



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO RODRIGO DA COSTA PACHECO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE  
ÁGUA DA CHUVA INSTALADO NO CAMPUS DE BELÉM DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARÁ.**

Belém, Pará  
2017

PAULO RODRIGO DA COSTA PACHECO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE  
ÁGUA DA CHUVA INSTALADO NO CAMPUS DE BELÉM DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARÁ.**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de mestre em Engenharia civil do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Área de concentração: Engenharia Hídrica. Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento ambiental. Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luiza Carla Girard Mendes Teixeira.

Belém, Pará  
2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

Pacheco, Paulo Rodrigo da Costa, 1990-

Avaliação da qualidade de água do sistema de aproveitamento de água da chuva instalado no Campus de Belém da Universidade Federal do Pará /Paulo Rodrigo da Costa Pacheco.- 2017.

Orientador: Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2017

1. Águas pluviais- Belém (PA) 2. Chuvas- Belém(PA)  
3. Água - Captação 4. Água- Qualidade I. Título

CDD 22.ed.551.577098115

---



**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA INSTALADO NO CAMPUS DE BELÉM NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

AUTOR:

**PAULO RODRIGO DA COSTA PACHECO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: / /

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira  
Orientadora (UFPA)

Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida  
Membro Interno (UFPA)

Prof. Dra. Erlka da Justa Teixeira Rocha  
Membro Externo (IFCE)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo, eu agradeço a Deus, como rotineiramente faço em minha vida, por me fazer ter todos os dias vontade de viver e dar a capacidade de alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus pais por me fazerem acreditar que tudo é possível, e por terem dedicado seu tempo e sua vida para que eu pudesse obter conquistas. Assim como minha irmã que contribui para minha vida ter mais sentido e valor.

À minha orientadora, professora Luiza Girard, que me acompanhou durante grande parte de minha vida acadêmica, sempre me dando suporte para que eu desenvolvesse o meu melhor.

Aos meus companheiros do GESA que foram fundamentais para que eu pudesse obter êxito nesta pesquisa: Lígia Tavares, Marina Correa, Danilo Oliveira, Igor Campos, Karissa Auad, Bruna e Andrelle Faria.

Ao professor Rosildo Paiva, do Instituto de Ciências Biológicas da UFPA, que agregou conhecimento e deu orientações fundamentais para esta pesquisa.

Aos meus amigos do mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFPA, em especial à Izabelle Ferreira e Yapur Dumit que foram pessoas com quem pude contar no meu dia a dia.

À minha namorada Débora Alves que representou apoio e divide comigo sonhos de um futuro próspero. E sem esquecer de meus amigos que são poucos mas verdadeiros e torcem pelo meu bem.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a qualidade de água de chuva em uma unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC) com ênfase no tratamento por filtração em dois diferentes meios filtrantes: areia mais carvão ativado de caroço de açaí (misto) e carvão ativado de caroço de açaí. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: 1) montagem dos dois filtros e caracterização dos meios filtrantes; 2) monitoramento da qualidade de água de chuva na UETAC, considerando as variáveis cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH, alcalinidade total, coliformes totais e *E.coli*, e a investigação da presença de microrganismos no reservatório; 3) avaliação dos custos envolvidos na implantação do sistema, considerando as duas alternativas de filtração. A areia apresentou diâmetro efetivo de 0,62mm, coeficiente de uniformidade de 1,42 e massa específica de 2.632 kg/m<sup>3</sup>. O carvão ativado teve diâmetro efetivo de 6,9mm, coeficiente de uniformidade de 0,73, umidade de 2,10% e densidade aparente de 0,358 g/cm<sup>3</sup>. O filtro de carvão ativado apresentou vazão de 0,35 m<sup>3</sup>/h, sendo superior ao filtro misto (0,20 m<sup>3</sup>/h), assim como a taxa de filtração foi maior (34,26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia) e a do filtro misto de 19,19 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. O telhado contribuiu na degradação da qualidade de água de chuva, aumentando os valores de cor aparente, turbidez, condutividade elétrica e alcalinidade total em relação a água atmosférica, o que já era esperado; a autolimpeza não apresentou desempenho favorável, já que houve aumento no valor das variáveis cor aparente, turbidez, coliformes totais e *E. Coli* em comparação com a água coletada após o telhado; o reservatório foi a unidade do sistema que melhor contribuiu para a melhoria da qualidade de água da chuva, onde houve a diminuição de valores das variáveis cor aparente, turbidez e condutividade elétrica em relação a água após a autolimpeza; o filtro misto e o filtro de carvão ativado não tiveram desempenho favorável, já que interferiram negativamente na qualidade de água vinda do reservatório para todas as variáveis analisadas. O filtro misto alcançou resultados melhores do que o filtro de carvão ativado. O filtro misto também foi a melhor alternativa no sistema considerando o custo de implantação. Na reservação foram encontrados cerca de 7 microrganismos diferentes, entre eles: zooplânctons, frústulas de algas e esporos de fungos. A UETAC não produziu água de chuva para fins potáveis, pois houve presença de microrganismos patogênicos, além de ter valores de variáveis acima do limite da portaria 2914 (BRASIL, 2011), havendo a necessidade de desinfecção no final do processo de tratamento.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de água de chuva. Qualidade de água da chuva. Filtração de água da chuva.

## ABSTRACT

This research has main objective to analyze the rainwater quality in an experimental unit of rainwater harvesting and treatment (EURHT) with emphasis on the treatment by filtration in two different filters: sand plus activated carbon of açai seed (mixed) and activated carbon of açai seed. The research was developed in three steps: 1) installation of the two filters and characterization of the filter composition; 2) rainwater quality monitoring of EURHT, considering the variables: apparent color, turbidity, electrical conductivity, pH, total alkalinity, total coliforms and *E.coli*, and the investigation of the presence of microorganisms in the tank; 3) evaluation of the costs involved in the implementation of the system, considering two filtration alternatives. The sand had effective diameter of 0.62mm, uniformity coefficient of 1.42 and specific gravity of 2,632 kg/m<sup>3</sup>. Activated carbon had an effective diameter of 1.8mm, coeficiente uniformity of 0.58, a humidity of 2.10%, and density of 0.358 g/cm<sup>3</sup>. Activated carbon filter had a flow rate of 0.35 m<sup>3</sup>/h, higher than the mixed filter (0.20 m<sup>3</sup>/h), even as the filtration rate was higher (34.26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d) and the Mixed filter of 19.19 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. The roof contributed to rainwater quality degradation, increasing the values of apparent color, turbidity, electrical conductivity and total alkalinity in relation to atmospheric water, which was already expected; The self-cleaning didn't had a proptious performance, because there was increase in the variables value apparent color, turbidity, total coliforms and *E. Coli* in relation to water collected after the roof; The tank was the part of system that best contributed to the improvement of rainwater quality, because there was a decrease in the variables value apparent color, turbidity and electrical conductivity in relation to water after self-cleaning; The mixed filter and the activated carbon filter didn't had a proptious performance, because decrease the water quality arriving from the tank for all variables. The mixed filter get better results than activated carbon filter. The mixed filter was also the best financial alternative in the system. In the tank were found about 7 different microorganisms, between them: zooplankton, algae frustules and fungal spores. EURHT didn't produce rainwater for drinking purposes, because there were pathogenic microorganisms, besides values of variables above the limit of the ordinance 2914 (BRASIL, 2011), and there is a requirement for disinfection at end of the treatment process.

**Keywords:** Rainwater haversting. Rainwater quality. Rainwater filtration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes e fluxo de um SAAC.....	21
Figura 2 - Exemplo de configuração de um SAAC.....	22
Figura 3 - Dispositivo de autolimpeza. Figura 4 - Exemplo de autolimpeza.....	24
Figura 5 – Exemplo de filtro de água da chuva.....	27
Figura 6 - Localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.....	42
Figura 7 - Vistas da UETAC.....	43
Figura 8 - Etapas e fases experimentais da pesquisa.....	44
Figura 9 - Etapas do ensaio de granulometria da areia do meio filtrante.....	45
Figura 10 – Curva granulométrica da areia utilizada no filtro misto.....	47
Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específico da areia do meio filtrante.....	48
Figura 12 – Curva granulométrica do carvão ativado utilizado nos filtros.....	51
Figura 13 - Peças componentes para um filtro.....	53
Figura 14 – Montagem dos filtros misto e carvão ativado: A) montagem e articulação de peças menores; B) conexão das válvulas com as peças montadas; C) montagem do restante do corpo dos filtros; e D) instalação dos filtros na UETAC.....	54
Figura 15 - UECTAC com identificação dos pontos de coleta de água.....	57
Figura 16 - Procedimento de detecção de microrganismos em microscópio.....	60
Figura 17 - Metodologia tratamento estatístico dos dados.....	62
Figura 18 – Box plot para variável cor aparente.....	71
Figura 19 - Sedimentos acumulados no fundo do reservatório de água de chuva da UETAC.....	72
Figura 20 - Box plot para variável turbidez.....	74
Figura 21 - Box plot para variável condutividade elétrica.....	77
Figura 22 - Box plot para variável pH.....	79
Figura 23 - Box Plot para variável alcalinidade total.....	81
Figura 24 - Box Plot para variável coliformes totais.....	83
Figura 25 - Box Plot para variável E. Coli.....	86
Figura 26 - Síntese dos resultados de qualidade de água de chuva na UETAC.....	88
Figura 27 – Comparativo entre os resultados de qualidade de água do FM e FCA....	89
Figura 28 - Fotomicrografias de alguns microrganismos encontrados na água do fundo do reservatório: A) Frústula de diatomácea; B) Esporo de Fungo; C) Rotífera; D) Copépoda e E) Cladóceras.....	91
Figura 29 – Esquema de desenvolvimento de microrganismos no reservatório da UETAC.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da revisão de estudos qualitativos de água de chuva na atmosfera, os autores e as respectivas localizações. ....	18
Tabela 2 - Qualidade de água de chuva após passagem por diferentes materiais de telhado segundo alguns autores. ....	31
Tabela 3 - Qualidade de água de chuva após passagem pela autolimpeza segundo alguns autores.....	33
Tabela 4 - Resultados do estudo qualitativo da reservação da água de chuva e seus respectivos autores. ....	35
Tabela 5 - Qualidade de água de chuva pós filtração por diferentes autores. ....	38
Tabela 6 - Massa mínima de amostra para o ensaio de granulometria.....	50
Tabela 7 – Vazão e taxa de filtração dos filtros misto e carvão ativado. ....	56
Tabela 8 - Variáveis físico-químicas e biológicas e metodologias utilizadas nesta pesquisa.....	57
Tabela 9 - Número de análises estimadas por variável.....	59
Tabela 10 - Hipóteses nula e alternativa. ....	63
Tabela 11 – Quantidade de outliers excluídos do número. ....	64
Tabela 12 - Resultado de amostragem de água de chuva realizadas na UETAC. ....	66
Tabela 13 - Teste de hipótese aplicado nas variáveis de qualidade de água de chuva considerando a configuração do sistema com o filtro misto. ....	68
Tabela 14 - Teste de hipótese aplicado nas variáveis de qualidade de água de chuva considerando a configuração do sistema com o filtro de carvão ativado. ....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do SAAC. ....	13
Quadro 2 - Alternativas de tratamento de água.....	26
Quadro 3- Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de filtro. ....	29
Quadro 4 – Série de peneiras. ....	46
Quadro 5 – Resumo do orçamento do sistema de água de chuva implantado, com base em julho – 2017. ....	96

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AAC	Aproveitamento de Água da Chuva
ANOVA	Análise de Variância
ASA	Articulação do Semiárido
ASTM	American Society for Testing and Materials
AT	Alcalinidade Total
CA	Carvão Ativado
CAC	Carvão ativado de caroço de açaí
CAMEBE	Caritas Metropolitana de Belém
CE	Condutividade Elétrica
CT	Coliformes Totais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DNAS	Departamento de Negócios de Água e Silvicultura da África do Sul
FCA	Filtro de Carvão Ativado
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FM	Filtro Misto
GESA	Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LAESA	Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental
LAMAG	Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RMB	Região Metropolitana de Belém
SAAC	Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
ST	Sólidos Totais

STF	Sólidos Totais Fixos
STF	Sólidos Totais Voláteis
UETAC	Unidade Experimental de Captação e Tratamento de Água da Chuva
UFPA	Universidade Federal do Pará

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Água de chuva como alternativa de suprimento .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Experiência mundial e brasileira no aproveitamento de água da chuva .	13
<b>3.2 Qualidade da Água de Chuva .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva .....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Superfície de captação de água .....	22
3.3.2 Calhas e condutos verticais.....	23
3.3.3 Autolimpeza.....	23
3.3.4 Armazenamento de água da chuva.....	25
3.3.5 Tratamento de água da chuva.....	25
3.3.5.1 Filtração de água da chuva .....	26
<b>3.4 Qualidade de água da chuva no SAAC.....</b>	<b>29</b>
3.4.1 Qualidade de água da chuva no telhado .....	29
3.4.2 Qualidade de água da chuva na autolimpeza .....	32
3.4.3 Qualidade de água da chuva no reservatório .....	34
3.4.4 Qualidade de água da chuva pós filtração .....	37
<b>3.5 Presença de microrganismos em reservatórios.....</b>	<b>40</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
4.1 Área de estudo.....	41

<b>4.2</b>	<b>Caracterização da UETAC .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3</b>	<b>Etapas da pesquisa experimental .....</b>	<b>44</b>
4.3.1	Montagem dos filtros de carvão ativado e misto, e caracterização dos meios filtrantes .....	44
4.3.2	Monitoramento da qualidade de água da chuva na UETAC.....	56
4.3.3	Avaliação de custos de implantação do sistema .....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultados da 2a etapa: Monitoramento da qualidade de água da chuva na UETAC .....</b>	<b>64</b>
5.1.1	Detecção de microrganismos no reservatório da UETAC .....	90
<b>5.2</b>	<b>Avaliação de custo de implantação do sistema .....</b>	<b>95</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>101</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais de base para o desenvolvimento da sociedade humana, bem como para a sobrevivência de ecossistemas (OKI e KANAE, 2006; VÖRÖSMARTY et al., 2010). Com o rápido desenvolvimento socioeconômico, os conflitos entre demanda e fornecimento de água têm se tornado mais intensos (VÖRÖSMARTY et al., 2000; OKI e KANAE, 2006).

