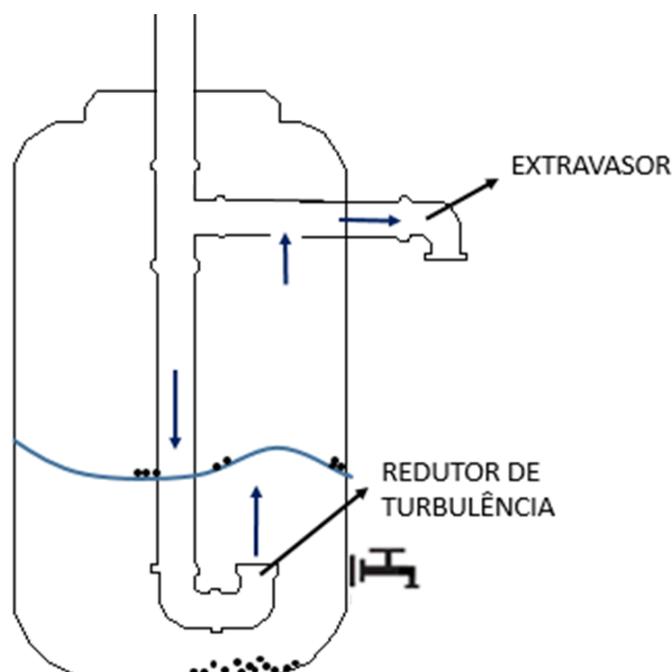
O dimensionamento do reservatório de descarte da precipitação foi feito com base na norma NBR 15527 de 2007, onde o volume de descarte da água de escoamento inicial recomendado é de 2 mm (ABNT, 2007). Sendo assim, considerando a área de captação do sistema (40m²), um volume de 80 litros foi utilizado como sistema de descarte. De forma prática, esse dispositivo foi constituído com o mesmo tipo de tubulação do condutor vertical.

No interior do reservatório de armazenamento foi instalado um sistema com redutor de turbulência e um extravaso, conforme representado esquematicamente na Figura 10. As amostras de água pluvial foram coletadas a aproximadamente 15 cm do fundo, para minimizar as interferências do material suspenso na superfície e do material sedimentado no fundo do reservatório.

De acordo com o método da simulação proposto na NBR ABNT 15527, o cálculo do volume de armazenamento depende das demandas de água não potável que serão atendidas pelo sistema de aproveitamento pluvial, e das características da série histórica de precipitação da região, onde o objetivo é determinar um volume de reservação que atenda à demanda na maior parte do tempo. Como o sistema implantado teve por finalidade pesquisa científica, um reservatório de armazenamento de 200 L foi considerado adequado para acumulação da água pluvial, visto que a instalação da unidade piloto objetivou a captação e o armazenamento da água de chuva para a caracterização qualitativa da mesma, sem finalidade o atendimento a demanda de consumo. Dessa maneira, o conjunto de reservatórios possui capacidade de armazenamento para 7 mm de chuva, o restante é descartado.

O filtro, sistema de descarte e o reservatório de armazenamento foram higienizados com água e sabão toda a vez que havia previsão de chuva, sendo que as limpezas foram realizadas pelo menos 24 horas antes de todos os eventos de precipitação avaliados.

Figura 10 - Esquema do reservatório de armazenamento



Fonte: O Autor.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL

Para realizar a caracterização quantitativa foram levantados os seguintes dados climatológicos: temperatura do ar, radiação solar global, volume, duração e intensidade da precipitação e número de dias sem chuva. Estes dados foram obtidos e calculados, a partir dos registros da estação climatológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação INMET-A803, localizada a menos de 1,0 km da área experimental deste estudo. As variáveis climatológicas e os instrumentos de medição utilizados pela estação estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Variáveis climatológicas utilizadas e características dos instrumentos de medição

VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS	INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO	MODELO/MARCA	INTERVALO DE MEDIÇÃO (s)
Temperatura do ar (máxima e mínima)	Termômetro	QMT102/Vaisala	5
Radiação solar global	Higrômetro	QMH 101/Vaisala	5
Precipitação	Pluviômetro	QMR 102/Vaisala	10

Fonte: Adaptado de ARBOIT (2017).

As informações são disponibilizadas no site do INMET de hora em hora, e em Tempo Universal Coordenado (UTC). Sendo assim, a temperatura foi transformada para a base diária do dia da coleta por meio da média horária. A radiação solar global teve os valores horários do dia da coleta somados, resultando na radiação solar total incidente. A precipitação teve seu volume total quantificado e o número de dias consecutivos sem chuva foi considerado como sendo o número de dias anterior ao evento analisado sem precipitação maior que 2 mm.

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL

A caracterização qualitativa da água foi realizada em três momentos: i) água armazenada no sistema de descarte, logo após a filtragem; ii) água direcionada para o reservatório de armazenamento, após passar pelo sistema de descarte; e iii) após os processos de tratamento, usando desinfecção por cloro e ozônio.

As análises de qualidade de água foram realizadas no Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. Os parâmetros avaliados foram: pH, cor aparente, turbidez, condutividade, coliformes totais e *E.Coli*. As análises seguiram os procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WPCF, 2005) (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo das metodologias das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

PARÂMETRO	MÉTODO	MÉTODO REFERÊNCIA (APHA, AWWA e WPCF)
pH	Eletrométrico	4500 B
Cor Aparente (uH)	Espectrofotométrico	2120 C
Turbidez (UNT)	Nefelométrico	2130 B
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Potenciométrico	2510 B
Coliformes totais (NMP 100mL ⁻¹)	Index – Colilerte	9223 B
<i>E. Coli</i> (NMP 100mL ⁻¹)	Index – Colilerte – UV	9223 B

Fonte: Adaptado de: APHA, AWWA e WPCF (2005).

4.3.1 Análise estatística

Para relacionar os resultados obtidos no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento, esses dois grupos foram submetidos a análise estatística através do teste “t de Student”, com nível de significância de 95%, ou seja, foi considerado significativo todo resultado com probabilidade igual ou inferior a 0,05.

O mesmo teste foi utilizado para comparação dos resultados de qualidade encontrados às características da precipitação.

Esse teste é utilizado para avaliar se há diferença estatística significativa entre as médias entre dois grupos.

4.4 TRATAMENTO POR DESINFECÇÃO

A eficiência de um sistema de desinfecção depende, além das características do desinfetante, da dose e tempo de contato do mesmo, do tipo e concentração dos micro-organismos, e das características químicas da água a ser tratada. Neste estudo, os desinfetantes testados foram cloro e ozônio. As amostras submetidas aos tratamentos foram coletadas do reservatório de armazenamento.

Uma etapa preliminar foi destinada para determinação dos intervalos de concentração de cloro aplicado e tempos de contato de ozonização que seriam avaliados. A partir da análise do parâmetro coliformes, feito para a água pluvial coletada do sistema (reservatório de armazenamento) após os processos de desinfecção (em diferentes faixas de concentração de cloro, e diferentes tempos de contato de ozonização), escolheu-se os valores representativos em função das possíveis alterações de qualidade até eficiência total da desinfecção, reduzindo para zero o Número Mais Provável de coliformes em todos os caso.

Iniciou-se os testes com grande intervalo de concentração de cloro aplicado, de 0,5 até 2 mg L⁻¹, e tempo de ozonização, de 05 até 30 minutos. A remoção total de coliformes foi notada: na concentração de 1,5 mg L⁻¹, no caso da cloração; e no tempo de contato de 15 minutos, no caso da ozonização. Sendo assim, esses foram os valores máximos escolhidos para serem avaliados no estudo.

4.4.1 Desinfecção por cloro

O hipoclorito de sódio é um composto que apresenta facilidade de manuseio e custo relativamente baixo, sendo assim, foi escolhido como agente desinfetante. Este reagente comercial, com teor de cloro ativo de 2,0 a 2,5%, foi diluído em água destilada para se obter uma solução de 1000mg L^{-1} . Após, a água coletada foi distribuída em três béqueres de vidro sobre agitadores magnéticos, cada um contendo um volume de 0,5 L (Figura 11). A solução de hipoclorito de sódio foi adicionada de forma a se obter as dosagens de 0,5; 1,0 e 1,5 mg L^{-1} de cloro aplicado. Após um tempo de contato de 30 minutos, as análises foram realizadas.

Figura 11 - Teste de desinfecção com cloro



Fonte: O Autor.

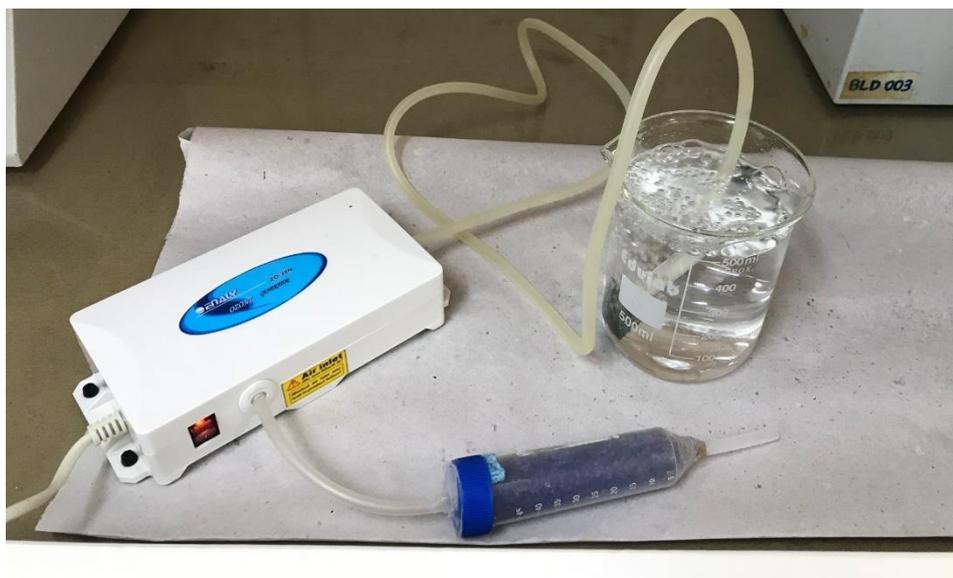
4.4.2 Desinfecção por ozônio

Uma alternativa ao processo tradicional de desinfecção da água por cloro é a utilização do oxidante ozônio, um processo que causa menos toxicidade e não apresenta residuais do composto.

Para este estudo, as amostras de água pluvial coletadas do reservatório foram submetidas ao borbulhamento de ozônio (O_3), sendo utilizado um aparelho responsável por essa geração, da marca Enaly, modelo ZO-30N.

Esse aparelho realiza a sucção do ar atmosférico, que passa por um sistema de secagem do ar (filtro de sílica gel azul) e posteriormente por um sistema de geração de ozônio. Na outra extremidade do equipamento, uma mangueira com uma pedra porosa na ponta é conectada. Essa extremidade foi introduzida nos frascos contendo 500 mL de amostra (Figura 12) que receberam a injeção de O_3 nos tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos.