Nas últimas décadas, mudanças climáticas e o desenvolvimento socioeconômico humano têm mudado muito os ciclos hidrológicos globais, ameaçando a segurança hídrica humana, a saúde dos ambientes aquáticos e a biodiversidade dos rios (VÖRÖSMARTY et al., 2010; JACOBSEN et al., 2012; VAN VLIET et al., 2013). Perante a esta situação, a atenção tem sido dada a avaliação do requisito de vazão ambiental de rios e escassez de água (VÖRÖSMARTY et al., 2010; KIRBY et al., 2014).

Van Loon e Van Lanen (2013) consideraram que a escassez de água representa a exploração excessiva dos recursos hídricos quando a demanda por água é maior do que a disponibilidade de água. A escassez é entendida como o déficit de abastecimento de água para atender às demandas sociais e ambientais, que são causados por episódios de seca intensa, um uso inadequado dos recursos hídricos ou provocadas por alterações antrópicas (TSAKIRIS et al., 2013).

A disponibilidade de água está relacionada tanto à qualidade da água quanto a sua quantidade. Uma das causas que impactam a qualidade da água é a falta de saneamento adequado, com conseqüente poluição e/ou contaminação dos recursos hídricos em todo o mundo. Ainda existe cerca de 1,1 bilhões de pessoas sem acesso a água potável e 2,4 bilhões de pessoas sem acesso a serviços de saneamento básico (OMS, 2013).

O acesso inadequado à água potável suficiente e segura é uma das principais causas de 842.000 mortes e bilhões de casos de doenças diarreicas por ano (CLASEN et al., 2014). Isto tem direto impacto na saúde pública, e os efeitos são maiores em crianças menores de cinco anos (HUNTER et al., 2010; HALLER et al., 2007).

O relatório do Objetivo do Desenvolvimento Global (ODG) (ONU, 2013) apresenta o atraso relevante em áreas rurais, onde 83% da população sem acesso a uma fonte de água potável vive em comunidades rurais, onde a solução poderia ser

através de implantação de sistemas básicos que fornecem água para as áreas rurais, de modo a priorizar a saúde e a qualidade de vida nas zonas rurais.

As pequenas comunidades sofrem por não receberem água em qualidade e em quantidade suficiente, devido ao problema no gerenciamento dos sistemas de abastecimento que sofrem por interrupções nos serviços de água, bem como as violações dos padrões de água potável que oferecem aos consumidores o risco de doenças de veiculação hídrica (MACKINTOSH e COLVIN, 2003).

No Brasil cerca de 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais, em aproximadamente 8,1 milhões de domicílios (IBGE, 2010). Silveira (2013) utilizou dados do censo do IBGE (2010) e verificou que quanto à proporção de domicílios abastecidos, 7 em cada 10 domicílios rurais não eram atendidos por intermédio de rede de abastecimento de água.

A qualidade da água em zonas rurais remotas ou economicamente desfavorecidas no Brasil continua a ser um desafio, embora tenha aumentado o acesso à água encanada, mas o fornecimento de água potável continua a ser um desafio em muitas áreas, especialmente em sistemas de abastecimento de água sem manutenção (KAYSER et al., 2015).

Por conta dessa falta de cobertura de água potável em localidades periféricas e rurais, onde o sistema de abastecimento de água não pode atender, a utilização de água de chuva pode ser uma opção em potencial, conforme disposto por Kahinda et al. (2007) uma vez que, para captar água de corpos superficiais e/ou subterrâneos, populações ribeirinhas se arriscam em busca de fontes inseguras e que não possuem a qualidade requerida para o consumo humano. Essa prática tem como vantagens a simplicidade operacional, adaptabilidade, baixo custo e menor (ou nenhum) consumo de energia elétrica (JIANG et al., 2013).

Diante de um cenário iminente escasso, o aproveitamento de água de chuva pode mitigar a tendência pouco sustentável de aumentar a captação de águas superficiais e subterrâneas para satisfazer a crescente demanda (ABDULA e AL-SHAREEF, 2009), por isso o aproveitamento do recurso pluvial está se tornando progressivamente uma parte de um conjunto de medidas de gestão sustentável dos recursos hídricos (WARDS et al., 2012; MATOS et al., 2014).

Assim este trabalho propôs avaliar a qualidade da água captada em um sistema experimental instalado na UFPA, com ênfase no tratamento de água da chuva.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade de água de chuva com ênfase no processo de tratamento por filtração em dois diferentes meios filtrantes: areia mais carvão ativado do caroço de açai (misto) e carvão ativado de caroço de açai, instalados na unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC), localizada na Cidade Universitária José Silveira Neto da Universidade Federal do Pará.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Implantar dois filtros de diferentes meios filtrantes: areia mais carvão ativado do caroço de açai (misto) e carvão ativado de caroço de açai na unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva;
- b) Analisar a variação da qualidade de água da chuva na UETAC pelas variáveis cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH, alcalinidade total, coliformes totais e *E. Coli*.
- c) Comparar a eficiência na remoção e/ou diminuição das variáveis analisadas na água da chuva após a etapa de filtração nos 2 meios filtrantes: filtro misto e de carvão ativado;
- d) Verificar a presença de microrganismos no reservatório da UETAC;
- e) Analisar a possibilidade de uso da água para fins potáveis;
- f) Determinar o custo de implantação de cada alternativa de filtração de água de chuva.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 Água de chuva como alternativa de suprimento**

O sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) pode ser uma solução prática para a escassez de água (AMIM e HAN, 2009), especialmente nos países em desenvolvimento, e está recebendo maior atenção em todo o mundo como uma fonte alternativa de abastecimento de água.

O aproveitamento de água de chuva (ACC) é considerado indispensável para atender a futura demanda de água potável devido ao aumento da população e da urbanização nos países em desenvolvimento, acoplado com a evidência recente de alterações climáticas (MURAD, 2007).

A água de chuva é um recurso natural que pode ser facilmente recolhido e consumido em diversos usos domésticos, comerciais e industriais, especialmente onde não necessita de uso potável (LAWSON et al., 2009). No entanto, a utilização de água da chuva como um recurso depende do regime de precipitação local, especificamente sobre o volume de precipitação e sua variabilidade temporal. Igualmente importantes são a capacidade de armazenamento e a disponibilidade de superfícies para a efetiva coleta de água da chuva, tais como telhados ou terraços (OLIVEIRA, 2008).

Ao considerar a possibilidade de utilizar SAAC para abastecimento doméstico, é importante analisar tanto as vantagens e desvantagens e compará-los com outras alternativas disponíveis. É uma alternativa doméstico popular com fonte de água próxima, conveniente e requer um mínimo de energia para a coleta (WORM e HATTUM, 2006), desde que as condições climáticas permitam. No Quadro 1 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens de SAAC.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do SAAC.

Vantagens	Desvantagens
<b>Construção simples:</b> a construção destes sistemas são simples e isso reduz os custos e incentiva a maior participação em nível doméstico.	<b>Custos de investimento elevado:</b> O custo é mais elevado na implantação dos sistemas.
<b>Boa manutenção:</b> a operação e manutenção destes sistemas são controlados exclusivamente pela família proprietária.	<b>Uso e manutenção:</b> a inspeção regular, limpeza e reparos ocasionais são essenciais para o sucesso de um sistema que são muitas vezes negligenciados
<b>Qualidade da água relativamente boa:</b> a água da chuva é melhor do que outras disponíveis ou fontes tradicionais como superficial e subterrânea.	<b>Qualidade da água é vulnerável:</b> a qualidade da água da chuva pode ser afetada pela poluição do ar, animais ou excrementos de pássaros, insetos, sujeira e matéria orgânica.
<b>Baixo impacto ambiental:</b> a água da chuva é um recurso renovável e nenhum ou baixo dano é feito para o meio ambiente.	<b>Abastecimento é sensível a períodos de seca:</b> ocorrência de longos períodos de secas podem causar problemas de abastecimento de água.
<b>Não é afetado por geologia ou topografia local:</b> captação de águas da chuva não sofre influência por estes dois aspectos tal qual acontece em outras alternativas de abastecimento.	<b>Abastecimento limitado:</b> o fornecimento é limitado pela quantidade de chuva e o tamanho da área de captação e reservatório de armazenamento.

Fonte: Adaptado de Worm e Hattum, 2006.

Em comparação com o sistema de abastecimento de água convencional, o SAAC tem a vantagem de fornecer água a baixo custo para comunidades pobres e vulneráveis nas áreas urbanas e áreas peri-urbanas (GWENZI e NYAMADZAWO, 2014).

O AAC tem sido usado principalmente para uso não potável, principalmente porque a água captada é microbiologicamente contaminada por uma variedade de organismos indicadores e patogênicos. Isto exige o tratamento mínimo de água de chuva armazenada em caso que tem de ser utilizado para fins potáveis (MEERA e AHAMMED, 2006).

Além disso, em termos de abastecimento, a água da chuva com tratamento mínimo tem sido empregado como uma fonte rentável e alternativa de recurso para aplicações não potáveis, como descarga do banheiro, controle de temperatura da área e jardinagem (AHMED et al., 2014).

### 3.1.1 Experiência mundial e brasileira no aproveitamento de água da chuva

O AAC para usos domésticos e agrícolas é uma prática muito antiga que remonta a 4.500 A.C no Oriente Médio e na Índia (SIVANAPPAN, 1997). A prática teve origem em zonas áridas e semiáridas, mas o aumento na procura de água para

fins industriais e usos domésticos está forçando a maioria dos países em desenvolvimento (JEBAMALAR e RAVIKUMAR, 2011).

A técnica de AAC é amplamente utilizada em países como a Austrália, África do Sul, EUA, Alemanha e Japão, onde há o financiamento para a construção de SAAC (TOMAZ, 2005).

A União Europeia prioriza a economia de água, incluindo AAC e reuso de água em edifícios. A instalação de SAAC são apoiados pela legislação europeia, embora a falta de financiamento público limite parcialmente a sua realização generalizada (EC,2009).

Na Alemanha, o AAC é destinado para fins não potáveis como descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, máquinas de lavar e uso industrial. Porém, acredita-se que no futuro as companhias públicas e privadas de abastecimento de água potável, utilizarão a água da chuva como fonte alternativa, devido à sua qualidade, disponibilidade e pesquisas que vem sendo desenvolvidas ao longo dos anos (TOMAZ, 2003).

Em Tóquio, a coleta de água da chuva é bastante intensa, pois os reservatórios de abastecimento convencionais ficam distantes da capital japonesa. Um bom exemplo do aproveitamento é o Estádio Tokyo Dome que prevê a captação da água pluvial, onde sua cobertura funciona como uma lona gigante, proporcionando uma área de captação de cerca de 16.000 m<sup>2</sup>, corresponde a um terço do consumo total de água do estádio (SILVEIRA, 2008).

Alves (2010) relata que a Austrália é um país com tradição em aproveitamento de água da chuva, pois sofre com as constantes secas de água. Em muitas regiões áridas rurais remotas, o aproveitamento de água de chuva é muitas vezes a única fonte de água potável viável e é, portanto, um componente importante de abastecimento de água rural (PIGRAM, 2007), assim como observado por CAT (2005), que no Sul da Austrália, região mais árida, 51% das pessoas usam SAAC.

Conforme Bracken e Lim (2008) há uma peculiaridade do uso da água de chuva captada no Sudeste dos Estados Unidos é que frequentemente pode ser utilizada quando há restrições de água potável, que é uma prática comum durante os períodos de seca, como ocorreu na Carolina do Norte no verão de 2007 em decorrência de uma lei instaurada que restringiu o uso de água para a irrigação.

Thomas et al. (2014) realizaram uma pesquisa com membros da Associação Americana de sistemas de captação de água da chuva e verificaram que os sistemas

têm a maior finalidade para irrigação (60% da população de amostragem da pesquisa).

A prática de aproveitamento de água de chuva é comumente utilizada nas zonas rurais da África do Sul, especialmente devido à assistência financeira provida pelo departamento de negócios de água e silvicultura (DNAS) para custear reservatórios de armazenamento e trabalhos relacionados a água de chuva para a habitações pobres (GLEICK,1996). A DNAS implementou 64 reservatórios de armazenamento subterrâneo em 26 vilas distribuídas em 4 províncias: Cabo Oeste, Limpopo, KwaZul-Natal e Estado Livre (DE LANGE, 2006).

O Brasil se diferencia dos outros países já citados, pois a prática em aproveitar a água da chuva não está caminhando junto com o desenvolvimento do país, apesar de existirem projetos antigos implantados (PHILIPPI et al., 2006), que pode ser justificado por baixos ou inexistentes incentivos na implantação de fontes alternativas de água.

A prática já remonta há algumas décadas, como apresentado por Guanayem (2000, apud MAY, 2004), em que a instalação mais antiga encontrada no Brasil foi na ilha de Fernando de Noronha, onde o exército norte-americano construiu sistemas de aproveitamento de água em 1943, e até hoje a ilha usufrui destes sistemas para o abastecimento da população.

Em São Paulo existem localidades que realizam a captação de água de chuva para respectivos usos, como o na garagem de uma companhia de transportes, que possui 9 mil m<sup>2</sup> de área coberta é captada por canaletas e direcionada para uma rede de piscinões subterrâneos, o consumo diário de água é de 280 mil litros/dia só para a limpeza da frota (CARLON, 2005). Ainda na capital paulista, o edifício Eldorado Business Tower utiliza água de chuva captada na rega de jardins, gerando ao edifício uma economia de água (LIMA, 2011).

Na cidade do Rio de Janeiro, tanto o estádio João Havelange quanto o aeroporto Santos Dumont, fazem o aproveitamento da água de chuva (ALVES, 2010).

No estado do Paraná, uma fábrica de refrigerantes multinacional realiza a captação de água da chuva, onde a água captada é utilizada no processo industrial (CARDOSO, 2009).