Figura 12 - Teste de Desinfecção com ozônio usando o aparelho marca Enaly, modelo ZO-30N.



Fonte: O Autor.

O equipamento utilizado possui capacidade teórica de geração de ozônio de 200 mg h^{-1} . Porém, com relação à ozonizadores, a produção máxima de ozônio pode estar muito aquém das especificações fornecidas pelos fabricantes, sendo necessário quantificar a produção de ozônio, para que seja possível trabalhar em condições conhecidas. Para essa quantificação foi utilizado o método iodométrico, proposto por RAKNESS et al. (1996) (Apêndice A).

4.4.3 Análise estatística

Após a realização dos processos de desinfecção, foram realizadas novas análises, seguindo o descrito no item 4.3. Os resultados obtidos após a desinfecção com diferentes concentrações de cloro e diferentes tempos de contato de ozonização foram comparados a partir da análise estatística utilizando a ferramenta ANOVA (Análise de variância), considerando um nível de significância de 95%.

A análise de variância permite avaliar afirmações sobre as médias dos parâmetros avaliados, verificando se existe diferença significativa entre eles. Isso é verificado a partir do “p valor” obtido pela análise.

4.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS APÓS DESINFECÇÃO À PADRÕES DE QUALIDADE

Os resultados das análises obtidos após os tratamentos propostos para águas pluviais foram comparados com padrões de qualidade da água recomendados pelas normas técnicas NBR 15527 (ABNT, 2007) e NBR 13969 (ABNT, 1997), pelo manual de conservação de reuso da água do estado de São Paulo (Ana, FIESP e SindusCon-SP, 2007) e guias de boas práticas dos Estados Unidos da América (US. EPA., 2004), do Estado do Texas (2006) e do Reino Unido (BS 8515, 2009), a fim de identificar os usos para os quais estas águas podem ser destinadas após os diferentes tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL

O período de monitoramento para caracterização quantitativa da água pluvial foi de fevereiro a junho de 2018, sendo analisados 12 eventos de precipitação, abrangendo eventos representativos de verão e inverno.

A Tabela 13 apresenta as informações climatológicas dos dias de coleta, bem como características dos eventos de precipitação analisados.

Tendo em vista que o conjunto de reservatórios possui capacidade de armazenamento para os primeiros 7 mm de precipitação, somente o evento do dia 22 de fevereiro de 2018 foi coletado em sua totalidade.

Tabela 13 – Condições climatológicas e características quantitativas da água pluvial por evento analisado

COLETA			EVENTO ANALIZADO			
Dia	Temp. méd. do ar	Radiação	Nº de dias antecedentes sem chuva (dias)	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade média (mm h ⁻¹)
	(°C)	(MJ m ⁻²)				
20/02/18	22,55	6,65	8	4,40	3	1,47
21/02/18	21,95	19,34	0	51,80	9	5,76
01/03/18	24,05	15,72	7	23,00	7	3,29
20/03/18	18,33	11,92	0	12,60	7	1,80
25/03/18	19,63	12,33	3	63,40	14	4,53
02/04/18	21,60	13,60	0	12,20	12	1,02
13/04/18	19,23	2,52	9	9,20	6	1,53
22/04/18	22,51	16,20	0	96,80	7	13,83
11/05/18	19,81	8,75	10	13,40	10	1,34
18/05/18	14,47	1,31	6	9,20	10	0,92
01/06/18	16,66	1,96	0	13,60	5	2,72
12/06/18	16,45	2,29	0	15,00	3	5,00

Fonte: Elaborado pelo Autor, a partir de dados do INMET.

Conforme a Tabela 13, é possível verificar a grande variabilidade nas características da precipitação dos eventos avaliados. Os resultados de precipitação variaram entre 4,40 mm e 96,80 mm, com tempo de duração de 03 horas até 14 horas,

e intensidade média variando entre 0,92 mm h⁻¹ e 13,83 mm h⁻¹. Alguns eventos caracterizaram-se pelo grande volume de chuva e intensidade média de precipitação elevada em comparação com os demais eventos, como foi o caso do evento de coleta no dia 22 de abril.

Embora muitos eventos proporcionam alto volume de precipitação, somente o volume total de 280 L é capaz de ser armazenado no sistema, sendo assim, na maioria dos eventos, boa parte da água coletada foi extravasada do reservatório de armazenamento.

Além das características da precipitação, como volume, duração da chuva e intensidade média do vento de precipitação, o número de dias sem chuva é um importante fator a ser considerado, pois os eventos de precipitação anteriores interferem nas concentrações de poluentes acumulados sobre o telhado.

A radiação solar total no dia e a temperatura média diária, em relação ao dia de coleta, também podem ser consideradas bastante variáveis, porém devemos levar em conta que os dados foram obtidos em diferentes estações do ano. A temperatura média do ar variou de 14,47 a 24,05 °C, e a radiação total diária de 1,31 a 19,34 MJ m⁻² durante o período da coleta. Esses dois fatores podem influenciar de maneira significativa a qualidade da água em função do caráter desinfetante tanto do calor como da radiação.

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA PLUVIAL

A qualidade da água da chuva na atmosfera difere da qualidade após sua passagem pela área de captação e após armazenamento no reservatórios (PETERS, 2006). De maneira geral, os poluentes se incorporam à água da chuva durante a precipitação atmosférica, sendo que, suas variáveis podem afetar diretamente a qualidade da água coletada.

As concentrações mais elevadas de material particulado estão presentes na parte inicial dos eventos de escoamento do telhado, e à medida que a duração da chuva aumenta, essa concentração deve diminuir. Ainda, há uma lavagem incompleta na fase inicial de eventos de intensidade relativamente menores.

Os eventos monitorados, e apresentados na Tabela 13 foram caracterizados qualitativamente. Sendo que, as análises foram feitas a partir de amostras coletas no dispositivo de descarte dos dois primeiros milímetros de precipitação, após passagem

pelo filtro (Des.) e no reservatório de armazenamento (Arm.), após o preenchimento do sistema de descarte.

Os resultados encontrados para os parâmetros pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica e coliformes totais, estão apresentados na Tabela 14. Para o parâmetro *E. Coli.*, foi encontrado como resultado ausência em 100 mL, em todos os eventos analisados.

Tabela 14 - Características qualitativas da água pluvial por evento analisado

EVENTO	pH		Cor		Turbidez		Condutividade		Coliformes Totais	
	-		(uH)		(UNT)		$(\mu\text{S cm}^{-1})$		$(\text{NMP } 100\text{mL}^{-1})$	
	Des.	Arm.	Des.	Arm.	Des.	Arm.	Des.	Arm.	Des.	Arm.
20/02/18	6,01	6,20	35,0	22,0	0,02	0,02	18,40	14,30	101120	72150
21/02/18	6,05	6,17	5,8	5,2	0,02	0,02	11,40	8,39	3070	1870
01/03/18	6,2	6,42	25,8	18,0	0,02	0,02	22,97	16,13	14300	3240
20/03/18	6,3	6,35	20,5	15,7	0,02	0,02	18,30	10,18	27500	24810
25/03/18	6,46	6,55	14,2	9,8	0,02	0,02	15,71	11,03	4730	3270
02/04/18	6,41	6,49	22,0	20,0	0,02	0,02	14,75	21,08	36540	16500
13/04/18	6,57	6,76	38,0	31,0	0,02	0,02	36,32	25,11	54930	37840
22/04/18	6,81	6,93	8,6	5,5	0,02	0,02	15,40	8,93	2390	2140
11/05/18	6,68	6,88	25,1	19,0	0,02	0,02	17,03	15,80	51720	45750
18/05/18	6,83	6,73	38,0	26,2	0,02	0,02	32,75	17,30	30760	21430
01/06/18	6,32	6,36	20,0	15,3	0,02	0,02	30,45	10,70	43520	20450
12/06/18	6,21	6,46	21,6	18,8	0,02	0,02	29,11	12,59	5200	4740
Média	6,404	6,525	22,88	17,21	0,02	0,02	21,88	14,30	31315	850054227

Fonte: O Autor.

Os resultados mostrados na Tabela 14 indicam que a turbidez encontrada nas análises de qualidade de água, tanto no sistema de descarte, quanto no reservatório de armazenamento, apresenta valores constantes de 0,02 UNT. Esse valor é considerado baixo, e evidência a eficiência do filtro instalado no sistema para remoção de partículas que influenciam este parâmetro. A Figura 13 ilustra os materiais retidos no sistema de filtração, como folhas e partículas sólidas.

Figura 13 – Materiais e partículas retidas no filtro instalado no sistema



Fonte: O Autor.

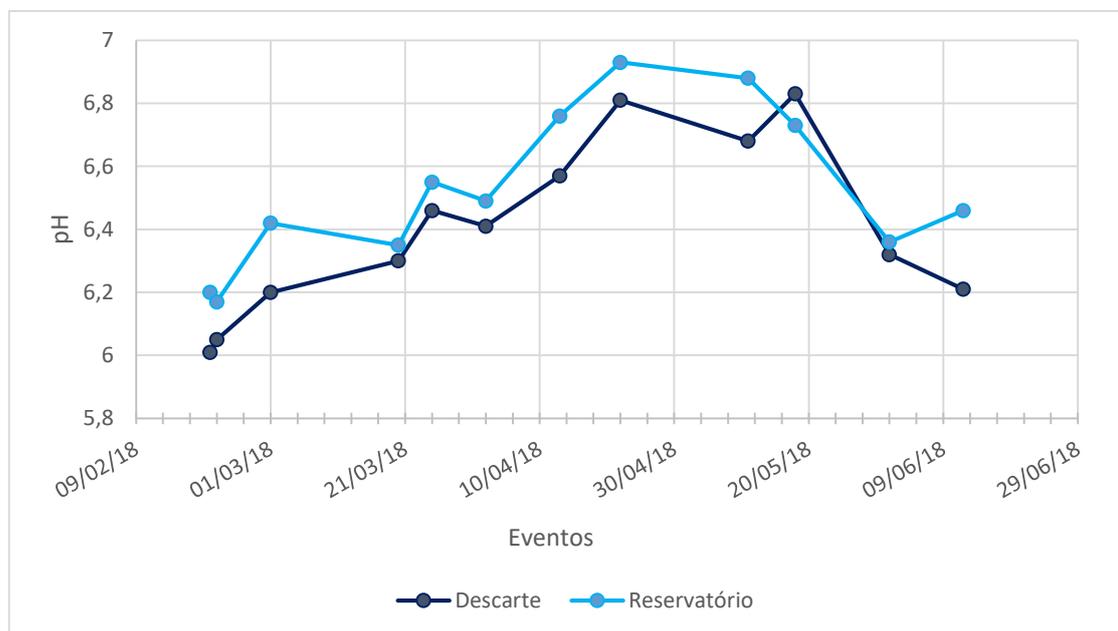
Em relação ao pH, os sólidos dissolvidos e os gases dissolvidos estão entre os principais fatores que o afetam. Comumente, os compostos presentes na atmosfera conferem um caráter ácido para a água da chuva, enquanto que, ao passar pela área de captação, o pH da água pluvial é modificado por influência do material das superfícies e das impurezas sobre elas.