No distrito federal, existem alguns edifícios públicos que possuem SAAC. O estádio Mané Garrincha, foi estruturado para captar e reaproveitar as águas pluviais que caem na cobertura do estádio e no estacionamento. Alguns prédios públicos

como o Fórum Verde e a sede do SENAI também utilizam da captação de água da chuva para fins não potáveis (MARTINS, 2014).

Na região do semiárido brasileiro, a construção de cisternas para a captação de água da chuva vem sendo a solução para os longos períodos de estiagem experimentados pela região, favorecendo, assim, a produção agrícola e a criação de gado, suas principais atividades econômicas. De acordo com dados da Articulação de Semiárido (ASA), desde o ano de 2003 foram construídas cerca de 490 mil cisternas na região (ASA, 2014).

No Estado do Pará existem algumas iniciativas de utilização de água de chuva, como nas Ilhas de Jutuba, Uruboca e Nova. Data de 2004 a implantação do projeto “Água limpa é vida” que foi uma iniciativa da Sociedade Bíblica do Brasil – SBB, do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), do projeto Dom Helder Câmara e da Diaconia e atendia a concepção das cisternas nordestinas (ROSA, 2011 apud VELOSO; MENDES, 2012). Segundo Souza (2013), em 2006 foi implantado um outro projeto denominado “Água em Casa, Limpa e Saudável”, apoiado pela Cáritas Metropolitana de Belém (CAMEBE) que é uma associação religiosa de direito privado, sem fins econômicos (VELOSO; MENDES, 2012), que beneficiou 370 famílias que receberam sistemas de aproveitamento de água de chuva compostos por calhas, reservatórios, tubulações.

O Governo do estado do Pará firmou convenio com o Ministério do desenvolvimento social (MDS) para a implantação do projeto “Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais”, para construção de 800 sistemas de aproveitamento de águas pluviais em comunidades rurais de municípios a serem escolhidos a partir de parcerias com prefeituras, entidades não governamentais, lideranças comunitárias, com um investimento de mais de R\$ 4 milhões, a iniciativa prevê o atendimento de aproximadamente 4.000 pessoas (BRASIL, 2012).

Nos países desenvolvidos, as experiências de AAC tem sido mais difundida na comunidade europeia, EUA e Japão, o que mostra que estes países já possuem certo grau de consciência e responsabilidade com os recursos hídricos. A maior dificuldade ainda é de países subdesenvolvidos, que possuem maior carência na implantação de alternativas de uso de água. No Brasil, podemos verificar que o uso de água de chuva é mais recorrente em unidades comerciais e governamentais da sociedade para usos diversos, o que ainda não é uma prática comum em residências.

### 3.2 Qualidade da Água de Chuva

Para a definição dos possíveis usos para a água de chuva captada é necessário conhecer a qualidade da mesma. Segundo May (2008), vários fatores interferem na qualidade da água de chuva, como: localização do ponto de coleta, presença ou não de vegetação, condições meteorológicas e presença de carga poluidora no meio atmosférico e na própria superfície de captação.

As fontes naturais e antrópicas podem causar impactos qualitativos na água da chuva. As variáveis: intensidade de chuvas, relâmpagos, proximidade de sistemas viários, de zonas urbanas e/ou industriais e/ou costeiras podem provocar diferenças significativas na qualidade da água pluvial (FARRENY et al., 2011; THOMAS et al., 2014; CHANG et al., 2004).

A baixa qualidade da água da chuva em áreas industrializadas é atribuída à poluição do ar e deposição atmosférica do tráfego e emissões industriais e aerossóis (HUSTON et al., 2012).

Características de vento, particularmente direção e velocidade são importantes fatores meteorológicos que influenciam na qualidade da água de chuva. Evans et al. (2006) atribuiu que a concentração elevada de  $\text{Cl}^-$  na água de chuva por aerossóis de origem do mar e transporte pelos ventos ao sul e leste antes e durante eventos de tempestade.

Estudos têm demonstrado que as maiores concentrações de constituintes são muitas vezes detectadas durante os eventos de baixa precipitação precedidas por longos períodos de seca de deposição atmosférica (YAZIZ et al., 1989). Vários estudos têm mostrado que, em geral, as concentrações de contaminantes em escoamento do telhado são mais elevadas no início do evento em comparação com subsequentes eventos de precipitação de magnitudes semelhantes (MENDEZ et al., 2011). Utilizando dados recolhidos ao longo de longos períodos de tempo em Los Angeles, STENSTROM e KAYHANIAN (2005) relataram a ocorrência sazonal de eventos de primeira descarga e observou que a primeira descarga tinha concentração de contaminantes mais elevados do que eventos de chuva subsequentes.

Na Tabela 1 são apresentados resultados de estudos qualitativos de água da chuva em diferentes localizações.

Tabela 1 - Síntese da revisão de estudos qualitativos de água de chuva na atmosfera, os autores e as respectivas localizações.

Referência	Despins et al. (2009)	Hagemann e Gastaldini (2016)	Xavier (2010)	Lee et al. (2010)	Vialle et al (2011)	Silva (2013)	Andrade (2012)	Dobrowsky et al (2014)	Beecham, Razzaghm- anesh (2015)
Localidade	Ontario / Canadá	Santa Maria/RS	São João do Cariri- PB	Coreia do Sul	France	Bairro de Fátima - Belém-Pará- Brasil	Região das Ilhas- Belém-Pará- Brasil	África do Sul	Adelaide, Australia
Variável									
Cor Aparente	NM	ND	NM	NM	NM	2,88±1,67	<15 UC em 92% das amostras	NM	7,45–7,55
Ph	7,5	4,5 - 7,0	6,22	7,3	6,2	5,5 a 8,1	3,9 a 6,6	5,3	NM
Turbidez	NM	7,6	0,92	NM	NM	2,96 ±2,55	0 a 3,26	NM	1,3–1,35
Alcalinidade mg/L	NM	4,78	2,5	NM	NM	14,17±4,92	NM	NM	NM
CE (µS/cm)	NM	24,6	12,1	30	38,2	28,5±35,97	NM	NM	<0,5
SDT (mg /L)	NM	NM	46	NM	NM	NM	NM	NM	NM
CT (NMP/100 ml)	<1	NM	NM	70	40	185,63±205,49	92%*	50	NM
E.coli(NMP/100 ml)	NM	1	NM	10	2	12,73±20,01	50%*	50	NM
Enterococcus (NMP/100 ml)	NM	NM	NM	NM	45	NM	NM	<890	NM
DBO (mg/L)	NM	5,8	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
DQO (mg/L)	NM	15,8	NM	NM	<30	NM	NM	<9,5	NM
Nitrato (mg/L)	NM	0,54	NM	6,8	2,4	NM	NM	1,5	<1
Nitrito (mg/L)	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	0,07–0,10
Amônia (mg/L)	NM	0,84	NM	0,09	0,32	NM	NM	NM	1,01–1,10

\*Continuação

Referência	Despins et al. (2009)	Hagemann e Gastaldini (2016)	Xavier (2010)	Lee et al. (2012)	Vialle et al (2011)	Silva (2013)	Andrade (2012)	Dobrowsky et al (2014)	Beecham e Razzaghmanesh (2015)
Localidade	Ontario / Canadá	Santa Maria/RS	São João do Cariri-PB	Coreia do Sul	France	Bairro de Fátima - Belém-Pará-Brasil	Região das Ilhas-Belém-Pará-Brasil	África do Sul	Adelaide, Australia
Variável									
Zinco (µg/L)	<500	NM	NM	160	NM	NM	NM	3,9	NM
Chumbo (µg/L)	<10	NM	NM	27	NM	NM	NM	0,2	NM
Cobre (µg/L)	<10 <sup>3</sup>	NM	NM	85	NM	NM	NM	1,9	NM
Cromo (µg/L)	NM	NM	NM	4,5	NM	NM	NM	0,8	NM
Ferro (µg/L)	NM	0,064	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
Cálcio (mg/l)	<12,2		NM	6,4	2,9	NM	NM	11,6	ND
Sódio (mg/L)	ND	NM	0,85	3,2	0,93	NM	NM	15,4	0–1,84
Potássio(mg/L)	NM	NM	0,2	3,1	0,78	NM	NM	2,7	0–0,46
Dureza total	NM	3,2	13	NM	NM	NM	NM	NM	NM
Fosfato (mg/L)	NM	0,37	NM	0,02	0,19	NM	NM	ND	NM
Cloreto (mg/L)	NM	3,58	NM	7,5	1,7	NM	NM	21,2	NM
Magnésio (µg/L)	NM	NM	NM	1,2	0,24	NM	NM	1,6	NM
Manganês (µg/L)	<50	36	NM	115	NM	NM	NM	0,4	NM
Cádmio (µg/L)	<5	NM	NM	1,5	NM	NM	NM	0,1	NM

Fonte: Adaptado de Andrade, 2012; Beecham e Razzaghmanesh, 2015; Despins et al., 2009; Dobrowsky et al., 2014; Hagemann, 2009; Lee et al., 2010; Vialle et al., 2011; Xavier, 2010.

SDT: sólidos dissolvidos totais, COT: carbono orgânico total, CT: coliformes totais, NM: não medido, ND: não detectável, \*=em porcentagem

Na Tabela 1 são apresentados os dados qualitativos de água de chuva em diferentes localidades mundiais. Quanto as variáveis físicas, os valores de pH, cor aparente e turbidez apresentam valores baixos nas pesquisas reportadas, relacionados com as condicionantes ambientais das localidades das respectivas pesquisas. Os valores de pH em amostras coletadas na Região das Ilhas em Belém-Pará, reportados por Andrade (2012) tenderam a ser menores que os verificados por Silva (2013) que conduziu o estudo qualitativo em um bairro central, também em Belém do Pará. A tendência do pH está mais próxima da neutralidade foram evidenciados por todos os autores, com exceção de Dobrowsky et al. (2014) que obteve em sua pesquisa um pH de 5,3 na África do Sul. O maior valor de turbidez encontrado foi de 7,6 UNT, possivelmente pela localidade ter área de solo exposta elevada (HAGEMANN e GASTALDINI, 2016), e as demais pesquisas encontraram valores a baixos de 3,5 UNT. Os valores de alcalinidade encontram-se abaixo de 5 mgCaCO<sub>3</sub>/L (HAGEMANN, 2009; XAVIER, 2010; SILVA, 2013).

Quanto aos parâmetros microbiológicos, para os valores de bactérias do grupo coliforme também apontam para o aporte contaminante da atmosfera, possivelmente através da ação de ventos, e/ou contaminação dos recipientes utilizados na coleta (SILVA, 2013), e para a *E.Coli* o menor valor foi detectado por Hagemann e Gastaldini (2016), os valores mesmo sendo baixos de contaminantes microbiológicos, contudo apontam para a necessidade de haver o tratamento de água da chuva para a eliminação dos patógenos.

Os valores da presença de nutrientes na água de chuva segundo pesquisas elencadas na Tabela 1 foram em baixos níveis, corroborando que as fontes de contaminação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) estão nas unidades do SAAC, principalmente o telhado.

No geral é evidenciado que as localidades estudadas possuem valores diferentes nos parâmetros analisados, o que condiz que as variáveis que resultam na qualidade de água da chuva têm interferências locais e por isso a necessidade de se caracterizar a água da chuva a fim de verificar o tratamento adequado para a finalidade indicada para consumo.

### 3.3 Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva

Phillips (2005) define um SAAC como um processo de interceptação de águas precipitadas e escoadas de uma superfície como telhados, áreas de estacionamento ou mesmo superfícies de terra, seu armazenamento e seu posterior uso benéfico. As partes que compõe os sistemas de captação de água de chuva variam muito de acordo com a necessidade, condições locais e com o propósito a que se dará o uso da água captada (uso potável ou não potável). O SAAC é composto por uma série de componentes que são usados para captar, tratar, armazenar e distribuir a água da chuva para fora e/ou interior de onde se instala o sistema (GUELPH,2014).

Figura 1 - Componentes e fluxo de um SAAC.

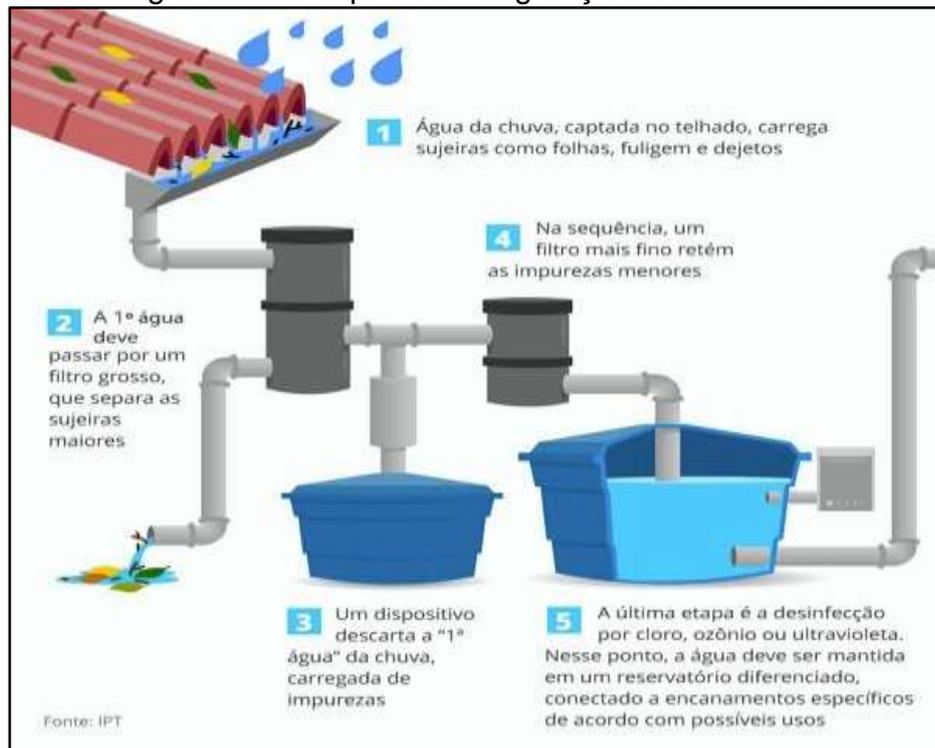


Fonte: Autor, 2017.

Os componentes do SAAC conforme apresentados na Figura 1 são semelhantes a diversos sistemas desenvolvidos para o suprimento de água, bem como utilizados em pesquisas científicas, como o presente estudo.

Na Figura 2 é apresentado um modelo de configuração de SAAC, semelhante ao que ocorre nesta pesquisa, a não ser por ter um filtro grosso a montante da autolimpeza. Este sistema normalmente é caracterizado pelo não uso de energia elétrica.

Figura 2 - Exemplo de configuração de um SAAC.



Fonte: IPT, 2015.

No Brasil, o projeto e construção de SAAC é normatizado pela NBR 15.527 (ABNT, 2007) para fins não potáveis. Esta norma recomenda condições de concepção de SAAC e das unidades que compõe o sistema, além de apresentar os métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva.

### 3.3.1 Superfície de captação de água

A área de captação tem um impacto significativo sobre o projeto e o potencial de armazenamento de água de SAAC. O tamanho da área de captação geralmente é pré-determinado pelo tamanho da casa ou edifício existente. Em alguns casos, um meio de captação de águas pluviais adicional é utilizar vários telhados e transmitir água captada para um tanque de armazenamento central (DESPINS,2009).

Segundo Cohim, Garcia e Kiperstok (2008), a superfície mais utilizada para a captação de água de chuva é o telhado, assim como ocorre nesta pesquisa.

A superfície dos telhados de captação de água da chuva pode ser constituída de diversos tipos de materiais, como: cerâmica, plástico, zinco entre outros. A composição do material do telhado é importante para a definição do coeficiente de escoamento superficial, que determina a fração de água que se transformará em

escoamento superficial. O material do telhado também é importante para evitar a contaminação da água devido a componentes tóxicos que possam ser carreados durante a precipitação (HAGEMANN,2009).

### 3.3.2 Calhas e condutos verticais

As calhas têm por objetivo coletar as águas de chuva que caem sobre os telhados e conduzi-las aos condutores verticais e horizontais (LORENZETE, 2011).

O dimensionamento da calha está de acordo com a vazão captada, e para a o cálculo e execução, devem-se seguir as normas técnicas, obedecendo a NBR 10844, Instalações Prediais de Águas Pluviais (ABNT,1989). De acordo com Texas Water Development Board (2005), os materiais mais utilizados para calhas e condutores verticais são o PVC, alumínio e ferro galvanizado.

Os encanamentos condutores normalmente são feitos por um conjunto de tubos, que podem conduzir a água da chuva a um pré-filtro para a limpeza dos materiais grosseiros em suspensão na água. Em grandes extensões de telhado, pode-se optar por sistema de condutores auxiliares para coleta de água da calha, evitando o transbordamento; ou dimensionar o volume da calha de acordo com a área de telhado e tipo de material (OLIVEIRA et al., 2012).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda que a limpeza desses dispositivos seja realizada pelo menos uma vez por semestre. A manutenção das calhas também é de extrema importância auxiliando na durabilidade destes materiais (PETERS, 2006).

### 3.3.3 Autolimpeza

Este instrumento desvia os primeiros volumes de águas pluviais que normalmente contém contaminantes advindos do telhado durante a precipitação. O dispositivo mais simples é um sistema de desvio que depende da tubulação encarregada de absorver de água da chuva e, em seguida, uma vez que é completo, permite que a água da chuva que prossiga para dentro do sistema de armazenamento (CMHC, 2013).

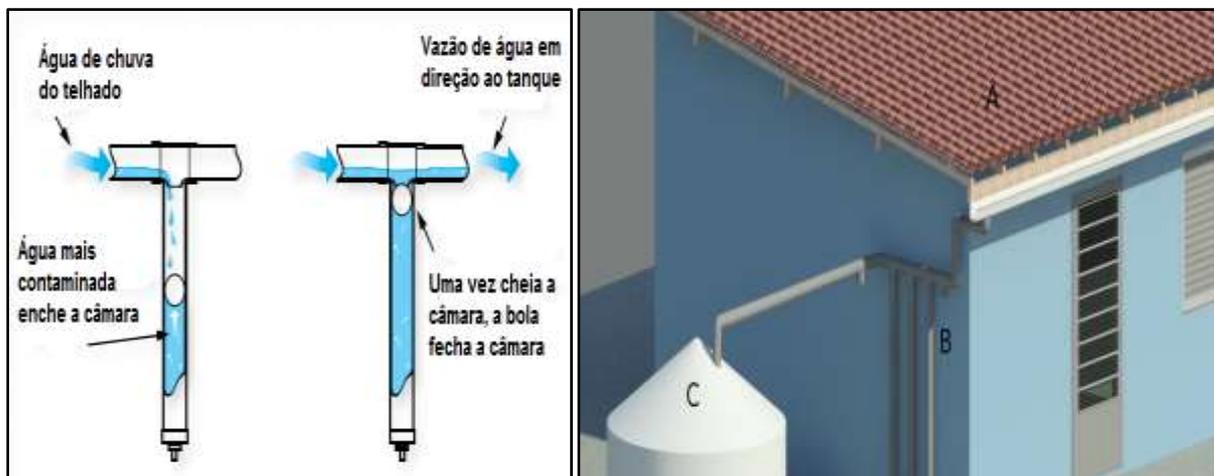
A autolimpeza é dimensionada calculando-se a área de telhado disponível para captação multiplicado pela lâmina d'água correspondente, que é a lâmina de água

estimada para a limpeza do telhado. A água proveniente desta limpeza não é direcionada para os filtros do reservatório (OLIVEIRA et al., 2012).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda que na falta de dados para o dimensionamento, seja utilizado o valor de 2 mm para o descarte inicial de água da chuva na auto-limpeza.

De acordo com Vidacovich (2004), existem dois tipos principais de descarte da primeira água de chuva que geralmente são usados em SAAC: os de volume fixo e as válvulas de autolimpeza. Na Figura 3 é apresentado a autolimpeza de volume fixo, tal como ocorre nesta pesquisa. Na Figura 4 um dispositivo de autolimpeza de tecnologia simples, custo baixo e fácil instalação idealizado por Lima (2012) que é semelhante ao instalado no SAAC da presente pesquisa.

Figura 3 - Dispositivo de autolimpeza. Figura 4 - Exemplo de autolimpeza.



Fonte: CMHC, 2014.

Fonte: Lima, 2012.

Existem diferentes tipos de dispositivos de autolimpeza que possuem suas particularidades, contudo seguem a mesma proposição que é realizar a abstração de água da chuva nos primeiros instantes de chuva, então a escolha por um determinado dispositivo de autolimpeza depende de requisitos de projeto.

### 3.3.4 Armazenamento de água da chuva

Segundo o CEHI (2009), a instalação do tanque de armazenamento deve ter volume adequado em relação à área da superfície de captação, durabilidade e custos efetivos em sua instalação e manutenção.

Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007) os reservatórios devem possuir extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção ventilação e segurança, e que se haja suprimento de água de outra fonte, que então possua um reservatório específico, para assim não haver mistura. Esta norma também recomenda que o reservatório seja protegido da incidência de luz solar e calor, bem como de animais.

Os reservatórios podem ser construídos usando uma variedade de materiais, incluindo cimento armado, tijolos e blocos, concreto, metal, plástico, madeira e fibra de vidro. Os componentes utilizados na fabricação podem reduzir significativamente a qualidade da água armazenada (CEHI, 2009).

Quanto a manutenção dos reservatórios, a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda que seja feita aos menos uma limpeza anual e a Lei municipal de N° 8.740 do município de Belém (BELÉM, 2010) recomenda que a limpeza seja feita de 6 em 6 meses, devendo ser limpos e desinfetados utilizando solução de hipoclorito.

O reservatório é um dos componentes mais importantes do SAAC, em virtude de armazenar água de chuva e controlar a vazão do sistema, desta forma necessitando ser projetado para amortizar demandas de água de chuva tanto em períodos chuvosos ou secos, para que consiga suprir a demanda de água de chuva, seja ela potável ou não potável.

### 3.3.5 Tratamento de água da chuva

O tratamento da água da chuva armazenada é realizado conforme o uso pretendido. Se a utilização para a água da chuva é para usos domésticos potáveis, devem ser aplicadas práticas apropriadas de filtração e desinfecção. Se a água da chuva é utilizada para atividades como irrigação do jardim, lavagens de quintais e carros e descargas de vasos sanitários, as exigências de tratamento são menos restritas (WEIERBACHER, 2008).

No Quadro 2 são apresentadas algumas alternativas de tratamento de água e seus devidos propósitos.

Quadro 2 - Alternativas de tratamento de água.

<b>Propósito</b>	<b>Opções de tratamento</b>
Estética - Para remover contaminantes (como sulfeto de hidrogênio, matéria orgânica, manganês, ferro) que causam problemas de gosto cor e odor.	Filtração em carvão ativado, filtração lenta em areia, filtração em membrana, osmose reversa e ozonização.
Filtração – Para remover partículas que causam a turbidez	Filtração em carvão ativado, filtração lenta em areia e filtração em membrana.
Desinfecção – Para remover ou inativar patógenos como vírus, bactérias e protozoários.	Ultravioleta (UV), cloro, ozonização e filtração em membrana.

Fonte: Adaptado do Manual do Texas de aproveitamento de água chuva, 2009.

Então, a fim que a água da chuva seja segura para ser utilizada diariamente, tecnologias de tratamento de tempo e de custo efetivos precisam ser implantadas, sendo tecnologias que têm sido utilizadas para o tratamento da água da chuva: membranas de nanofibras, carvão ativado, sistemas de filtração lenta, desinfecção solar (SODIS), pasteurização solar e cloração (CHAPMAN et al., 2008; MCGUIGAN et al., 2012; KWAADSTENIET et al., 2013; ABRAHAM et al., 2015; DOBROWSKY et al., 2015).

Dentre todas as tecnologias, a filtração lenta e cloração são métodos tradicionais de baixo custo, que têm sido utilizadas com sucesso por décadas para melhorar a qualidade bacteriológica da água fornecida para a população (BRASIL, 2006; DRYDEN, 2007; KARON et al., 2011).

A seguir é comentado sobre a utilização de filtros como alternativa de tratamento de água da chuva.

### 3.3.5.1 Filtração de água da chuva

A filtração é um processo de separação sólido-líquido, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos que visa principalmente a remoção das impurezas contidas na água que são retidas através de um meio poroso. A filtração da água da chuva é um processo necessário para retirar partículas macroscópicas em suspensão que são arrastadas pela água ao passar pela superfície de captação (OLIVEIRA et al., 2012).

Figura 5 – Exemplo de filtro de água da chuva.



Fonte: CAWST, 2008.

Devido a inexistência de norma técnica que balize a elaboração de projetos de sistemas de tratamento de água de chuva para consumo humano, tem sido frequentemente utilizada a NBR 12216 (ABNT, 1992) que fixa as condições exigíveis para elaboração de Projeto de Estação de Tratamento de água para abastecimento público.

A filtração lenta foi adaptada para uso doméstico. Estes filtros são como tanques preenchidos com areia, em que uma camada bioativa que cresce e matura enquanto um meio de eliminar os microrganismos causadores de doenças. Vários estudos mostram que este tipo de filtro remove bactérias de forma consistente, em média, no intervalo de 81-100%, e por protozoários 99,98-100%, no entanto, estes filtros têm limitado eficiência na remoção de vírus (LANTAGNE et al., 2007; NADDEO e BELGIORNO, 2007).

Os filtros de carvão são eficazes para a remoção de cloro, mercúrio, iodo, e alguns compostos inorgânicos, bem como muitos contaminantes orgânicos problemáticos, tais como sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), formaldeído (HCOH) e compostos orgânicos voláteis (COV) (KEARNS, 2008), o que se encaixa na remoção de alguns poluentes que estão presentes na água de chuva.

O carvão ativado é o nome comercial de um grupo de carvões que se caracterizam por ter uma estrutura porosa e uma superfície interna elevada. Representa um tipo comum de adsorvente que tem grande afinidade com compostos orgânicos, sendo um dos adsorventes mais utilizados em processos de adsorção.

Existe duas principais formas de apresentação do carvão ativado: granular e pulverizado (FERNANDES, 2005).

No processo de produção do carvão ativado, a matéria prima é submetida aos processos de carbonização e ativação (FERNANDES, 2010).

A carbonização ou pirolise é geralmente feita na ausência de ar, em temperaturas compreendidas em 500 e 800°C (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Existem basicamente duas alternativas para a ativação do carvão: ativação química e ativação física. A ativação química é conhecida como um método de único passo na presença de agentes químicos. A ativação física envolve a carbonização de um material carbonáceo seguida de ativação do carvão resultante na presença de agentes ativantes como CO<sub>2</sub> ou vapor (MORENO-PIRAJA e GIRALDO, 2010).

Devido à sua grande capacidade de adsorção de poluentes, os carvões ativados são os adsorventes mais eficazes, e, se o sistema for adequadamente projetado, os resultados serão satisfatórios, tendo-se uma boa qualidade dos efluentes tratados, com concentrações dentro dos limites legais (DABROWSKI et al., 2005, apud SANCEY et al., 2011).

No estado do Pará são gerados inúmeros materiais residuais, como caroços e cascas de frutos regionais (caroços de açaí, caroços de buriti, cascas de castanhas, entre outros), em que o aproveitamento desses materiais residuais para a produção de carvão ativado pode ser uma alternativa viável para minimizar o impacto ambiental da disposição inadequado destes materiais (SOUZA et. al., 2015).

Pereira e Rodrigues Junior (2013) realizaram pesquisa sobre a utilização do caroço de açaí no tratamento de água para consumo humano empregando hidróxido de sódio como agente ativador. Foram realizadas análises físico-química das amostras antes de passar pela filtração, filtradas com CA comercial e filtradas com CA de caroço de açaí. Os resultados das análises mostraram eficiência do CA de caroço de açaí nos três parâmetros analisados sendo eles, ferro, turbidez e coliformes.