A Figura 14 mostra os valores estimados do pH no reservatório de descarte e de armazenamento, para cada evento avaliado.

Nos eventos analisados, os valores de pH apresentaram pouca variação, tanto para água coletada no dispositivo de descarte, quanto para a coletada no reservatório de armazenamento. No geral, os resultados encontrados situam-se um pouco abaixo da neutralidade ($\text{pH}=7$).

O pH da água coletada no armazenamento variou entre 6,02 e 6,93, esses valores foram um pouco maiores se comparados com os encontrados no reservatório de descarte, onde o pH das amostras variou entre 6,01 e 6,83. Considerando o teste “t de Student”, considerando nível de significância de 95%, estatisticamente não houve diferença significativa entre os valores encontrados no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento ($P > 0,05$).

Figura 14 - Valores de pH no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado



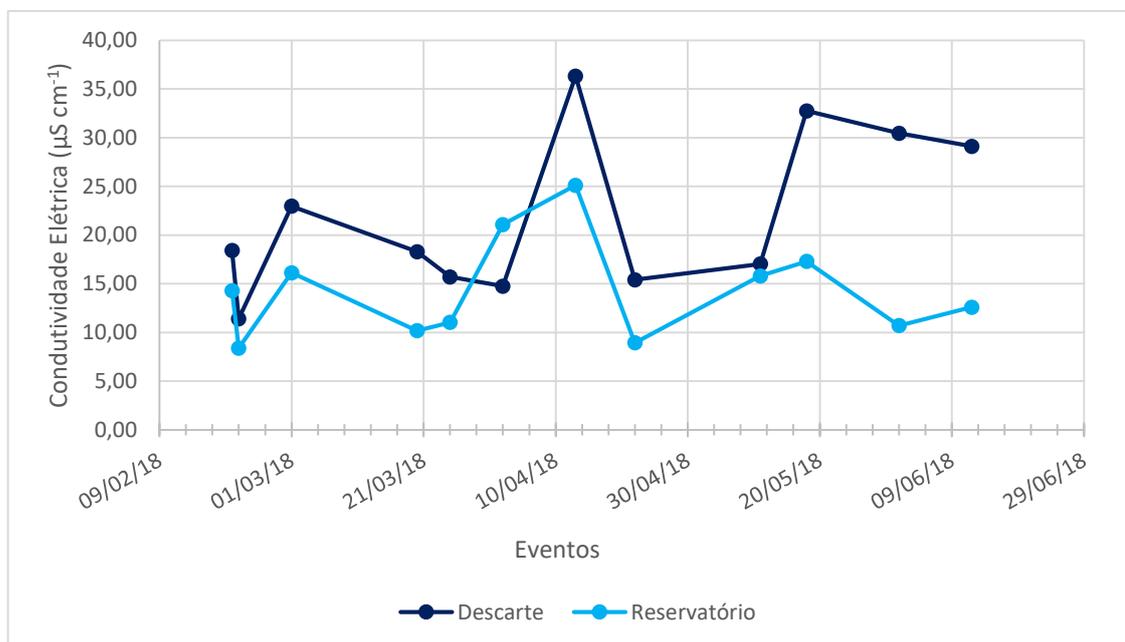
Fonte: O Autor.

A Figura 15 apresenta a variação da condutividade elétrica nas amostras de água nos diferentes dias avaliados. Os compostos orgânicos e inorgânicos contribuem ou interferem na condutividade, de acordo com sua concentração na amostra, sendo assim, a condutividade elétrica na água é representada em sua maioria por sólidos dissolvidos.

Esse parâmetro obteve significativa variação estatística ($P < 0,05$), variando entre 11,4 e 36,32 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no sistema de descarte, e entre 8,39 e 25,11 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no reservatório de armazenamento. Em geral, os valores mais elevados de condutividade ocorreram nos volumes iniciais da precipitação, mesma tendência observada por Cipriano (2004), provavelmente em função da concentração dos materiais sobre o telhado, muitos deles na forma de sólidos dissolvidos.

Hagemman (2009), que avaliou a qualidade da água pluvial coletada diretamente da atmosfera e após passagem pelo telhado, encontrou maiores valores de condutividade elétrica em águas coletadas do telhado, conferindo esse resultado possivelmente aos sólidos dissolvidos depositados sobre os mesmos.

Figura 15 - Valores de condutividade elétrica no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado

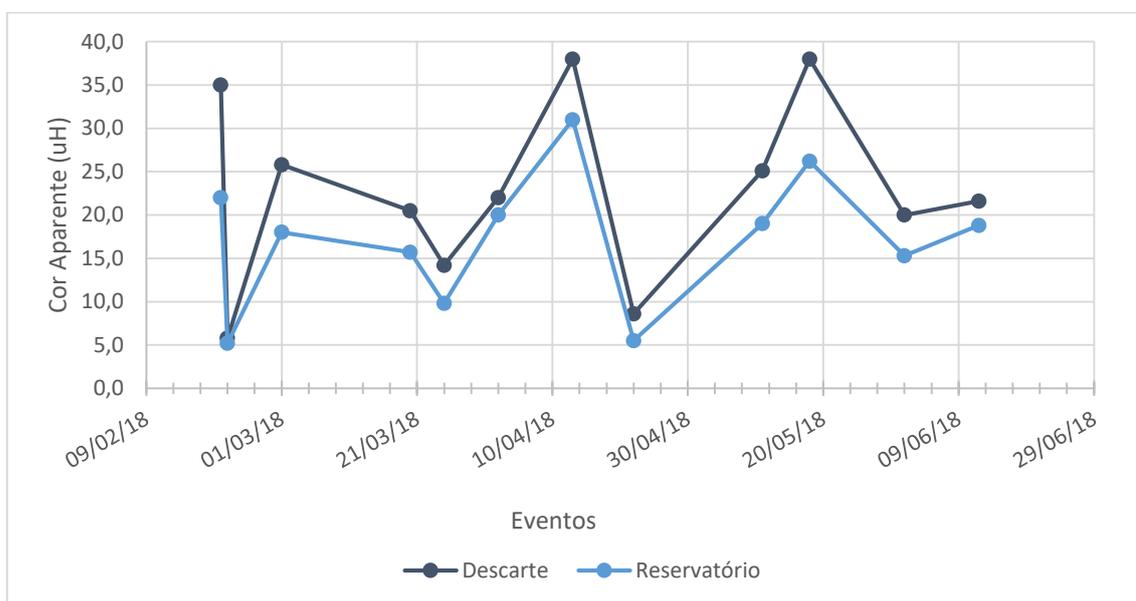


Fonte: O Autor.

A variável cor aparente (Figura 16) apresentou menores valores no reservatório de armazenamento se comparado com o volume descartado, visto que a retenção dos primeiros milímetros de chuva garante uma água de melhor qualidade ingressando no reservatório de armazenamento, porém, estatisticamente essa variação não foi considerada significativa. A cor aparente variou entre 5,8 e 38 uH, no descarte, e entre 5,2 e 31 uH, no armazenamento. Essa mesma tendência também foi verificada por May (2004), Cipriano (2004) e Hagemann (2009).

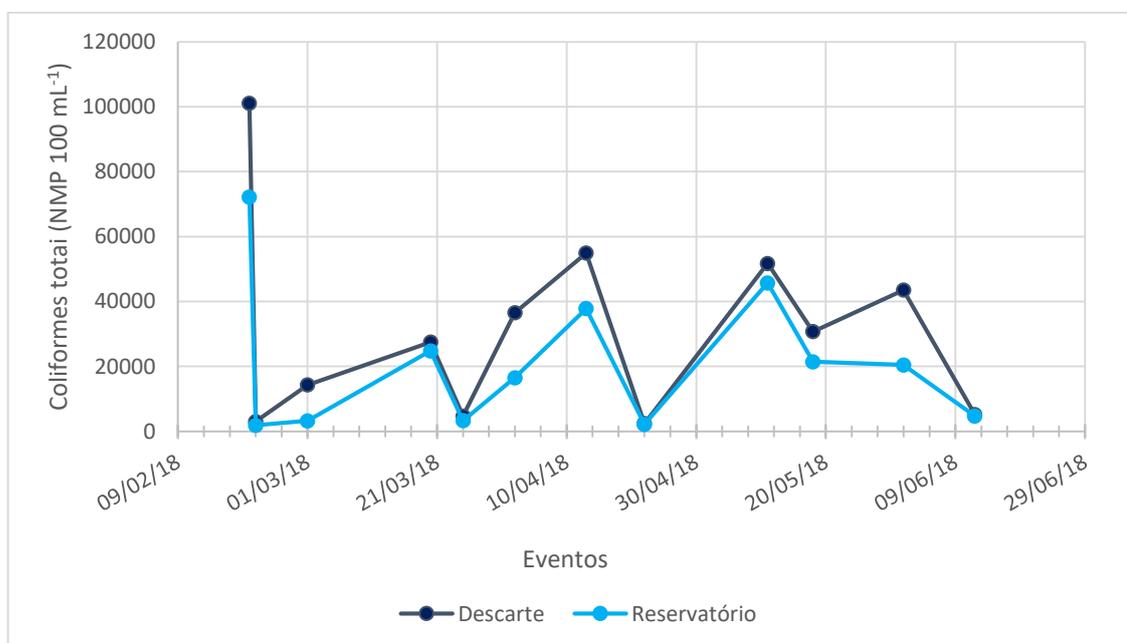
O mesmo fato pode ser percebido em relação aos coliformes totais (Figura 17), onde Número Mais Provável de coliformes totais variou entre 2390 e 101120, no descarte, e entre 1870 e 72150, no reservatório de armazenamento.

Figura 16 - Valores de cor aparente no dispositivo de descarte e no reservatório de armazenamento para cada evento avaliado



Fonte: O Autor.

Figura 17 - Número Mais Provável de coliformes totais para cada evento de precipitação



Fonte: O Autor.

5.3 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS

As condições meteorológicas como intensidade, duração e tipo de chuva, regime dos ventos e estações do ano tem forte influência sobre as características da água pluvial (PHILIPPI et al., 2006).

A intensidade da precipitação (energia da gota da chuva) pode influenciar no poder de arraste da água, de forma que, chuvas com pequena intensidade, possivelmente terão um poder de carreamento dos materiais depositados sobre o telhado reduzido em comparação a chuvas mais intensas, além disso, chuvas com maior volume precipitado terão maior diluição dos poluentes, considerando um volume restrito do reservatório. Da mesma forma, o número de dias consecutivos sem precipitação anterior ao evento também se apresenta como um fator importante a ser considerado, pois a ausência de eventos de precipitação anteriores interferem nas concentrações de poluentes acumulados sobre o telhado.

Sendo assim, realizou-se uma relação entre as principais características da precipitação nos eventos analisados e variáveis qualitativas da água da chuva, tanto da água retida no sistema de descarte, como na água armazenada no reservatório. Os parâmetros cor aparente e coliformes totais apresentaram melhor associação aos dados coletados, desta forma, foram escolhidos para esta análise.