Costa (2014) também utilizou caroço de açaí na produção de carvão ativado para a composição de leito filtrante de um filtro experimental para testar a remoção de contaminantes da água para consumo humano, e verificou retenção de sólidos suspensos com eficiência de 23%, na remoção de cor com eficiência de 51% e turbidez com eficiência de 32%.

No Quadro 3 são apresentadas vantagens e desvantagens de 3 tipos de filtros mais utilizados em tratamento de água da chuva.

Quadro 3- Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de filtro.

<b>Tipo de filtro</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Filtro lento de areia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo e fácil de montar.</li> <li>- Não necessita de energia elétrica ou produtos químicos.</li> <li>- Materiais facilmente obtidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Largo em volume.</li> <li>- Pesado.</li> <li>- Baixa taxa de filtração</li> </ul>
<b>Carvão ativado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de implantação.</li> <li>- Material prontamente avaliado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não remove bactéria.</li> <li>- Baixo desempenho em remoção de material pesado.</li> </ul>
<b>Cerâmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo e fácil de montar.</li> <li>- Não requer tecnologia avançada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada manutenção, necessita ser limpo periodicamente.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de HWPF, 2008.

Conforme é apresentado no Quadro 3, os filtros de areia, carvão ativado e cerâmico têm menor custo de instalação e operação, podendo ser alternativas viáveis para locais com baixo desenvolvimento e poder aquisitivo, como em zonas rurais.

Não foram encontradas pesquisas que utilizem o meio filtrante com areia e carvão ativado (misto) e carvão ativado à base de caroço de açaí especificamente para o tratamento de água da chuva, sendo estes leitos ainda pouco explorados em estudos sobre tratamento de água e efluentes. Desta forma, a importância de se utilizar o caroço do açaí como matéria do carvão ativado é notória em um estado onde a geração de caroço de açaí como subproduto é elevada, sendo uma alternativa seu aproveitamento para ser utilizado como meio filtrante para tratamento de água da chuva.

### **3.4 Qualidade de água da chuva no SAAC**

#### **3.4.1 Qualidade de água da chuva no telhado**

As características dos telhados tais como materiais, características dos projetos (inclinação, comprimento), idade e condição, e suas interações com condições de tempo podem ter um efeito profundo sobre a qualidade da água do telhado. (FARRENY et al., 2011). Diversos estudos investigaram os efeitos de diversos materiais de telhado na qualidade da água do telhado. Por exemplo, chapas de ferro galvanizado contribuíram na maior concentração de zinco na água do telhado do que cimento-amianto (HANDIA et al., 2003). Diferenças significativas na qualidade da água do telhado também foram observadas entre telhas de barro, folhas de metal, plástico policarbonato e telhado de cascalho plano (FARRENY et al., 2011). Enquanto poluição por metais pesados tem sido associada com telhados de chapa metálica.

Segundo Nakada e Moruzzi (2014) são perceptíveis grandes variações de qualidade da água da chuva coletada no telhado em uma mesma época do ano, em que a variabilidade das variáveis qualitativas é maior durante o período de estiagem e diminui com o aumento da frequência de eventos chuvosos. E sua pesquisa realizada em Rio Claro São Paulo em 2012, encontrou para cor aparente o desvio padrão é de 242,59 UC na época de estiagem, de 27,20 UC no período de chuvas e de 16,86 UC, durante as chuvas intensas; para turbidez, o desvio padrão é de 51,71 UNT; 5,05 UNT e de 1,85 UNT, para as épocas de estiagem, estiagem e chuvas intensas, respectivamente. Em termos de amplitude em torno da média, para cor aparente são encontrados valores da ordem de 195% para estiagem e 175% para época de chuvas intensas; para turbidez, os valores são da ordem de 196% para a época de estiagem e de 165% para o período de chuvas intensas.

Na Tabela 2 são apresentados resultados de diferentes pesquisas que avaliaram a qualidade de água da chuva após o contato com diferentes materiais de telhado.

Tabela 2 - Qualidade de água de chuva após passagem por diferentes materiais de telhado segundo alguns autores.

Autor	Telhados	Cor aparente (Uc)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (Unt)	pH	AT (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	CE (µS/cm)	Nitrito (mg/L)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	C.T (CF/100ml)
Despins et al (2009)	Aço	11,1	N.M	N.M	1,1	7,1	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
	Concreto	25,5	N.M	N.M	1,5	7,2	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
Farias (2012)	Telha do verde	354	733,33	733,33	5,08	6,4 - 7,9	55,98	99,3	164,9	0,47	4,3	N.M
	Telha do cerâmico	14,36	180,83	180,83	2,14	6,4 - 7,2	26,86	32,98	29,49	0,05	4,96	N.M
Lee et al. (2012)	Madeira	N.M	N.M	214	N.M	6.8	N.M	N.M	N.M	235	N.M	131
	Concreto	N.M	N.M	309	N.M	7.1	N.M	N.M	N.M	235	N.M	197
	Cerâmico	N.M	N.M	219	N.M	7.1	N.M	N.M	N.M	235	N.M	76
	Aço galvanizado	N.M	N.M	286	N.M	6.5	N.M	N.M	N.M	235	N.M	70

Fonte: Adaptado de Despins et al, 2009; Farias, 2012; Lee et al., 2012.

ST: sólidos totais, SST: sólidos suspensos totais, AT: Alcalinidade total, CE: condutividade elétrica, OD: oxigênio dissolvido, CT: coliformes totais, N.M = Não medido

Despins et al. (2009) verificaram que a qualidade da água da chuva coletada em telhados de aço foi melhor do que em telhados revestidos de asfalto, especialmente com respeito ao carbono orgânico total (COT), turbidez e cor. Farias (2012) identificou que as principais alterações observadas no telhado verde são em relação à cor e à turbidez, parâmetros que causam rejeição por parte do usuário da água. Outros parâmetros que sofreram alterações significativas foram nitrato e fosfato, devido principalmente à presença do substrato e de matéria orgânica, cuja origem é, principalmente, a decomposição da vegetação dos telhados verde. Enquanto Lee et al. (2012) compararam a qualidade de água da chuva captada em quatro tipos de telhado (telhas de madeira, telhas de concreto, telhado cerâmico e aço galvanizado) em Seul, Coreia do Sul, e concluíram que o aço galvanizado foi o mais apropriado para a o aproveitamento de água da água da chuva, seguido por telhas de barro.

#### 3.4.2 Qualidade de água da chuva na autolimpeza

Pesquisas desenvolvidas em Florianópolis/SC e Vitória/ES, no âmbito do PROSAB – Programa de Pesquisa em saneamento Básico (FINEP/CNPq/CAIXA) mostraram que a água captada diretamente da atmosfera, antes de passar pela superfície de captação, e sem exclusão do primeiro milímetro, apresentaram respectivamente: turbidez média de 1,6 e 0,9 UNT e cloretos de 0,6 e 4,1 mg/L. Contudo, em Vitória, o primeiro milímetro da chuva continha 0,32 mg/L de Nitrato e 12 mg/l de cloretos e condutividade elétrica de 35,5  $\mu$ S/cm; após passar pela superfície de captação (telhado), a turbidez passou de 0,9 para 10,4 UNT, a DQO mudou de 8,9 para 32,2 mg/L e a concentração de cloretos cresceu de 4,1 para 14,4 mg/L (GONÇALVES et al., 2006). Esses dados demonstram que o primeiro milímetro de cada chuva, que lava a atmosfera e a superfície de captação, não deve ser armazenado nas cisternas, mas, sim desviado para outros usos ou descarte automático, sendo o restante da água muito mais pura (ANDRADE NETO, 2013).

Na Tabela 3 são apresentados a qualidade de água da chuva no descarte da água da chuva e no reservatório, evidenciando a importância do dispositivo de autolimpeza.

Tabela 3 - Qualidade de água de chuva após passagem pela autolimpeza segundo alguns autores.

Variável	Lee, Bak e Han (2012)		Gikas e Tsihrintzis (2012)		Zipf et al. (2013)	
	Descarte	Reserv.	Descarte	Reserv.	Descarte	Reserv.
pH	NM	NM	6,44 - 7,04	6,64 - 6,99	6,26	6,13
Turbidez (Unt)	NM	NM	NM	NM	6	1
Cor aparente (Uc)	NM	NM	NM	NM	72	21
CE ( $\mu$ S/cm)	NM	NM	238,4	64,66	NM	NM
SST (mg/L)	219,3	41,6	16,52	2,68	NM	NM
Nitrito (mg/L)	NM	NM	0,1	0,04	NM	NM
Nitrato (mg/L)	1,89	2,81	0,54	0,7	NM	NM
Fósforo Total (mg/L)	NM	NM	2,98	1,01	NM	NM
OD (mg/L)	NM	NM	1,03	1,37	NM	NM
CT	76	2	272	284	NM	NM
<i>E.coli</i>	8	1	NM	NM	NM	NM
Zinco ( $\mu$ g/L)	131	19	NM	NM	NM	NM
Chumbo( $\mu$ g/L)	11	3	NM	NM	NM	NM
Al ( $\mu$ g/L)	243	36	NM	NM	NM	NM
Cobre ( $\mu$ g/L)	37	12	NM	NM	NM	NM
Ferro ( $\mu$ g/L)	155	24	NM	NM	NM	NM

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Gikas e Tsihrintzis, 2012; Andrade, Zipf et al, 2013.

SST: sólidos suspensos totais, AT: Alcalinidade total, CE: condutividade elétrica, OD: oxigênio dissolvido, CT: coliformes totais, Al: alumínio, N.M = Não medido

Lee, Bak e Han (2012) apresentaram valores de SST com diferença significativa entre o coletado na autolimpeza e no reservatório, mostrando que a autolimpeza alcançou uma diferença de 117,7 mg/L, além disso em termos microbiológicos, a autolimpeza foi eficaz em reduzir presença de bacteriológica no reservatório. Gikas e Tsihrintzis (2012) verificaram que quanto a coliformes totais o reservatório apresentou concentração maior do que na autolimpeza, e encontraram concentrações de SST maior na autolimpeza, que assim mostra que foi efetiva na remoção de partículas em suspensão, e em relação a nutrientes, tiveram maiores concentrações de fósforo total e nitrito na autolimpeza. Zipf et al (2013) verificaram que a autolimpeza alcançou diferenças médias de 67% e 64% para as variáveis de turbidez e cor aparente respectivamente em relação a qualidade armazenada no reservatório após abstração inicial, ratificando que a autolimpeza é significativa na remoção de concentrações de poluentes da água da chuva.

### 3.4.3 Qualidade de água da chuva no reservatório

Normalmente a qualidade química e física de água de chuva armazenada nas cisternas é boa, mas é difícil atingir, sem cuidados específicos, um padrão de qualidade com ausência de coliformes (BRITO e GNADLINGER, 2006). A água da chuva é naturalmente livre de organismos patogênicos, mas pode tornar-se contaminada devido ao contato com as superfícies de captação e armazenamento. Portanto, a qualidade microbiológica da água irá depender das condições de armazenamento, fatores como temperatura e tempo, manutenção e práticas sanitárias relacionadas ao sistema (WHO, 2008). A coleta de água da chuva insere potenciais riscos à saúde devido à presença de possíveis contaminantes microbiológicos e químicos; patógenos podem ter origem fecal de aves, mamíferos e répteis que têm acesso as áreas de captação ou armazenamento (SAZAKLIA, 2007).

Evans, Coombes & Dunstan (2006) relatam que a partir de um ponto de vista microbiológico, existem dois modos distintos de contaminação das cisternas: pelo contato da água com o telhado, através das atividades de insetos, pássaros e pequenos mamíferos, ou por deposição atmosférica. Os autores têm dado ênfase no primeiro modo, e a possível introdução de organismos patogênicos ao sistema de armazenamento através da contaminação fecal da superfície de captação, reprodução de insetos, ou a deterioração dos organismos mortos e outros restos orgânicos.

Na Tabela 4 são apresentados valores de variáveis de qualidade de água da chuva na etapa de reservação por diferentes autores

Tabela 4 - Resultados do estudo qualitativo da reservação da água de chuva e seus respectivos autores.

Variável	Kus et al (2011)		Andrade (2012)	Souza et al (2013)	Bier e Fernandes (2013)		Matos (2014)		Xavier et al (2014)		Oliveira et al (2015)
	Urbana	Rural	Mín. – Máx.	Mín. – Máx.	Reserv. 01	Reserv. 02	Média	DP	Superf.	Fundo	Média
<b>pH</b>	6,97	6	3,8 - 6,5	6,32 - 9,53	NM	NM	6,38	0,8	8,8	8,54	8,1
<b>CE (<math>\mu\text{s/cm}</math>)</b>	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	147,16	160	NM
<b>cor aparente(UC)</b>	NM	NM	0,26 – 20	0,30 - 17,40	4,85	0,4	6,19	2	NM	NM	NM
<b>turbidez (Unt)</b>	1,9	1	0 - 1,63	1,95 - 7,79	25	ND	2,84	2,2	0,52	0,79	0,05
<b>SDT(<math>\text{mg l}^{-1}</math>)</b>	46,2	17	NR	10 - 198	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>SST(<math>\text{mg l}^{-1}</math>)</b>	2,3	<0,5	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>dureza (<math>\text{mg/L}</math>)</b>	18,8	5	NM	3,0 - 7,0	NM	NM	NM	NM	NM	NM	34
<b>nitrito (<math>\text{mg/L}</math>)</b>	2,8	2	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>cloreto (<math>\text{mg/L}</math>)</b>	NM	NM	NM	0,48 - 3,35	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>OD (<math>\text{mg/L}</math>)</b>	NM	NM	NM	3,1 - 5,3	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>chumbo (<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>)</b>	0,01	<0,01	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>ferro (<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>)</b>	0,31	<0,01	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>CT (NMP/100 ml)</b>	NM	NM	93% <sup>4</sup>	1,50E+03 - 4,10E+03	230000	<18	100% <sup>4</sup>	-	NM	NM	NM
<b>E.coli(NMP/100ml)</b>	NM	NM	40%	0,00E+00 - 1,00E+03	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>CF(%positivo)</b>	NM	NM	NM	NM	NM	NM	92%	-	NM	NM	NM

Fonte: Adaptado de Vialle et al, 2011; Wilbers et al, 2013; Morrow, Dustan e Coombes, 2010; Andrade, 2012; Andrade Neto, 2012; Matos, 2014; Simmons et al, 2001.

CE: condutividade elétrica, SDT: sólidos dissolvidos totais, SST: sólidos suspensos totais, OD: oxigênio dissolvido, CT: coliformes totais, CF: coliformes fecais, NM: não medido

Kus et al. (2011) verificaram que a qualidade de água de um reservatório na zona rural de Nova Gales do Sul/Austrália possui valores de todos os parâmetros analisados menores do que reservatório na zona urbana da mesma cidade, como o valor de turbidez que apresenta diferença de 0,9 UNT entre o primeiro reservatório e o segundo, além de valores de sólidos presentes na água armazenada em que na zona rural obtiveram valores de 17 e <0,5 para SDT e SST respectivamente, enquanto que no reservatório na área urbana tiveram os valores de 46,2 mg/L e 2,3 mg/L respectivamente.

Na pesquisa de Bier e Fernandes (2013) foi analisada a qualidade de água da chuva em dois reservatórios de um edifício comercial em Passo fundo/RS, o primeiro reservatório apenas com água da chuva (uso para combate a incêndio) e o segundo com água da chuva e de outra fonte de água (conexão cruzada), perante aos valores de turbidez, cor aparente e coliformes totais evidenciaram que a qualidade de água da chuva no reservatório 2 tem melhor qualidade, como pode ser visto que na variável coliformes totais no reservatório foi detectado a concentração de 230000 e no reservatório 2, <18.

Xavier et al. (2014) analisaram a qualidade da água armazenada em cisternas rurais da comunidade Lagoa de São João, localizada no município de Princesa Isabel/PB, tanto na superfície quanto no fundo das cisternas, e encontraram que não há uma grande variação na qualidade de água da chuva nestas duas profundidades, sendo que no fundo há maiores valores dos parâmetros de qualidade, em virtude do acúmulo de sólidos.

Em relação aos parâmetros da Tabela 4, o pH teve uma variação de 3,8 (ANDRADE, 2012) a 9,53 (SOUSA et al., 2013). A cor aparente teve maior como maior variação na pesquisa de Andrade (2012), tendo valor próximo a variação encontrada por Sousa (2013). A turbidez mostrou-se relativamente baixa apresentando valor máximo de 22 UNT reportado por Bier e Fernandes (2013) e os menores verificados por Andrade (2012) e Oliveira et al. (2013) no valor de 0 e 0,05 UNT, respectivamente. A variável dureza teve como maior valor de 34 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Oliveira et al) mas que segundo a portaria 2914 (BRASIL, 2011) não representa risco para consumo humano. No aspecto microbiológico, os autores encontraram valores de C.T elevados (ANDRADE, 2012; SOUZA et al., 2013; BIER e FERNANDES, 2013), considerando a água de chuva não apropriada para consumo humano direto, nestes casos para uma utilização para fins potáveis.

#### 3.4.4 Qualidade de água da chuva pós filtração

A filtração lenta pode ter boa eficiência na redução de cor, turbidez e coliformes. Murtha e Heller (2003) avaliaram turbidez e cor aparente, além de microrganismos nas diferentes alturas do meio filtrante, utilizando filtro lento, com 0,75 m de camada filtrante, operando nas taxas de 7,2; 4,7 e 2,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. A remoção de turbidez ocorreu efetivamente nos 10 cm iniciais do leito filtrante, enquanto que a remoção de cor nos 15 cm iniciais do leito filtrante. Já para os parâmetros microbiológicos, perceberam que a remoção ocorre decisivamente nos 30 cm iniciais.

Costa et. al. (2011) analisaram a qualidade da água de chuva após o sistema de tratamento contido de filtro de areia e filtro de carvão ativado em um centro de integração, na cidade de Campo Mourão/PR, e observaram que não houve remoção de turbidez até o 13º dia da partida do filtro, pois a turbidez foi de 56,1 UNT. A partir do 14º dia de operação dos filtros, houve início da remoção de 36,8 UNT para 15,7 UNT até o 30º dia de operação (57,3%), provavelmente devido à formação da camada de Schmutzdecke no meio filtrante, e a partir do 30º dia de operação, os filtros apresentaram estabilidade na remoção da turbidez de 15,7±2,0 UNT, independentemente das variações desse parâmetro nas amostras do afluente. Esse comportamento foi mantido até o 85º dia de operação, quando houve aumento da turbidez de 12,8 UNT para 67,7 UNT nas amostras do efluente do filtro.

Bauer (2011) descreve a remoção de *E. coli* entre 2,25 e 3,92 unidades logarítmicas pelo filtro de areia lento. Timms et al. (1995) constatou que a filtração lenta técnica é altamente eficiente, com redução acima de 99,997% em níveis de oócitos de *Cryptosporidium*. Heller et al. (2006) avaliou o tratamento de água sintética enriquecida com *Cryptosporidium* oocistos por filtros de areia lento, e encontrou eficiências de remoção entre 99,988 e 99,998%. Keraita et al. (2008) investigou tratamento águas residuais domésticas por filtros lentos de areia e encontrou remoções de 2 unidades logarítmicas para coliformes fecais, de 2,3 a 3,7 unidades logarítmicas para *E. coli* e 2,6 unidades logarítmicas para *Enterococcus*, dependendo da qualidade de a água bruta e a taxa de aplicação.

Sousa et al. (2013) recomenda que a água seja submetida a algum processo de baixo custo, como a filtração, visto que, é um processo eficiente na melhoria da turbidez e na remoção de organismos patógenos

Tabela 5 - Qualidade de água de chuva pós filtração por diferentes autores.

Autores	Valle et al. (2005)		Rahmat et al (2008)		Kemerich e Ruosso Jr (2010)		Agra et al (2012)		Moreira Neto (2012)		Naddeo et al (2013)	
	Antes	Pós-filtro	Antes	Pós-filtro	Antes	Pós-filtro	Antes	Pós-filtro	Antes	Pós-filtro	Média	% eficiência
<b>Sólidos suspensos (mg/L)</b>	NM	NM	25	14	NM	NM	NM	NM	33	46	NM	NM
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	NM	NM	NM	NM	1120	170,33	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>OD (mg/L)</b>	NM	NM	6,48	7,44	NM	NM	4,75	4,95	NM	NM	NM	NM
<b>pH</b>	5,43	6,13	5,26	6,55	NM	NM	9,24	9,71	7,2	6,8	NM	NM
<b>Cond. Elétrica (ms/cm)</b>	18,0	29,32	NM	NM	110	70	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>Turbidez (UNT)</b>	0,84	0,53	60,4	19,08	NM	NM	4,13	5,76	0,79	1,9	2,13	59,7
<b>Cor (UC)</b>	3,00	2,55	NM	NM	152	31,66	3,09	1,81	NM	NM	NM	NM
<b>Cu (mg/L)</b>	NM	NM	0,58	0,37	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>Pb (mg/L)</b>	NM	NM	0,002	0,0006	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
<b>CT (UFC/100 ml)</b>	NM	NM	472±358	NR	NM	NM	9,60 X 10 <sup>3</sup>	6,00 X 10 <sup>2</sup>	NM	NM	61	59,8
<b><i>E. coli</i> (UFC/100 ml)</b>	NM	NM	20± 21	NR	NM	NM	7,22 X 10 <sup>2</sup>	1,00 X 10 <sup>2</sup>	41	NM	108	67,9

Fonte: Adaptado de Valle et al, 2005; Rahmat et al, 2008; Kemerich e Ruosso Jr, 2010; Agra et al, 2012; Moreira Neto, 2012; Naddeo et al, 2013.  
OD: oxigênio dissolvido, Cu: cobre, Pb: chumbo, CT:coliformes totais, NM: não medido.

Para a qualidade de água de chuva pós filtros de carvão ativado analisados por Valle et. al (2005) constataram que a qualidade da água após a filtração teve um aumento de valores para os parâmetros: pH, alcalinidade total e condutividade, sendo a possível causa a dissolução de sais proveniente da camada suporte e meio filtrante, e para cor aparente teve uma redução pouco significativa dos valores encontrados se analisado a entrada com média de 3 UC com a saída média de 2,55 UC, isso se deve as limitações do filtro e as baixas concentrações desses parâmetros encontrados na caixa detenção; já para análise de turbidez a redução foi de 37% em média. O filtro de areia da pesquisa desenvolvida por Rahmat et al. (2008) alcançou consideráveis remoções de SST e turbidez, com variação de remoção de 19 a 54% e 61 a 76% respectivamente, além disso a remoção de chumbo foi significativa com pico de 90% de remoção após passagem pelo filtro. O filtro com a disposição de camadas em brita, manta geotêxtil, areia fina e areia grossa do estudo desenvolvido por Kemerich e Ruosso Jr (2010) apresentou o melhor desempenho de remoção de contaminantes em relação aos outros 2 filtros montados, obtendo de 97,28% em turbidez e 86,18% em cor do efluente após filtro. Para Agra et al. (2012) constatou que a areia foi a responsável pelo aumento da turbidez da água ao passar pelo leito filtrante, devido à presença de finos, de difícil remoção, aderidos ao grão, por outro lado essa situação não se repetiu com a variável cor que teve uma média de remoção em 58,6%, quanto a *E.Coli* e C.T a eficiência média de remoção foi de 88,7% ou 0,95log10 e 94% ou 1,22log10, respectivamente. No caso do estudo conduzido por Moreira Neto et al. (2012), após a passagem pelos filtros houve um aumento na turbidez, possivelmente atribuído aos sólidos presentes nos grãos de areia que constituem o leito filtrante, por isso, neste caso, a filtração em areia não se mostrou eficiente, refletindo inclusive no acréscimo da variável SST que passou de 33 mg/L a 46 mg/L. Por outro lado, a utilização dos filtros lentos atingiu máximas eficiências de remoção da ordem de 4 e 3 unidades logarítmicas de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. Oocistos de *Cryptosporidium* não foram encontrados em nenhuma das amostras analisadas. Naddeo et al (2013) observaram que cerca de 98,3%  $\pm$  1,6% da turbidez foi removida durante o processo na unidade de filtração, obteve também eficiência de

99,99% na remoção de coliformes, o que mostrou ser uma tecnologia eficiente quando comparado com o desempenho da filtração carvão granular somente.

### **3.5 Presença de microrganismos em reservatórios**

Segundo a OMS (2003), cerca de 80% das doenças que ocorrem em países em desenvolvimento são veiculadas pela água contaminada por microrganismos patogênicos. Carvalho et al. (2010) aponta que diversos estudos epidemiológicos mostram resultados que incluem infecções gastrointestinais, respiratórias e mortes associados a inalação, ingestão ou contato com água contaminada por microrganismos patógenos.

O reservatório é um ponto que pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos, pois há água confinada e substratos.

As algas podem ser um problema para a qualidade da água. O crescimento excessivo de algas em reservatórios brasileiros é uma realidade e tem prejudicado os usos múltiplos da água. O maior problema está no fato de que podem produzir toxinas, tais como as microcistinas, que causam a morte de animais domésticos e selvagens e também a intoxicação humana (CARMICHAEL et al., 2001; PAERL et al., 2001; FERNANDES et al., 2009).

No Brasil, o caso mais grave de consumo de água envolvendo a morte de seres humanos foi o que ocorreu na cidade de Caruaru, em 1996, em que mais de 70 pacientes de uma clínica de hemodiálise vieram a óbito devido à intoxicação por cianotoxinas (BITTENCOURT-OLIVEIRA E MOLICA, 2003; CARMICHAEL et al., 2001).

A qualidade da água está diretamente ligada à presença microbiana, e o monitoramento de microrganismos torna-se essencial na busca de alternativas para questões ambientais relacionadas à água (ARAÚJO E COSTA, 2007; NASCIMENTO e ARAÚJO, 2014).

No SAAC, há a possibilidade de microrganismos devido as condições oferecidas que são a presença de nutrientes que são carregados pela água que incide no telhado, a água armazenada no reservatório e a incidência de luz solar no sistema, que ocasionalmente ocorre.