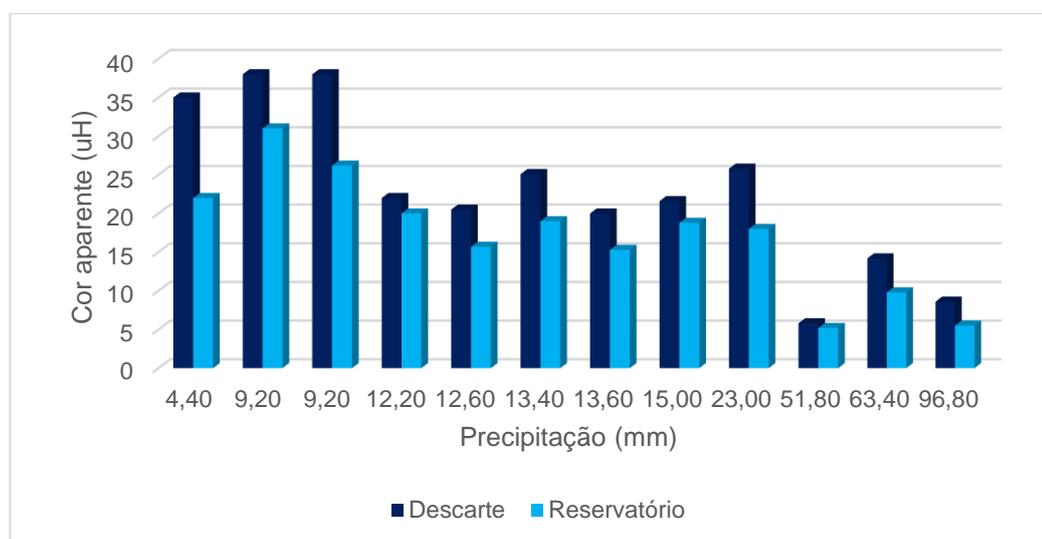
5.3.1 Cor

A análise de cor indica a profundidade de penetração de luz, e é importante em função do efeito estético que propicia para a água. As Figuras 18 e 19 mostram os valores médios de cor aparente por evento analisado para as amostras coletadas no sistema de descarte e no reservatório de armazenamento, em relação ao volume de precipitação e número de dias consecutivos sem chuva, respectivamente.

Os resultados de cor aparente encontrados (Figura 18) considerando volume de precipitação de até 23 mm, variou de 20 à 38 uH, no dispositivo de descarte, e de 15,3 à 31,0 uH no reservatório de armazenamento. Para as precipitações maiores que 50 mm, esses valores variaram de 5,8 à 14,2 uH (descarte) e 5,2 à 9,8 uH (armazenamento). Sendo verificado para esses intervalos diferença significativa ($P < 0,05$) nos valores encontrados.

Os resultados encontrados apresentam uma tendência de diminuição da cor com aumento do volume de precipitação, tanto para as amostras coletadas no sistema de descarte, quanto no reservatório de armazenamento. Neste estudo, o reservatório tinha capacidade de 200 L de armazenamento, atingido esse volume, a água passava a extravasar, diluindo a água em seu interior, melhorando assim a qualidade da água pluvial.

Figura 18 – Valores de cor aparente encontrados nos eventos avaliados considerando o volume de precipitação

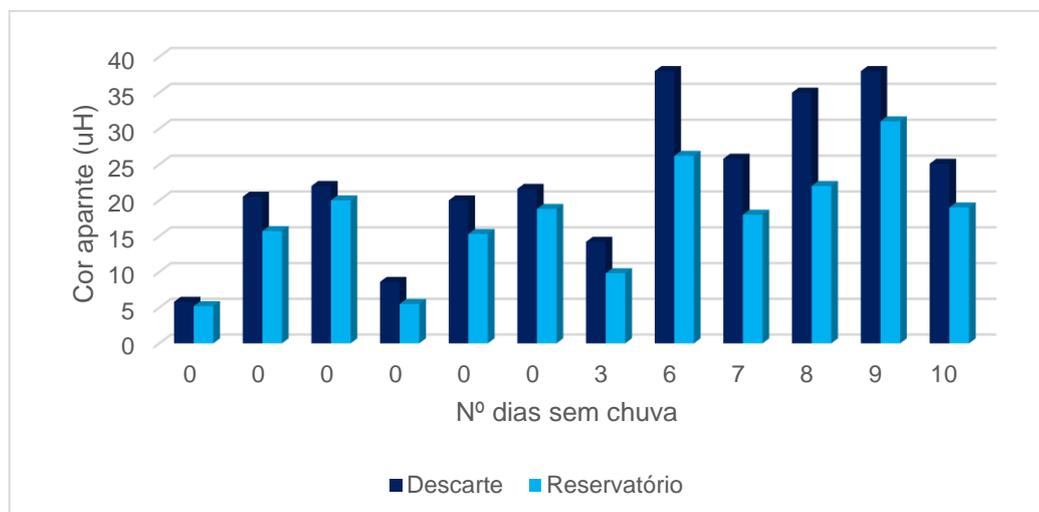


Fonte: O Autor.

Em relação ao número de dias sem precipitação antecedente (Figura 18), há uma diminuição da cor aparente nos eventos que tiveram um menor número de dias sem chuva antecedente devido ao acúmulo de poluentes depositados sobre a área de captação, o mesmo foi verificado por Hagemann (2009) em sua pesquisa também realizada na Universidade Federal de Santa Maria.

Neste caso, a diferença significativa foi observada em relação aos eventos que apresentaram de nenhum a três dias consecutivos sem precipitação anterior, com resultados de cor aparente variando de 5,8 à 21,6 uH, no descarte, e 5,2 à 18,8 uH, no reservatório, e aos eventos que obtiveram de 6 a 10 dias sem precipitação anterior, com valores variando entre 25,1 e 38,0 uH (descarte) e entre 18 e 26,2 uH (reservatório).

Figura 19 – Valores de cor aparente encontrados nos eventos avaliados considerando o número de dias consecutivos sem chuva antecedente

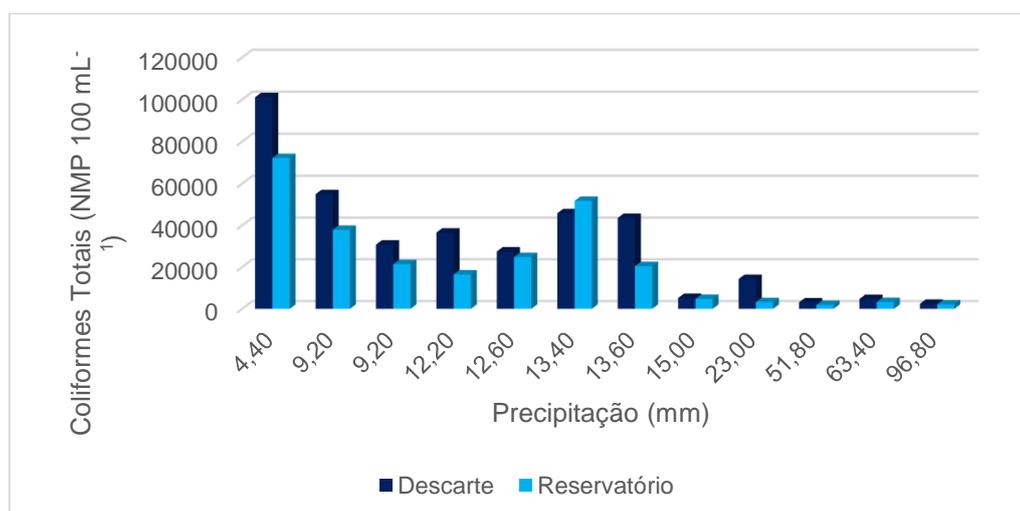


Fonte: O Autor.

5.3.2 Coliformes

A contagem do Número Mais Provável de coliformes totais constitui um fator importante na avaliação da qualidade da água, principalmente em função desse parâmetro apresentar relação direta à contaminação bacteriológica da água. Os resultados encontrados na variação desse parâmetro, em relação às características da precipitação estão apresentados nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Número Mais Provável de coliformes totais nos eventos avaliados considerando o volume de precipitação



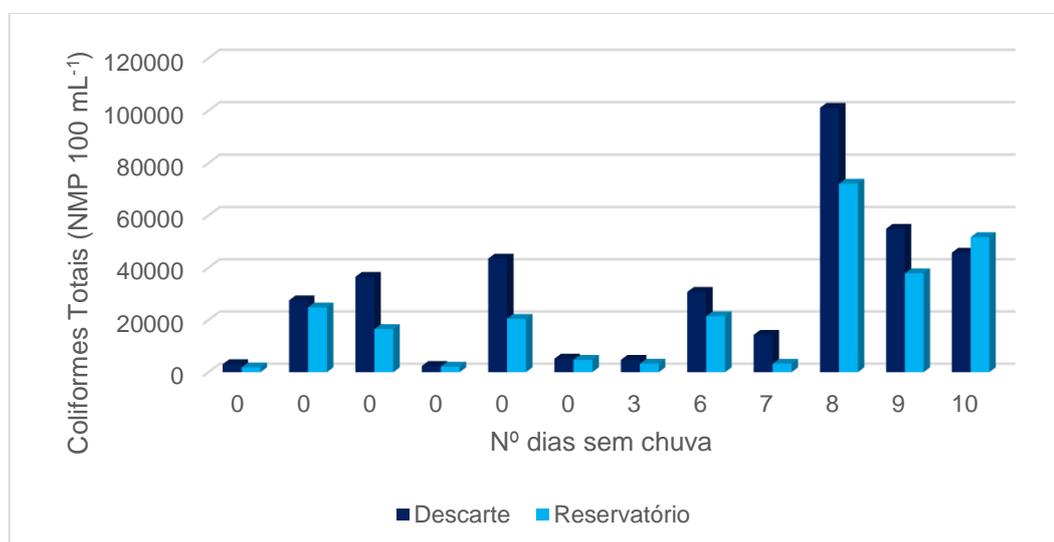
Fonte: O Autor.

Considerando o volume de precipitação (Figura 20), um maior número de coliformes totais foi encontrado nos eventos de menor volume de chuva, de 4,4 até 13,6 mm, sendo que, para o intervalo de precipitação de 15 à 96,8 mm, o número de coliformes foi consideravelmente menor. Para esses intervalos o teste “t de Student” apontou diferença significativa para os valores encontrados tanto no descarte como no reservatório.

Esse fato ocorreu provavelmente em função da maior diluição da água no interior do reservatório (capacidade de armazenamento restrita) em maiores volumes de precipitação.

A mesma tendência pode ser notada na Figura 21. Em relação ao número de dias sem chuva, valores consideravelmente mais elevados de Número Mais Provável coliformes em 100 mL de amostra foram encontrado em eventos que apresentaram 8, 9 e 10 dias sem precipitação antecedente, porém, estatisticamente essa diferença não foi considerada significativa.

Figura 21 – Número Mais Provável de coliformes totais nos eventos avaliados considerando número de dias consecutivos sem chuva antecedente



Fonte: O Autor.

Nas figuras apresentadas é possível identificar uma linha de tendência, principalmente analisando os extremos dos gráficos, porém significativas variações e alguns picos podem ser notados, representando a dificuldade de definição de um padrão para águas pluviais em função da análise das variáveis envolvidas de forma isolada.

Para facilitar a compreensão dos resultados obtidos, possibilitar uma melhor relação e caracterização das águas pluviais em função das características de qualidade obtidas, e compreender as variações encontradas, as figuras a seguir expressam as relações de qualidade da água considerando os parâmetros de precipitação de forma conjunta por evento estudado. Os eventos estão apresentados em forma crescente de volume de precipitação (Tabela 15).

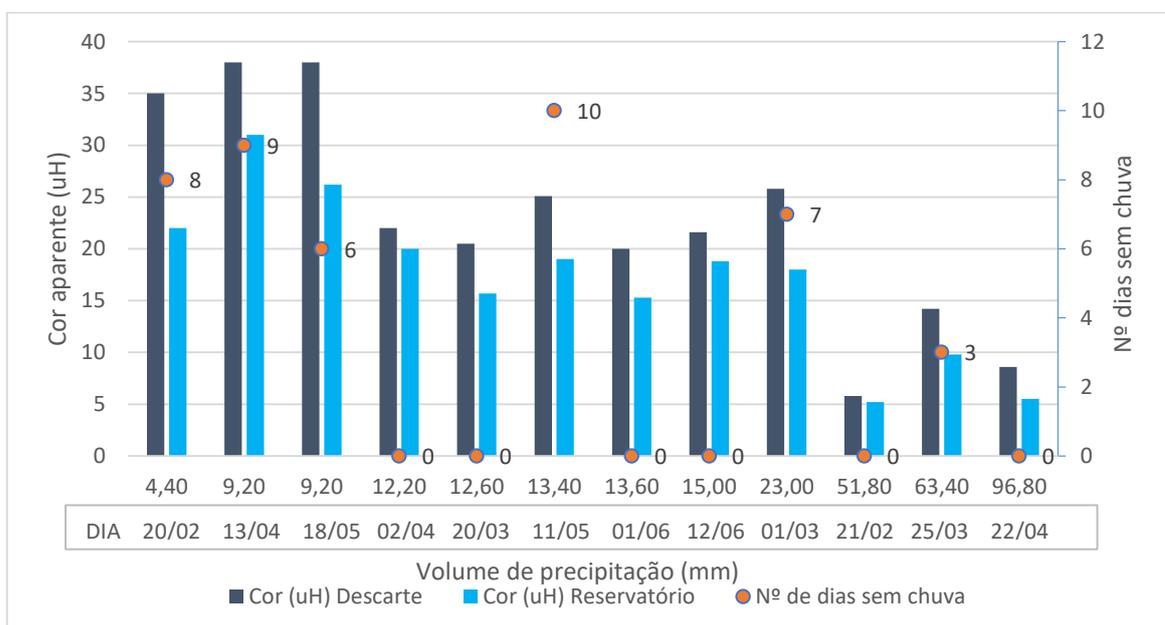
Tabela 15 - Características quantitativas e qualitativas dos eventos avaliados em ordem crescente de volume de precipitação

Dia	Precipitação (mm)	Nº de dias sem chuva	Cor (uH)		C. Totais (NMP 100 mL ⁻¹)	
			Descarte	Reservatório	Descarte	Reservatório
20/02/18	4,40	8	35	22	101120	72150
13/04/18	9,20	9	38	31	54930	37840
18/05/18	9,20	6	38	26,2	30760	21430
02/04/18	12,20	0	22	20	36540	16500
20/03/18	12,60	0	20,5	15,7	27500	24810
11/05/18	13,40	10	25,1	19	45750	51720
01/06/18	13,60	0	20	15,3	43520	20450
12/06/18	15,00	0	21,6	18,8	5200	4740
01/03/18	23,00	7	25,8	18	14300	3240
21/02/18	51,80	0	5,8	5,2	3070	1870
25/03/18	63,40	3	14,2	9,8	4730	3270
22/04/18	96,80	0	8,6	5,5	2390	2140

Fonte: O Autor.

A Figura 22 apresenta essa relação em função da cor aparente. Como mostrado anteriormente, esse parâmetro de qualidade, considerando volume de precipitação até 23 mm obteve os maiores valores encontrados, e as precipitações maiores de 50 mm apresentaram menores valores, indicando uma tendência de diminuição da cor com aumento do volume de precipitação, porém, alguns eventos não convergem a essa linha.

Figura 22 - Cor aparente em função das variáveis quantitativas da precipitação do eventos avaliados



Fonte: O Autor.

Os dois eventos de precipitação de 9,2 mm apresentaram maiores valores de cor aparente, em relação ao evento apresentado anteriormente de menor precipitação (4,4 mm). No caso da amostra de água coletada no dia 13/04, o número de dias sem precipitação foi maior, proporcionando maior acúmulo de poluentes sobre o telhado. Em relação ao evento do dia 18/05, não é possível encontrar, dentre os parâmetros de avaliados, o fator que pode ter levado a elevação do parâmetro cor na análise realizada. Outros fatores podem ter influenciado a obtenção deste resultado, como por exemplo, velocidade do vento, alteração da situação de contorno da área e umidade do ar.

Outro evento que se destacou, foi o dia 11/05 (13,4 mm), neste evento é mais nítida a influência do número de dias consecutivos sem precipitação anterior, pois houve um aumento considerável da cor aparente, mesmo com aumento da precipitação. O mesmo ocorre no evento do dia 01 de março de 2018 (23 mm), em que o número de dias sem chuva passou para 7.

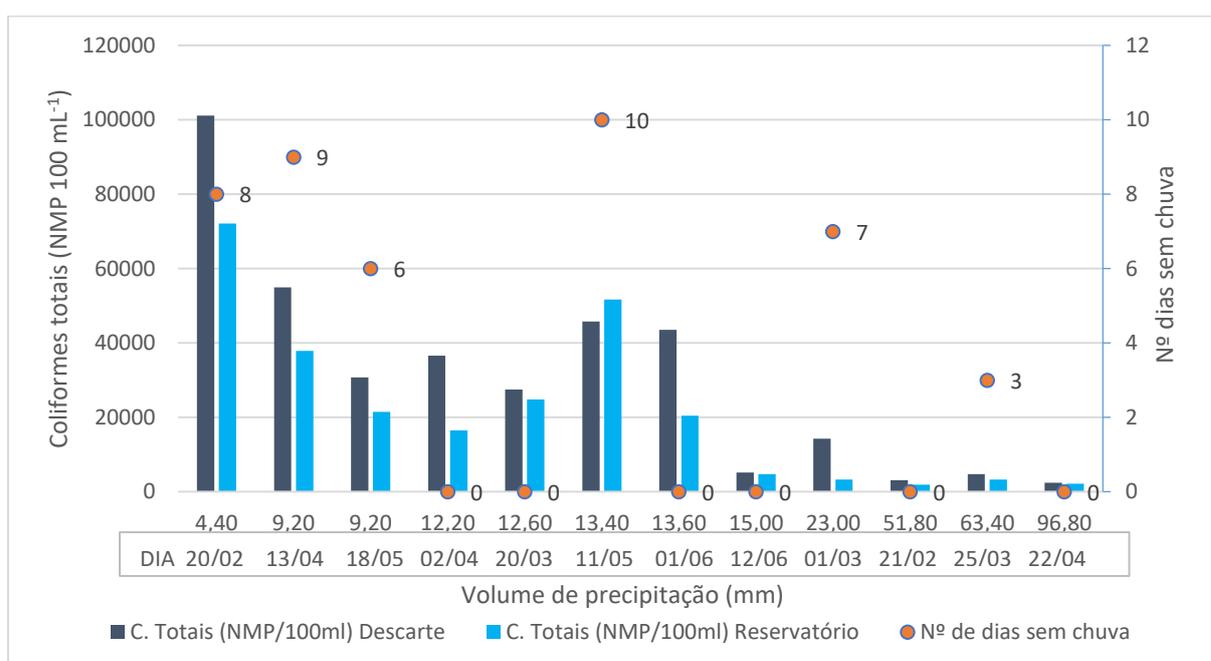
Considerando os evento de volume de chuva superior a 50 mm, o evento do dia 25/03 (63,4 mm), apresentou maior valor de cor aparente do que o de precipitação 51,8 mm, contra o esperado, de melhor qualidade para eventos de maior volume de chuva. Além disso, a capacidade limitada do reservatório proporcionaria maior diluição

da água coletada com aumento do volume de chuva. Porém, o mesmo fato descrito anteriormente pode ser notado, maior número de dias sem precipitação antecedente.

O evento do dia 22/04, embora apresente o maior volume de precipitação, e menor número de dias sem chuva, não proporcionou o menor valor de cor aparente, evidenciando novamente o fato de que outros fatores como, temperatura do ar e radiação solar, condições do entorno, podem afetar diretamente a qualidade da água da chuva.

A mesma relação feita para parâmetro cor aparente está apresentada na Figura 23 considerando o Número mais Provável de coliformes totais.

Figura 23 - Coliformes totais em função das variáveis quantitativas da precipitação do eventos avaliados



Fonte: O Autor.

Considerando o NMP de coliformes totais, os primeiros dois eventos de precipitação de 4,4 mm e 9,2 mm relacionam-se melhor com o menor volume de precipitação e grande número de dias consecutivos sem precipitação antecedente, fornecendo um Número Mais Provável de coliformes totais elevado. À medida que o número de dias sem chuva diminui para 6, embora apresente mesmo volume de precipitação que o evento mostrado anteriormente no gráfico, a qualidade da água, considerando os coliformes totais, melhora.

No caso do evento subsequente de 12,2 mm, dentre os parâmetros avaliados, não é possível determinar o porquê do número de coliformes aumentar, pois o volume de precipitação aumentou e no dia anterior foi registrado chuva. Como visto, esses fatores deveriam levar à melhora da qualidade da água da chuva escoada. No caso da determinação do NMP de coliformes, outros fatores, além da velocidade do vento, alteração da situação de contorno da área e umidade do ar, podem ter influência na qualidade da água, como temperatura do ar e nível de radiação diária, considerando o fato de que o calor e a radiação possuem poder desinfetante.

Em relação ao evento de precipitação de 13,4 mm é possível identificar o acréscimo no número de coliformes totais, apesar do aumento da precipitação, pelo grande número de dias sem precipitação antecedente, o mesmo ocorre nos eventos de volume de 23 mm e de 63,4 mm.

5.4 DESINFECÇÃO

Dos 12 eventos analisados, 9 amostras coletadas passaram pelos testes de desinfecção. Os resultados encontrados para as análises de pH, condutividade elétrica e coliformes totais, nas mostras de águas pluviais coletadas no reservatório de armazenamento e após passarem por diferentes testes de desinfecção, utilizando cloro, em diferentes concentrações, e ozônio, em diferentes tempos de contato, estão expressos nas Tabelas 16 à 19. Para todas as amostras, o resultado para *E. coli* foi ausente.