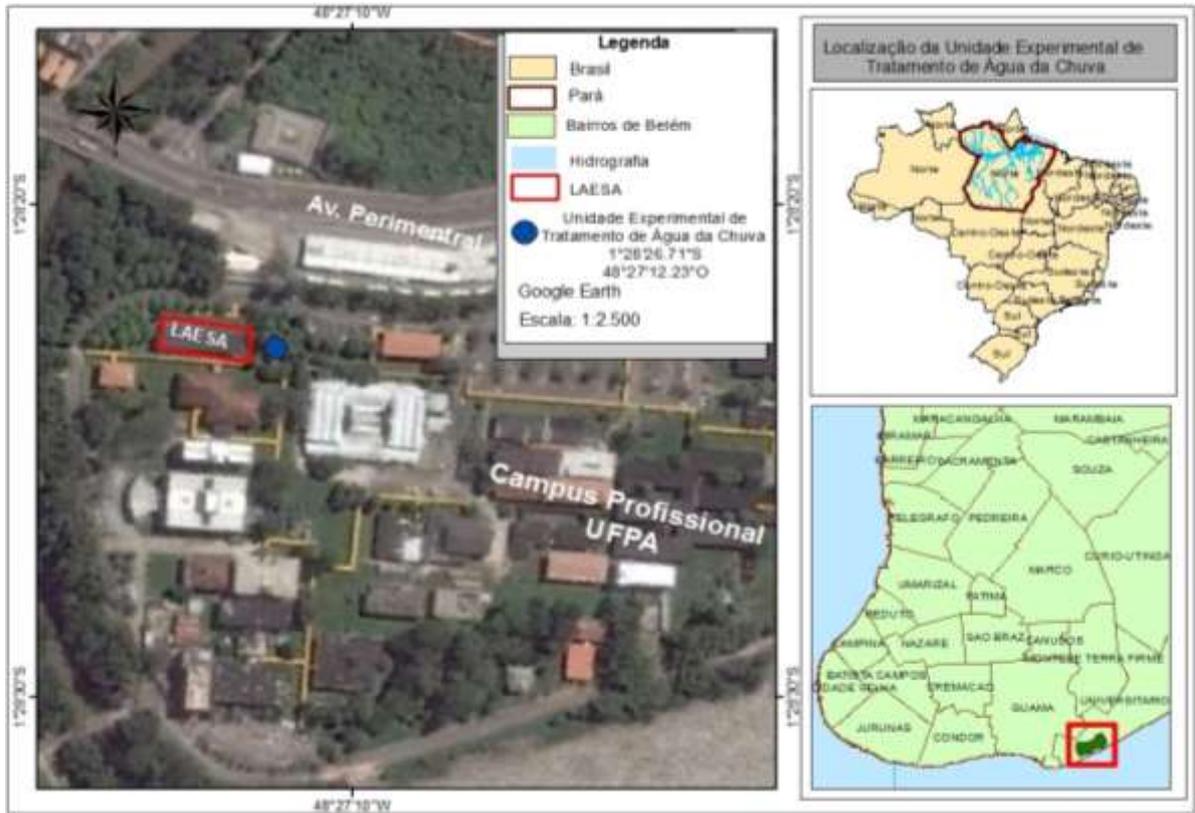
## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Área de estudo**

A pesquisa foi desenvolvida na unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC) no setor profissional da Cidade Universitária José Silveira Neto, no campus profissional da Universidade Federal do Pará (UFPA), localizado na cidade de Belém. Esta unidade está em operação desde março de 2015, sendo localizada próximo ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), assim facilitando a realização do monitoramento da qualidade da água que é realizado no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) do Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes (GESA). A UETAC está sob influência da vegetação que deixa o sistema sombreado, assim diminuindo a incidência de luz solar, além disso a UETAC recebe um volume considerável de folhas e frutos, principalmente no telhado, e com grande possibilidade do telhado conter dejetos e fezes de pássaros que habitam as árvores.

Na Figura 6 é mostrada a localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.

Figura 6 - Localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.



Fonte: Autor, 2017.

## 4.2 Caracterização da UETAC

A UETAC (Figura 7) foi estruturada como uma edificação em madeira de lei, com cobertura em telha cerâmica tipo plan com área de 24 m<sup>2</sup> (6m x 4m), possuindo reservatório elevado em fibra de vidro com capacidade de 500 litros que está alocado sobre estrutura de madeira de lei, calha de PVC de 125 mm de diâmetro com extensão de 6 metros, tubulações que variam de 50 a 100 mm que ligam a calha ao reservatório e também constituem o dispositivo de autolimpeza, e 3 filtros: de areia, misto (areia adicionado de carvão ativado) e carvão ativado.

Figura 7 - Vistas da UETAC.

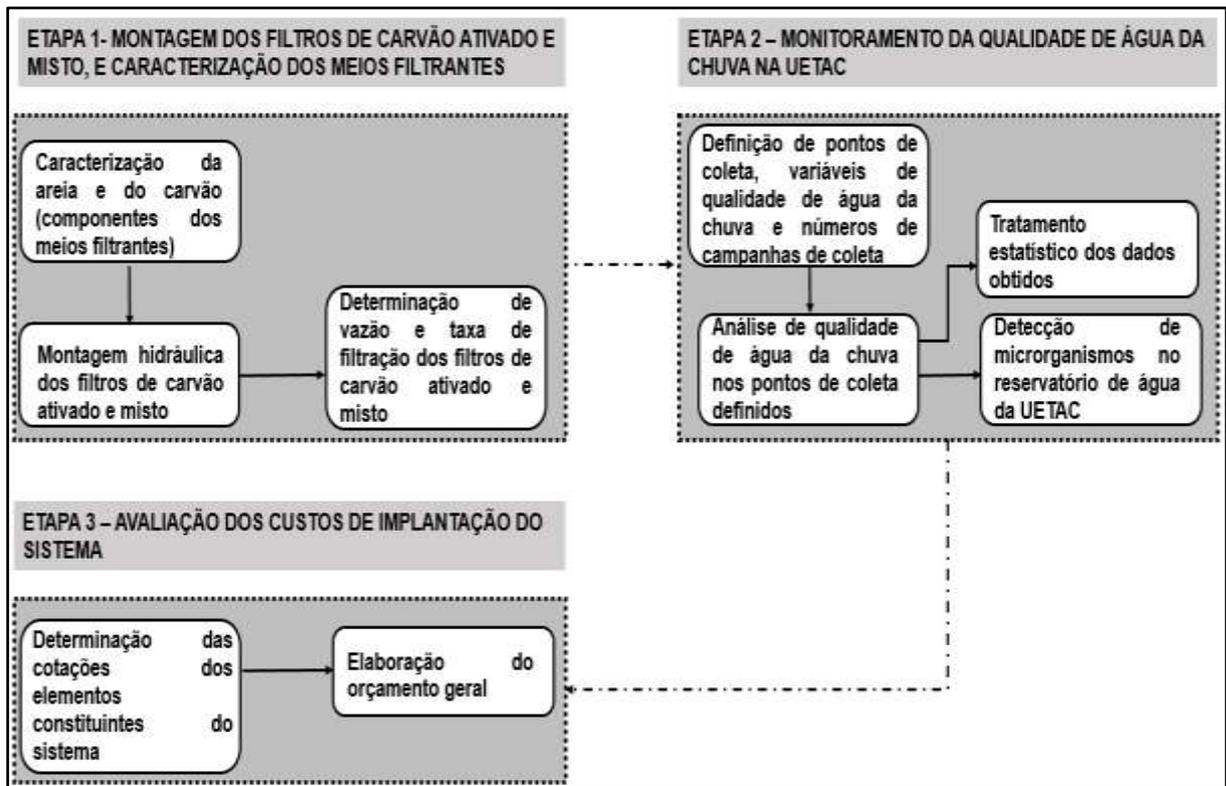


A captação de água da chuva é realizada no telhado cerâmico e encaminhada por calhas de PVC para os dispositivos de autolimpeza que possuem em suas extremidades capes com flanges e torneiras de 20 mm que regulam o esvaziamento do dispositivo. Após o preenchimento da abstração, o reservatório de fibra de vidro é alimentado e a água passa pela etapa de filtração em 3 filtros diferentes: filtro de areia, misto (areia e carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí) e carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí, sendo que para esta pesquisa somente serão estudados os dois últimos.

### 4.3 Etapas da pesquisa experimental

A pesquisa experimental foi iniciada em março de 2015 e concluída em julho de 2017, sendo dividida nas etapas e fases apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Etapas e fases experimentais da pesquisa.



#### 4.3.1 Montagem dos filtros de carvão ativado e misto, e caracterização dos meios filtrantes

Realização de ensaio de caracterização da areia e do carvão (componentes dos meios filtrantes).

Os ensaios de caracterização de areia foram feitos no Laboratório de Construção Civil da UFPA, atendendo ao disposto na norma NBR 11799 (ABNT, 2016) e consistiram na construção da curva granulométrica (peneiramento em peneira elétrica), cálculo do peso específico, coeficiente de uniformidade e diâmetros

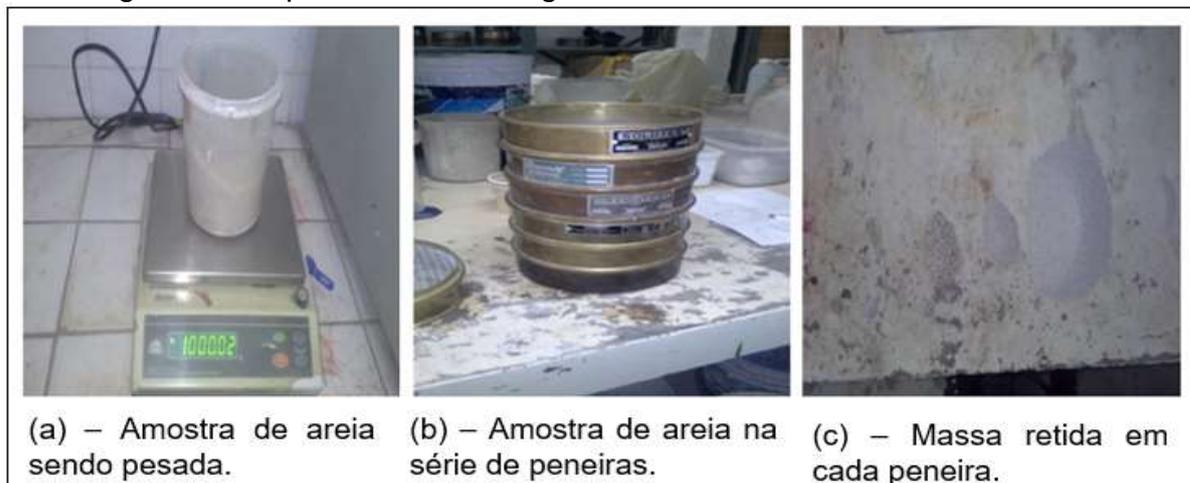
efetivos. A desinfecção da areia foi feita em solução de hipoclorito de sódio 2,5% onde a mesma ficou imersa por 30 minutos e posteriormente foi lavada em água corrente.

O ensaio de granulometria foi feito por uso de peneiras da série normal, consistindo nas seguintes etapas:

- Pesou-se 1 kg de amostra de areia em uma balança de precisão;
- A amostra foi colocada na estufa por um período de 24 horas para realizar sua secagem;
- A amostra foi retirada da estufa e foi colocada em uma bandeja para seu resfriamento;
- Foi preparado a sequência de peneiras da série normal, conforme o quadro 4;
- A amostra então foi despejada no início da sequência de peneiras, realizando a agitação das peneiras por 2 minutos para que a amostra percorresse toda a série de peneiras;
- A massa retida em cada peneira foi retirada, e foram pesadas na balança de precisão.

Na Figura 9 são apresentadas as etapas correspondentes do ensaio de granulometria.

Figura 9 - Etapas do ensaio de granulometria da areia do meio filtrante.



O peso das massas retidas em cada peneira e suas respectivas porcentagens da massa total da amostra serviram para a confecção da curva granulométrica. Os dados de granulometria foram utilizados para a obtenção dos diâmetros efetivos e cálculo do coeficiente de uniformidade conforme a equação 1:

$$C.E = \frac{d_{10}}{d_{60}} \quad (1)$$

Onde:

C.E = Coeficiente de uniformidade;

d10 = Diâmetro efetivo 10%;

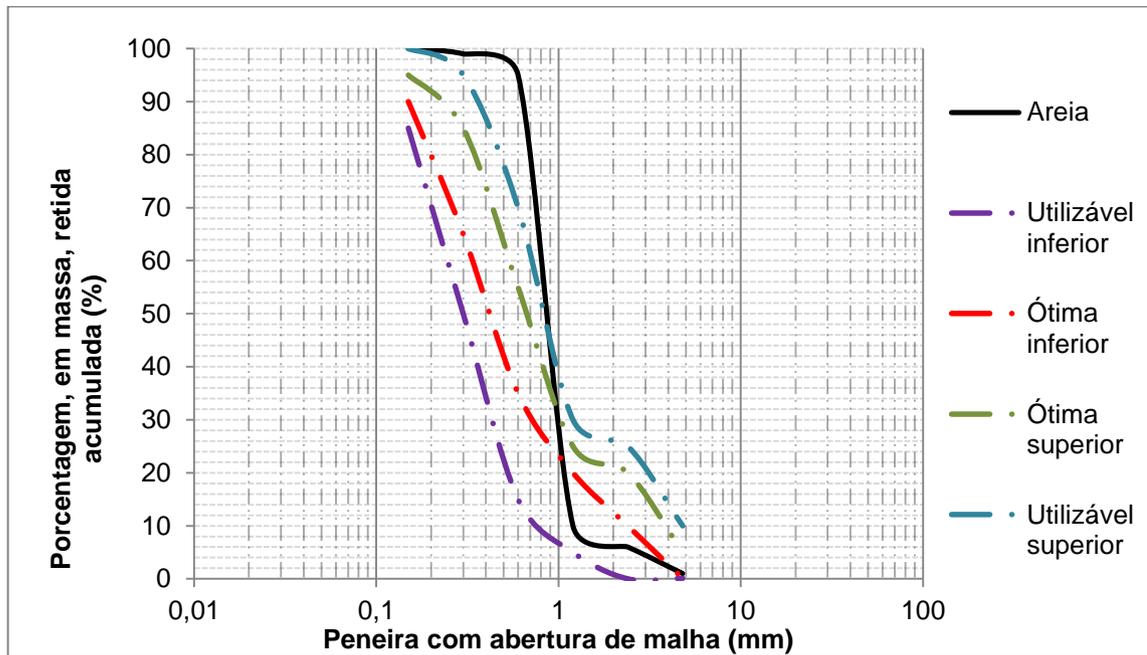
d60 = Diâmetro efetivo 60%.

Quadro 4 – Série de peneiras.

<b>Posicionamento</b>	<b>Abertura (mm)</b>
1°	4,8
2°	2,4
3°	1,2
4°	0,6
5°	0,3
6°	0,1

Na Figura 10 é apresentada a curva granulométrica da areia utilizada no filtro misto.

Figura 10 – Curva granulométrica da areia utilizada no filtro misto.



Após análise da curva granulométrica foram obtidas as seguintes características da areia: o diâmetro efetivo foi de 0,62 mm e o coeficiente de uniformidade de 1,42.