A Tabela 16 apresenta os valores médios encontrados para o pH. Em geral, a pH da água após desinfecção, cloração e ozonização, apresentaram valores inferiores aos observados no reservatório de armazenamento.

O pH da água tratada com cloro, na concentração de 0,5 mg L⁻¹, variou entre 5,65 e 7,18, e o valor médio foi de 6,23, na concentração de 1,0 mg L⁻¹ os valores ficaram entre 5,8 e 6,36, com média de 6,01, e na concentração de 1,5 mg L⁻¹ os valores variaram de 5,65 até 6,47, e a média foi 6,09.

Analisando os valores de pH obtidos para os diferentes tempo de contato de ozonização, com 5 minutos, o pH das amostras variou de 5,33 à 6,64, com média de 5,95, com 10 minutos o valor variou entre 5,14 e 6,74, com valor médio em 6,14, e com 15 minutos de ozonização o pH ficou entre 5,3 e 6,69, apresentado média de 6,09

Em relação as médias obtidas após desinfecção, os valores encontrados não apresentaram grande variação, não sendo possível definir uma relação entre concentração de cloro, ou tempo de ozonização, e crescimento ou decaimento do pH. Nos dois casos os valores observados não apresentaram diferença estatística significativa, segundo o teste ANOVA com significância de 95% (p valor > 0,05).

Tabela 16 - pH das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção

EVENTO	Reservatório (Antes do tratamento)	Cloro			Ozônio		
		0,5 mg L ⁻¹	1,0 mg L ⁻¹	1,5 mg L ⁻¹	5 min	10 min	15 min
20/02/18	6,20	5,74	6,01	6,00	5,33	5,14	5,30
21/02/18	6,17	5,65	6,05	5,84	5,48	5,95	5,99
01/03/18	6,42	5,83	6,11	5,95	6,54	6,42	6,40
25/03/18	6,55	6,20	5,80	6,39	5,89	6,02	6,30
02/04/18	6,49	6,37	5,80	6,39	5,77	6,11	6,21
13/04/18	6,76	6,03	6,01	5,97	6,64	6,74	6,69
22/04/18	6,93	7,18	6,36	6,47	6,03	6,29	6,40
18/05/18	6,73	6,52	5,98	6,19	5,66	6,39	6,20
12/06/18	6,46	6,54	5,96	5,65	6,24	6,20	5,30
Média	6,52	6,23	6,01	6,09	5,95	6,14	6,09
Desvio padrão	0,252	0,485	0,168	0,281	0,453	0,444	0,485

Fonte: O Autor.

A Tabela 17 ilustra os valores obtidos para condutividade elétrica da água coletada no reservatório e após os diferentes processos de desinfecção realizados. Os menores valores encontrados referem-se a água coletada no reservatório de armazenamento, seguido da ozonização, e por fim, os maiores valores de condutividade elétrica, foram detectados após desinfecção por cloro.

Considerando a desinfecção com cloro, o valor médio obtido nos eventos avaliados para as concentrações de 0,5; 1,0 e 1,5 mg L⁻¹ foi de 19,43; 19,54 e 19,32 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente, e não foi evidenciado diferença significativa entre as diferentes concentrações de cloro aplicado (p valor > 0,05). O mesmo ocorreu em relação ao tempo de contato de ozonização, onde as médias obtidas foram de 17,82 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para 5 minutos, 17,65 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para 10 minutos, e 17,41 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para 15 minutos.

Tabela 17 - Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção

EVENTO	Reservatório (Antes do tratamento)	Cloro			Ozônio		
		0,5 mg L ⁻¹	1,0 mg L ⁻¹	1,5 mg L ⁻¹	5 min	10 min	15 min
20/02/18	14,30	21,70	22,40	21,90	16,30	17,50	16,40
21/02/18	8,39	14,50	13,54	14,77	13,51	12,10	10,51
01/03/18	16,13	20,50	20,98	17,90	18,36	17,90	17,42
25/03/18	11,03	20,30	19,54	15,83	15,20	17,92	20,30
02/04/18	21,08	17,31	19,62	19,92	16,37	16,72	16,58
13/04/18	25,11	27,00	27,36	27,00	27,43	29,80	30,01
22/04/18	8,93	11,62	12,87	15,02	15,95	11,16	10,05
18/05/18	17,30	21,75	22,48	23,35	22,22	21,56	20,57
12/06/18	12,59	20,20	17,09	18,22	15,02	14,18	14,85
Média	14,98	19,43	19,54	19,32	17,82	17,65	17,41
Desvio padrão	5,572	4,474	4,563	4,136	4,376	5,578	5,991

Fonte: O Autor.

Nas Tabela 18 e 19, estão indicados os valores obtidos após desinfecção, por cloro e ozônio respectivamente, para o parâmetro coliformes totais. É notável o decaimento do NMP de coliformes em 100 mL a medida que a concentração de cloro e o tempo de contato de ozonização aumentam. O que era esperado em função da ação de controle bacteriológico nos processos de desinfecção. Considerando esse fato, de ação direta do processo de desinfecção na redução do número de coliformes, as Tabelas 18 e 19 também apresentam o percentual de remoção deste parâmetros, para cada tratamento, em função da água coletada no reservatório.

Considerando a cloração, o valor médio obtido para a concentração de 0,5 mg L⁻¹ foi de 1,68 NMP 100 mL⁻¹, para concentração de 1,0 mg L⁻¹ esse valor foi de 0,44 NMP 100 mL⁻¹, chegando a ausência de coliformes na concentração de 1,5 mg L⁻¹ para todas as amostras avaliadas. Para algumas análises realizadas com esse método de desinfecção a 1,0 mg L⁻¹ a remoção de coliformes já apresentou eficiência máxima.

Tabela 18 – NMP de coliformes totais em 100mL das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção com cloro e respectivos percentuais de remoção

EVENTO	Reservatório (Antes do tratamento)	Cloro					
		0,5 mg L ⁻¹		1,0 mg L ⁻¹		1,5 mg L ⁻¹	
		(NMP 100 mL ⁻¹)	(NMP 100 mL ⁻¹)	% remoção	(NMP 100 mL ⁻¹)	% remoção	(NMP 100 mL ⁻¹)
20/02/18	72150	3,1	99,996	2,0	99,997	ausentes	100
21/02/18	1870	1,0	99,947	1,0	99,947	ausentes	100
01/03/18	3240	1,0	99,969	ausentes	100	ausentes	100
25/03/18	3270	1,0	99,969	ausentes	100	ausentes	100
02/04/18	16500	2,0	99,988	ausentes	100	ausentes	100
13/04/18	37840	3,0	99,992	ausentes	100	ausentes	100
22/04/18	2140	1,0	99,953	ausentes	100	ausentes	100
18/05/18	21430	2,0	99,991	1,0	99,995	ausentes	100
12/06/18	4740	1,0	99,979	ausentes	100	ausentes	100
Média	18131,11	1,68	99,976	0,44	99,993		100
Desvio padrão	23616,95	0,89		0,73			

Fonte: O Autor.

Tabela 19 - NMP de coliformes totais em 100mL das amostras coletadas no reservatório de armazenamento e após tratamentos de desinfecção com ozônio e respectivos percentuais de remoção

EVENTO	Reservatório (Antes do tratamento)	Ozônio					
		5 min		10 min		15 min	
		(NMP 100 mL ⁻¹)	(NMP 100 mL ⁻¹)	% remoção	(NMP 100 mL ⁻¹)	% remoção	(NMP 100 mL ⁻¹)
20/02/18	72150	26,0	99,964	8,10	99,989	Ausentes	100
21/02/18	1870	1,0	99,947	ausentes	100	Ausentes	100
01/03/18	3240	5,1	99,843	ausentes	100	Ausentes	100
25/03/18	3270	1,0	99,969	ausentes	100	Ausentes	100
02/04/18	16500	11,1	99,933	2,00	99,988	Ausentes	100
13/04/18	37840	24,3	99,936	11,00	99,971	Ausentes	100
22/04/18	2140	4,1	99,808	1,00	99,953	Ausentes	100
18/05/18	21430	13,3	99,938	1,00	99,995	Ausentes	100
12/06/18	4740	4,1	99,914	1,00	99,979	Ausentes	100
Média	18131,11	10,0	99,917	2,68	99,986		
Desvio padrão	23616,95	9,54		4,02			

Fonte: O Autor

A ausência de coliformes totais também foi atingida em todas as amostras no tempo de contato de ozonização de 15 minutos. Em 5 minutos, o valor médio do NMP de coliformes totais em 100 mL, encontrado nas as amostras foi de 10, e em 10 minutos de 2,68, já apresentando também em alguns casos máxima eficiência.

Nestes dois casos apresentados houve diferença estatística significativa entre os valores encontrados de coliformes totais para as diferentes concentrações de cloro aplicado (p valor = 0,000047) e para os diferentes tempos de contato de ozonização (p valor = .0,0047).

5.5 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE OBTIDOS COM OS LIMITES ESTABELECIDOS PARA CADA USO

A viabilidade da utilização da água da chuva, antes e após desinfecção, e a verificação dos usos apropriados em função da qualidade obtida, foi feita através dos parâmetros de qualidade de água indicados por legislações e guias específicos para reuso e uso não potável da água pluvial.

Em função da desinfecção, foco desta etapa do estudo, ter ação principal sobre os micro-organismos, o parâmetro coliformes foi o escolhido para essa análise. Além desse, o valor médio do pH das amostras de água do reservatório de armazenamento e após tratamentos, também foram comparados, conforme a Tabela 20, às normas e guias:

- NBR 15527 de 2007: Água da chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis;
- NBR 13969 de 1997: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Classe 1;
- Manual de Conservação e reuso da água em edificações (ANA, FIESP E SindusCon-SP, 2007) – Classe 1;
- “*Guidelines for water reuse*” (US. EPA, 2004) - Padrões adotados pelos Estados Unidos.
- “*Rainwater harvesting potencial and guidelines for texas*” (TEXAS, 2006) - Padrão de qualidade para usos não potáveis da água da chuva em residências unifamiliares no Estado do Texas;
- “*Rainwater Harvesting Systems – Code of Practice*” (BS 8515, 2009) - Código de boas práticas do Reino Unido

A Tabela 20 apresenta os valores médios dos parâmetros pH e coliformes, dos eventos avaliados, encontrado no reservatório de armazenamento e após desinfecção, com cloro em diferentes concentrações, e com ozônio, em diferentes tempos de contato.

Tabela 20 - Comparação dos parâmetros avaliados as normas: NBR 15527/2007 e NBR 13969/1997, ao manual: ANA, FIESP e SindusCon-SP/2007 e aos guias internacionais: US. EPA/2004, TEXAS/2006 e BS 8515/2009

	Água do Reservatório antes do tratamento	Cloro			Ozônio			NBR 15527 (2007)	NBR 13969 (1997)	ANA, FIESP e SindusCon-SP (2007)	Guias internacionais		
		0,5 mg L ⁻¹	1,0 mg L ⁻¹	1,5 mg L ⁻¹	5 min	10 min	15 min				Classe 1	Classe 1	US. EPA. (2004)
pH	6,52	6,23	6,01	6,09	5,95	6,14	6,09	6 - 8	6 - 8	6 - 9	6 - 9	-	6 - 8
Coliformes totais (NMP 100 mL⁻¹)	18131,11	1,68	0,44	0,00	10,00	2,68	0,00	Ausência	-	-	-	500	1000
E. coli /coliformes termotolerantes (NMP 100 mL⁻¹)	0	0	0	0	0	0	0	Ausência	200	Ausência	Ausência	100	250

Fonte: O Autor.

Em relação ao pH, os resultados obtidos para a água do reservatório e para a água tratada nos dois tipos de desinfecção, estão de acordo à NBR 15527 de 2007. Apenas para a desinfecção com ozônio no tempo de contato de 5 minutos, que apresentou o valor de 5,95 para o pH, o valor encontrado está fora do recomendado por esta legislação, que recomenda pH entre 6 e 8. Já, levando em consideração o parâmetro coliformes totais, somente os valores encontrados após desinfecção com cloro a uma concentração de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, e desinfecção com ozônio a um tempo de contato de 15 minutos, estariam de acordo com esta legislação, que determina ausência para este parâmetro. Sendo assim, considerando esses parâmetros, a água armazenada no reservatório estaria adequada para usos restritivos não potáveis somente após passar por desinfecção a uma concentração de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro aplicado ou 15 minutos de ozonização.

Considerando a NBR 13969, os resultados obtidos apresentam o atendimento dos parâmetros, pH (exceto para ozonização de 5 minutos) e coliformes, em todas as análises realizadas para os usos mais restritivos da norma: lavagem de carros e entre outros (Classe 1). Deste modo, os parâmetros avaliados também encontram-se dentro do recomendado para os usos da classe 2 (lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes), da classe 3 (reuso nas descargas dos vasos sanitários) e da classe 4 (reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual).

O mesmo ocorre em consideração aos padrões estabelecidos pelo Manual de Conservação e reuso da água em edificações proposto pela ANA, FIESP E SindusCon-SP em 2007. As condições mínimas de qualidade, em relação aos parâmetros avaliados, são alcançadas na primeira classe de uso (uso em descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais e lavagem de roupas e veículos), sendo seu uso adequado nas demais classificações como: classe 2 - uso associado à fase de construção de um edifício (lavagem de agregados, preparação do concreto, compactação do solo e controle de poeira) e classe 3 - Irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

Avaliando os resultados obtidos em relação aos padrões adotados pelos Estados Unidos em seu "*Guidelines for water reuse*" (Guia de conservação da água) para reuso urbano na irrigação, lavagem de veículos, descargas sanitárias, sistemas de ar condicionado, entre outros usos, novamente, somente a água ozonizada a um

tempo de contato de 5 minutos não atende a referida legislação em função do valor do pH estar abaixo do recomendado.

Para o padrão de qualidade para usos não potáveis da água da chuva em residências unifamiliares no Estado do Texas (que estão dispostos no guia que trata do potencial de coleta de chuva e traz diretrizes para o Texas: "*Rainwater harvesting potencial and guidelines for texas*", do ano de 2006) relacionando os resultados obtidos ao padrão de qualidade proposto, a água armazenada no reservatório não seria indicada para os usos sugeridos, pois apresenta NMP de coliformes totais superiores ao recomendado, necessitando de desinfecção. Os valores encontrados para a mínima concentração de cloro aplicada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$) ou tempo de ozonização de 5 minutos já regularizam esse uso.

A Tabela 20, apresenta uma última comparação, esta em relação ao código de boas práticas estabelecido pela Norma BS 8515 de 2009 "*Rainwater Harvesting Systems – Code of Practice*": código de boas práticas do Reino Unido. Os parâmetros de qualidade são recomendados para aproveitamento da água pluvial da água armazenada no reservatório. Embora, esse guia apresente os valores mais altos permitidos para coliformes totais, em relação aos outros guias e legislações apresentados, os resultados encontrados apontam que a água do reservatório necessitaria de algum tratamento, pois os valores de coliformes totais apresentam-se acima do recomendado para aproveitamento da água da chuva.

No caso do ozônio, considerando que a geração de O_3 do ozonizador utilizado no estudo foi de $91,3 \text{ mg h}^{-1}$, realizando os cálculos estequiométricos, a dosagem de ozônio aplicado, respectivamente nos tempo de contato de 05, 10 e 15 minutos, foi de 3,8; 7,6 e 11,4 mg, resultando nas concentrações de $7,6 \text{ mg L}^{-1}$; $15,2 \text{ mg L}^{-1}$ e $22,8 \text{ mg L}^{-1}$ (considerando o volume das amostras que passaram pelo processo de ozonização de 500 mL).

Observado as comparações realizadas e os limites de certos parâmetros para o reuso da água e uso não potável da água da chuva, é praticamente impossível determinar um parâmetro adequado. Alguns parâmetros são fixados em valores mais rigorosos, já algumas resoluções apresentam indicação de qualidade necessária menor, como é o caso dos limites de qualidade fornecidos pelo código de boas práticas do Reino Unido.

Porém, em relação as resoluções e guias estudados, os melhores resultados, que alcançaram todos os padrões sugeridos ao uso não potável, foram atingidos à

uma concentração de cloro aplicado de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ ou ozonização de 15 minutos ($22,8 \text{ mg L}^{-1}$).

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou um sistema experimental de aproveitamento de água da chuva em uma residência unifamiliar de interesse social, e avaliou técnicas de tratamento para águas pluviais coletadas.

Em relação à abordagem quantitativa, desenvolvida por meio da avaliação dos parâmetros climatológicos dos eventos de precipitação, foi possível notar variação dos resultados obtidos, decorrentes da grande variabilidade nas características de precipitação, evidenciando a importância de um período longo de amostragem para boa relação dos dados obtidos.

A abordagem qualitativa, desenvolvida inicialmente por meio da caracterização da água de chuva coletada no sistema de descarte dos dois primeiros milímetros da precipitação e no reservatório de armazenamento, destaca a importância do uso deste dispositivo de descarte, que melhorou a qualidade da água armazenada.

De maneira geral, a qualidade da água pluvial nas amostras coletadas no reservatório de armazenamento apresentaram melhores resultados em relação as amostras de água coletadas no dispositivo de descarte dos dois primeiros milímetros da precipitação. Fato que ocorre devido ao descarte da primeira chuva retirar grande parte do material orgânico proveniente do telhado.

As relações apresentadas entre as variáveis quantitativas e qualitativas demonstram a grande dificuldade de definição de um padrão de qualidade para as águas pluviais, em função das múltiplas variáveis de precipitação envolvidas. Foi possível identificar uma tendência de melhora de qualidade da água à medida em que o volume de precipitação aumenta e o número de dias sem chuva antecedente diminui.

Além disso, diferenças climatológicas, locais e do material do telhado, são fatores que também podem apresentar influência direta nas características da qualidade da água da chuva, tornando a caracterização de águas pluviais extremamente específica e necessária para determinação de um tratamento adequado que não apresente riscos à saúde da população exposta em função do uso pretendido.

Levando em consideração a água coletada na casa popular eficiente da UFSM, em relação às alternativas de tratamento avaliadas, para os parâmetros indicativos de qualidade bacteriológica da água, o sistema de tratamento constituído de filtração,

descarte dos primeiros milímetros de precipitação e desinfecção, constitui uma boa alternativa para tratamento e aproveitamento da água pluvial.

Analisando as resoluções e guias de boas práticas apresentados no estudo, a concentração de cloro de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ ou ozonização de 15 minutos ($22,8 \text{ mg L}^{-1}$), alcançaria os padrões sugeridos para todos os possíveis usos não potáveis da água pluvial. Nestes casos a eficiência de remoção de coliformes totais foi de 100%.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sequência ao desenvolvimento dos estudos realizados nesta dissertação, para trabalhos futuros envolvendo o mesmo tema de pesquisa é sugerido:

- Avaliação de mais parâmetros de qualidade, como sólidos, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, além de, cloretos, ferro, manganês, amônia, nitrato e sulfato;
- Considerar, além das variáveis climatológicas estudadas, velocidade do vento, umidade do ar, radiação solar, temperatura do ar e horas de sol;
- Adotar o maior número possível de intervalo de dados e amostragens;
- Realizar um estudo específico de todas as condições de contorno da área estudada;
- Instalar uma “mini estação” climatológica *in loco*.
- Concluir o estudo com uma relação estatística dos dados, fornecendo equações de variação dos parâmetros de qualidade em função das características climatológicas;
- Em relação à desinfecção, realizar uma análise econômica, considerando as alternativas avaliadas;
- Verificar a eficiência de cada método de desinfecção, para cada concentração de desinfetante;
- Associar outros parâmetros de qualidade aos limites sugeridos pelas resoluções e legislações apresentadas.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 41, p. 2097-2167, 2011.
- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, v. 243, p. 195-207, 2009.
- ABES. **Uso Racional da Água em Edificações**. GONÇALVES, R. F (Coord.). Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352 p.
- AHMED, W; et al. Health Risk Assessment of Roof-Captured Rainwater. **Urban Water Security Research Alliance Technical Report**, v. 77, Australia, 2012.
- AISSE, M. M; et al. Cloração e Descloração. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, cap. 4, p. 113-168, 2003.
- AMODIO, M. et al. Atmospheric deposition: sampling procedures, analytical methods, and main recent findings from the scientific literature. **Advances in Meteorology**, 2014.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: Antac, v. 8, n.4, 2008.
- AMOS, C.C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J.M. Economic analysis and easibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: a review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. **Water** v. 8, n. 4, p. 149, 2016.
- ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2007. **Conservação e reuso da água em edificações: São Paulo**. Prol Editora Gráfica, 2007. 152p.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standar Methods for the Examination of water and Wastewater**. 21 ed. Washington American Public Health Association, 2005. 733p.
- ARBOIT, N. K. S. **Evapotranspiração de *Sedum rupestre* em telhados verdes extensivos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- ASA. Articulação No Semiárido Brasileiro, 2015. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br>> Acesso em: 07 abr. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.626**: Instalação Predial de Água Fria, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15.527**: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

AUSTRALIA. **Australian water quality guidelines for fresh and marine waters**. Australian and New Zeland Environmental conservation Council and Agriculture and resource management council of Australia and New Zeland, Camberra, vol.1. 2000.

BRASIL. **Lei nº. 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, seção 1, v. 135, p. 470, 09 de janeiro de 1997.

_____. **Lei nº.11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007.

_____. **PSL 51**, de 2015. Altera as lei nºs 11.445, de 05 de janeiro de 2007, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036 de 11 de maio de 1990, 8.666 de 21 de junho de 1993, 8.987 de 13 de fevereiro de 1995 para instituir normas sobre abastecimento de água por fontes alternativas. Brasília, DF, 2015.

BRODIE, I. M. Hydrological analysis of single and dual storage systems for stormwater harvesting. **Water Science Technololy**, v. 58, p. 1039-1046, 2008.

BS 8515: **Rainwater Harvesting Systems - Code of Practice**. Reino Unido, 2009. Disponível em: < http://www.harvesth2o.com/adobe_files/UK_BSI.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2017.

BUFFLE, M.; GALLI, S.; VON GUNTEN, U. Enhanced bromate control during ozonation: the chlorine-ammonia process. **Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 19, p. 5187-5195, 2004.

BURIOL, G. A.; et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

BURNS, M. J. et al. The performance of rainwater tanks for stormwater retention and water supply at the household scale: an empirical study. **Hydrological Process**, v. 29, p. 152-160, 2015.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Experimental investigation on water saving by the reuse of washbasin grey water for toilet flushing. **Urban Water Journal**, v. 7, p. 17-24, 2010.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento da águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

DANIEL, L. T.; et al.(Coord). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. PROSAB. Coord. Luiz Antonio Daniel. ABES, Rio de Janeiro, 2001.139 p.

DE JONG P.; et al. Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 526-535, 2013.

DeOREO, W. B.; LANDER, P.; MAYER, P.W. Flow trace analysis to assess water use. **Journal of the american water works association: AWWA**, v. 88, n. 1, p. 79-90, 1996.

DI BERNARDO, L. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. São Carlos (SP): ABES, 2003. 480p.

EGODAWATTA, P.; THOMAS, E.; GOONETILLEKE, A., Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 1834–1841, 2009.

EVANS, F. L. Ozone in water and wastewater treatment. Michigan: **Ann Arbor Science**, 1972. 195p.

FARRENY, R., et al. Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. **Water Research**, v. 45, p. 3245-3254, 2011.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field-testing of a collection system. **Building and Environment**. v.34, n. 9, p. 765-772, 1999.

GELOVER, S., et al. A practical demonstration of water disinfection using TiO₂ films and sunlight. **Water Research** v. 40, p. 3274–3280, 2006.

GHAFFARIANHOSEINI, A., et al. State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, p. 95-104, 2016.

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

GONÇALVES, R. F. (Coord). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003. 438p.

GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reuso de águas cinzas em edificações urbanas – Estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). *Revista AIDIS*, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

GOULD, J., NISSEN-PETERSEN, E., Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Intermediate Technology Publications, 1999.

GRAY, N. F., Microbiology of Waterborne Diseases Microbiological Aspects and Risks. Waltham, MA, USA, p. 617-630, 2014.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade de água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

HAMDAN, S. M. A literature based study of stormwater harvesting as a new water resource. **Water Science & Technology**. v. 60, p. 1327-1339, 2009.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2010.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 118-124, 2009.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 307–316, 1999.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico: Uma visão realista. In: **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, SP. p. 249-304, cap.8, 1999.

HUANG, S. L.; YEH, C. T.; CHANG, L. F. The transition to an urbanizing world and the demand for natural resources. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 136-143, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações automáticas**. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Último acesso em: 25 jun. 2016.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P. Novas tendências no tratamento de Efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LEE, J.Y., et al. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 896-905, 2010.

LEE, J. H., et al. First flush analysis of urban storm runoff. **Science of the Total Environment**, v. 293, p. 163–175, 2002.

LEONG, J. Y. C.; et al. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3014-3027, 2017.

MARINOSKI D. L.; GHISI E., GOMEZ L. A. Rainwater harvesting and rainwater tank sizing: a case study in a multi-storey residential building located in Florianópolis, Southern Brazil. **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo-SP, 2004.

MAUSTELLER, J. W. *Ozone*. **MSA Research Corporation**, 1989.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009, 200p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MAY, S. **Estudo do aproveitamento de águas pluviais para o consumo não potável em edificações**. 2004, 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Pulo, 2004.

MEIERHOFER, R., WEGELIN, M. **Desinfecção Solar da água** – Guia de aplicações do SODIS. SANDEC (Water & Sanitation in Developing Countries) e EAWAG (Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology). Dübendorf, Switzerland, outubro de 2002.

MELIDIS, P.; et al. Characterization of rain and roof drainage water quality in Xanthi, Greece. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 127, p. 15-27, 2007.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso racional e reuso**. Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2005.

MINTZ, E.; et al. Not just a drop in the bucket: expanding access to point-of-use water treatment systems. **American Journal of Public Health**, v. 91, p. 1565–1570, 2001.

MUSTAFA, A., Application of solar disinfection for treatment of contaminated public water supply in a developing country: field observations, **Jornal Water Health**, v. 11, p. 135–145, 2013.

NAKADA, L. Y. K.; MORUZZI, R. B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, v. 19, n. 1, p. 1-9, 2014.

OH, K.; et al. Optimizing the inline ozone injection and delivery strategy in a multistage pilot-scale greywater treatment system: system validation and cost-benefit analysis. **Jornal of Environment Chemical Engineering**, v. 3, p. 1146-1151, 2015.

PACHECO, P. R. C. et al. A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.141, p. 290-294, 2017.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; DI BERNARD, L.; FERREIRA, J. F. Demanda de cloro e permanganato de potássio para oxidação de substâncias húmicas e avaliação da formação de trihalometanos em água. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinville, 2003.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não-potáveis em uma unidade residencial**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006. 109p.

PHILIPPI, M. R. Aproveitamento da água da chuva. **Uso Racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES – PROSAB, p.73-152, 2006.

PMSS – PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO. Sistema Nacional de informação sobre saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgoto – 2003. Brasília: MCIDADES, 2004.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Informativo do comitê brasileiro do programa da nações unidas para o meio ambiente, 2001**. Disponível em: <<https://www.unilivre.org.br/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei nº 10.785**, de 18 de setembro de 2003. Cria no município de Curitiba, o Programa de conservação e uso racional da água nas edificações – PURAE. Curitiba, PR, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Decreto N ° 15.371**, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, RS, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Lei nº 14.018**, de 28 de junho de 2005. Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em edificações e da outras providências. São Paulo, SP, 2005.

QUELUZ, J. G. T. **Estudo da eficiência da desinfecção solar de águas residuárias domésticas em reatores de diferentes colorações**. 2013. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2013.

Rainwater Harvesting Potential and Guidelines for Texas, Texas Water Development Board Austin, Texas, 2006. Disponível em: <<http://www.twdb.texas.gov/innovativewater/rainwater/doc/RainwaterCommitteFinalReport.pdf>> Acesso em: 07 mai. 2017.

RAKNESS, K.; GORDON, G.; LANGLAIS, B.; MASSCHELEIN, W.; MATSUMOTO, N.; RICHARD, Y.; ROBSON, C. M.; SOMIYA, I., Guideline for Measurement of Ozone Concentration in the Process Gas From an Ozone Generator, Ozone.

Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association, 18:3, p. 209-229, 1996.

REBOUÇAS, A. C., Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

SANCHÉZ, A. S.; COHIM, E.; KALID, R. A. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban áreas. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, v. 6, p. 119-137, 2015.

SÃO PAULO. **Lei nº 12.526**, de 02 de janeiro de 2007. Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação das águas pluviais. São Paulo, 2007.

SILLANPÄÄ, M. E. T.; KURNIAWAN, T. A. Degradation of chelating agents in aqueous solutions using advanced oxidation process (AOP). **Chemosphere**, v. 83, n.11, p. 1443-1460, 2011.

SILVA, A. P. H.; LEMOS, P. R.; VAGHETTI, M. O.; CARISSIMI, E. Efficient Popular House: A Brazilian Proposal for Low Cost and Sustainable Housing. In: **International Conference on Sustainable Globalization (ICSG)**, 2018, Kochi-India: Mahatma Gandhi Univ, 2018. v. 1. p. 274-278.

SOECO/MG. Gerenciamento Sustentável da Água da Chuva. Belo Horizonte, 2009.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva**. 2 ed. São Paulo, Navegar, 2003. 180p.

TORDO, O. C. **Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins potáveis**. 2004. 120f. Dissertação de Mestrado do programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau.

UN. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, 2012. World Urbanization Prospects: the 2011 Revision, CD-ROM Edition.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants**. Washington, D.C., 1999.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Manual guidelines for water reuse**. Washington, D.C., 2004.

VAGHETTI, M. A. O. et. al. **Casa Popular Eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo**. Projeto de pesquisa (Protocolo GAP/CT nº 28582). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2013.

VON GUNTEN, U. Ozonation of drinking water: part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide, or chlorine. **Water research**, v. 37, n. 7, p. 1469-1487, 2003.

WANDERS, N.; WADA, Y. Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. **Jornal of Hydrology**, v. 526, p. 208-220, 2015.

WHO, Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater – Volume II: wastewater use in agriculture, 2006.

APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DO OZONIZADOR ENALY, MODELO ZO-30N

Seguindo o método proposto por Rakness et al. (1996), para realizar a calibração do ozonizador seguiu-se o roteiro adaptado abaixo.

- Adicionou-se na coluna de ozonização um volume de 1 L de solução de iodeto de potássio 2% (KI);
- Iniciou-se o borbulhamento do gás ozônio dentro da coluna de ozonização no tempo de contato de 5 minutos;
- Atingido o tempo de contato pré-estabelecido, coletou-se 200 mL da solução do iodeto de potássio ozonizada da coluna de ozonização;
- Fixou-se os 200 mL de solução da coluna de ozonização com 2 mL de solução de ácido sulfúrico 2N;
- Titulou-se a amostra da coluna de ozonização com tiossulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), até que mude a coloração para amarelo-palha;
- Atingida a coloração amarelo-palha, adicionou-se 2 mL de solução de amido na amostra da coluna de ozonização, tornando a amostra azulada;
- Continuando a titulação, adicionou-se tiossulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) até que a cor azulada suma totalmente, ficando transparente;
- Foi marcado o volume total de tiossulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) gasto.

O cálculo da produção de ozônio (gO_3/h) na coluna de ozonização foi feito através da equação 1:

$$P_{\text{Coluna}} = \frac{N_t \times \Delta V_t \times V_{\text{KI}} \times 24000 \times 60}{V_{\text{amostra}} \times t \times 1000} \quad (1)$$

sendo:

P_{coluna} = produção de ozônio dentro da coluna de ozonização ($\text{g O}_3/\text{h}$);

N_t = normalidade do tiossulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$);

$\Delta V_t = V_f - V_b$

v_f = volume de tiossulfato consumido na titulação da amostra (mL);

v_b = volume de tiossulfato consumido na titulação do branco (mL);

V_{KI} = volume da solução de iodeto de potássio 2% (KI) ozonizada;

V_{amostra} = volume da amostra coletada para a titulação;

t = tempo de aplicação do ozônio na coluna de ozonização;

24000, 60, 1000 = fatores de conversão para obtenção da produção em g/h.

Foram feitos três testes para esta estimativa, resultando em um valor médio de 91,3 mg/h, menos que a metade do valor proposto, evidenciando a importância da realização desta quantificação, para posterior determinação da dosagem de ozônio.

O método recomenda, também, o mesmo cálculo para a produção de ozônio que é perdida no sistema (gás off), porém o valor encontrado foi nulo.