Algumas pesquisas abordam que, para garantir boas condições de operação de um filtro, tanto na retrolavagem quanto na retenção de partículas, o coeficiente de uniformidade esteja no intervalo de 1,40 e 1,60, e o diâmetro efetivo entre 0,4 a 1,5 mm (RICHTER E AZEVEDO NETO, 1991; BURT, 1994; PIZARRO CABELO, 1996). Na NBR 12.216 (ABNT, 1992) é recomendado que um filtro lento tenha coeficiente de uniformidade menor que 3 e diâmetro efetivo entre 0,25 e 0,35 mm, e para um filtro rápido de camada simples o coeficiente de uniformidade esteja entre 1,4 a 1,6, e diâmetro efetivo entre 0,45 e 0,50 mm. Portanto, o coeficiente de uniformidade da areia do filtro misto está em conformidade com as referências citadas, no entanto o diâmetro efetivo da areia do filtro misto é condizente apenas com as pesquisas encontradas e discordante em relação a recomendação técnica da norma brasileira, pois tem diâmetro efetivo superior ao recomendado. O diâmetro efetivo tem classificação na faixa de areia média que reflete no desempenho dos filtros, pois

segundo Haman et al. (1994), a eficiência de filtração dos filtros de areia aumenta com a redução da granulometria do elemento, onde areias muito grossas podem resultar em filtração ineficiente e permitir o entupimento dos emissores, enquanto areias muito finas podem entupir rapidamente seus poros e requerer retrolavagens frequentes. Souza (2013) ratifica que quanto menor diâmetro efetivo da areia melhor o desempenho na filtração lenta.

O ensaio de massa específica foi feito pelo método do Frasco de Chapman, em que os procedimentos foram:

- Pesar 500 g da amostra de areia na balança de precisão;
- Colocar 200 ml de água no frasco de Chapman;
- Colocar a amostra de areia pesada no frasco junto a água já inserida.

Na Figura 11 são apresentadas as etapas correspondentes do ensaio de massa específica.

Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específico da areia do meio filtrante.



O Frasco de Chapman possui uma leitura baseada no nível em que a amostra mais a água alcança, tendo uma medição da altura fixada no frasco. Para conhecer o valor da massa específica, foi utilizada a equação 2.

$$M.E = \frac{P}{L - V} \quad (2)$$

Onde:

M.E = Massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

P = Peso da amostra (g);

L = Altura da amostra mais água no frasco (cm);

V = Volume de água (mL).

Em relação à massa específica a areia do filtro misto possui valor de  $2.632 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Pesquisas mencionam que o valor de massa específica da areia esteja entre  $1.500$  a  $2.950 \text{ kg}/\text{m}^3$  em meios filtrantes para garantir uma boa vazão e bom desempenho em retrolavagem (TURA, SABAH e GULSEN, 2003; BROUCKAERT, 2004; SALCEDO RAMIREZ, 2010). Esta faixa é condizente com o valor da massa específica encontrada para a areia do filtro misto.

O carvão ativado utilizado nesta pesquisa foi produzido por Sousa (2015) que para a produção dos carvões ativados de caroços de açaí utilizou o método adaptado de Pereira (2013).

Para a produção de CA de caroço de açaí foram necessários os seguintes materiais e procedimentos:

- 100g de caroços de açaí;
- 4g de hidróxido de sódio;
- 50ml de água destilada;
- Cápsula de porcelana de 100mL;
- Cubeta de 100ml;
- Estufa;
- Mufla;
- Panela de barro, com capacidade de 800g;
- Erlenmayer;
- Pinça.

Primeiramente os caroços de açaí foram lavados em água corrente no para retirar resíduos provenientes do beneficiamento do fruto. Em seguida, com o auxílio de uma pinça, foi retirado o excesso das fibras dos caroços. Feito isto, 100g do material foi pesada em capsula de porcelana o qual permaneceu em estufa a  $100^\circ\text{C}$  por 3 horas.

A solução de hidróxido de sódio foi preparada com 4g de NaOH e 50ml de água destilada. Após a etapa de secagem em estufa os caroços foram impregnados com esta solução por um tempo de contato de 24 horas.

Passado 24h, a cápsula de porcelana contendo os caroços impregnados com o agente ativador foi novamente para estufa por um período de 3h. depois desse período, o material foi colocado na mufla a 400°C por 3h.

Esse procedimento foi repetido várias vezes utilizando cápsulas de porcelana, além da utilização de uma panela de barro que acomodava 800g de caroços que ajudou a otimizar o processo de produção de CA, obtendo a quantidade desejada de 3,5 litros de CA de caroço de açaí.

A caracterização do carvão ativado (CA) de caroço de açaí foi adotada da pesquisa desenvolvido por Sousa (2015), que para a determinação da densidade aparente utilizou a metodologia de Loureiro (2012), que seguiu a NBR 12076 (ABNT, 1991), e para a determinação do teor de umidade do CA foi realizada de acordo com a norma D 2867-09 (ASTM, 2014). Sousa (2015) determinou a granulometria do CA seguindo a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Para a determinação da granulometria foram utilizadas 2 peneiras da série normal (9,5mm e 4,8mm), e uma peneira da série intermediária (6,3mm).

O procedimento para determinação do agregado foi realizado da seguinte forma: foram separadas duas amostras de 1kg de CA, previamente secas em estufa. A massa mínima, por ensaio, foi estimada de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Massa mínima de amostra para o ensaio de granulometria.

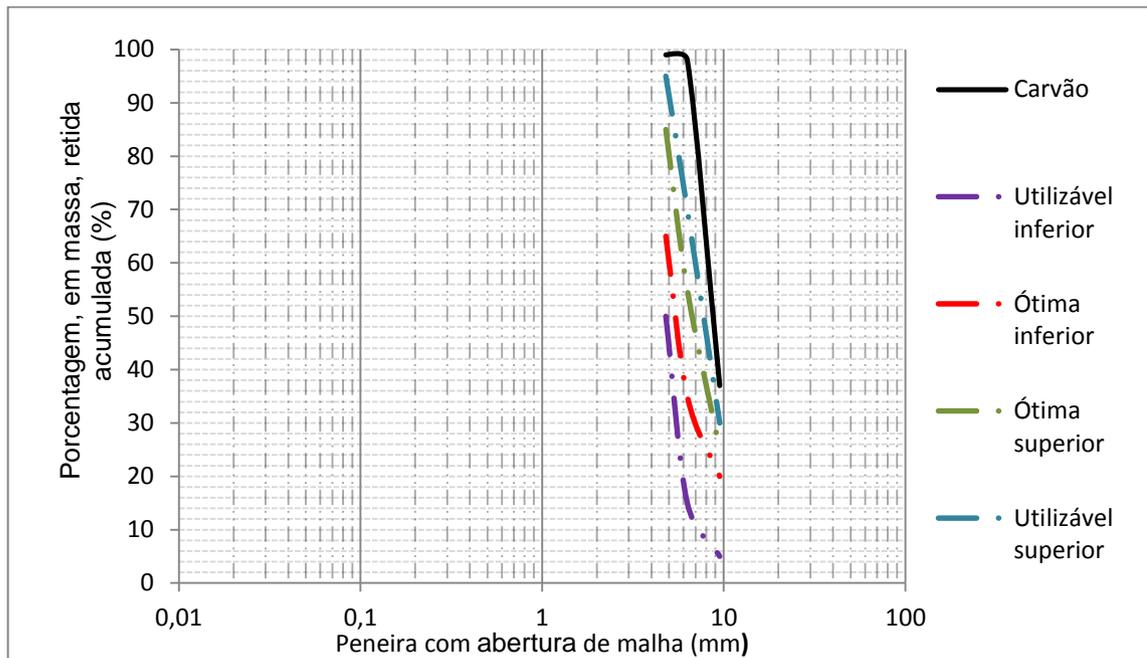
<b>Dimensão máxima nominal do agregado (mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra de ensaio (Kg)</b>
<4,75	0,3*
<b>9,5</b>	<b>1</b>
12,5	2
19	5
25	10

\*Após secagem

Fonte: ABNT, 2003

A curva granulométrica do carvão ativado de caroço de açaí (CCA) dos filtros está representada na Figura 12.

Figura 12 – Curva granulométrica do carvão ativado utilizado nos filtros.



Fonte: Adaptado de Sousa (2015)

Após análise da curva granulométrica foram obtidas as seguintes características para o carvão ativado: o diâmetro efetivo foi de 6,9 mm e o coeficiente de uniformidade em 0,73.

Na NBR 12.216 (ABNT, 1992) é citado que a recomendação para antracito (carvão mineral) é que tenha coeficiente de uniformidade inferior ou igual a 1,4 e diâmetro efetivo entre 0,8 a 1,0 mm. Portanto, o coeficiente de uniformidade do CCA utilizado nos filtros está em conformidade com a recomendação técnica da norma brasileira, mas seu diâmetro efetivo é superior ao recomendado, já que sua granulometria não é tão uniforme, sendo importante observar que o tamanho das partículas de carvão ativado influencia na absorção, já que quanto menor for o grão, maior será a sua área superficial, facilitando a adsorção. A granulometria do CCA foi acima do utilizado Pereira Neto, Arantes e Oliveira (2016) que empregaram resíduos do peneiramento na produção do carvão vegetal convencional, com granulometria entre 0,90 a 1,1 mm no tratamento de água da chuva, e da pesquisa de Yang et al.

(2015) que utilizaram carvão ativado vegetal (não mencionado o material de origem) com granulometria de 1, 2 e 3 mm com intuito de verificar a influência do diâmetro no desempenho da filtração, e o resultado foi que o carvão ativado de granulometria de 1mm teve melhor desempenho na remoção de poluentes. Então os filtros montados com CCA podem ter menor desempenho devido ao seu tamanho de grãos.

O teor de umidade do CCA foi de 2,10%, sendo inferior aos valores detectados por Costa (2014) (40,7%) e Nagalshi (2007) (43,7%), e relativamente próximo dos valores encontrados por Ramos (2005) (10,7%), Cruz Junior (2010) (5,1%) e Loureiro (2012) (8,2%). Barros (2006) recomenda que o teor de umidade do CA a base de vegetais não seja maior que 8% para que tenha um bom desempenho, uma vez que este teor de umidade evidencia que o carvão produzido não continha água em sua estrutura que pudesse ocupar espaço e por consequência não reter partículas e influenciando no desempenho.

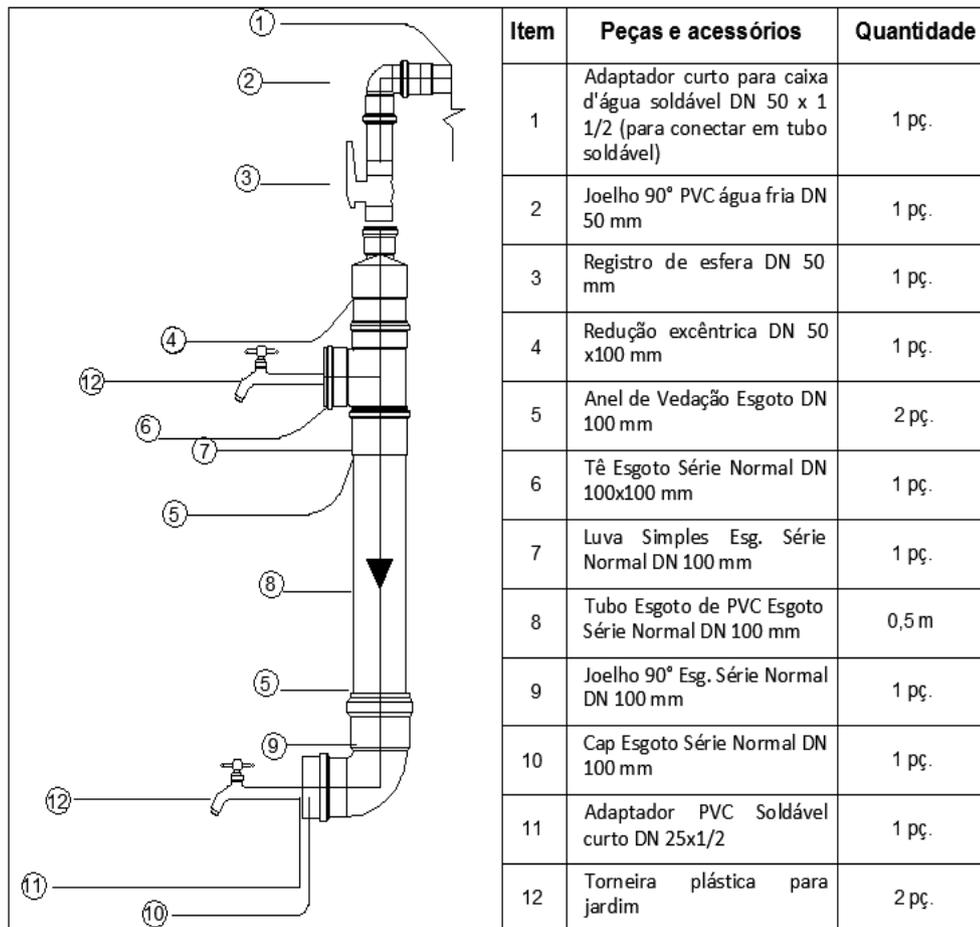
A densidade aparente do carvão ativado foi de  $0,358 \text{ g/cm}^3$ , sendo inferior dos valores encontrados nas pesquisas de Ramos (2005) ( $0,4575 \text{ g/cm}^3$ ) e Coelho, Vazzoler e Leal (2012) (entre  $0,45$  e  $0,55 \text{ g/cm}^3$ ). A densidade aparente implica na fluidificação das partículas para que não sejam capazes de serem arrastadas no fluxo de água e não sejam expandidas nos processos de retrolavagem. Conforme Brouckaert (2004) partículas mais densas tem menor capacidade de serem arrastadas do meio filtrante, bem com o necessitam de maior vazão na retrolavagem.

### Montagem hidráulica dos filtros de carvão ativado e misto

Após o término da construção do sistema estrutural suporte, teve início a concepção do sistema experimental sendo constituído pela calha, autolimpeza, reservatório e filtros. A confecção dos filtros teve duração de 3 dias.

Os filtros são descendentes, de gravidade e constituído de tubos e conexões de PVC, com o corpo em diâmetro de 100 mm. Cada filtro foi montado em conformidade com a composição de peças hidráulicas apresentadas na Figura 13.

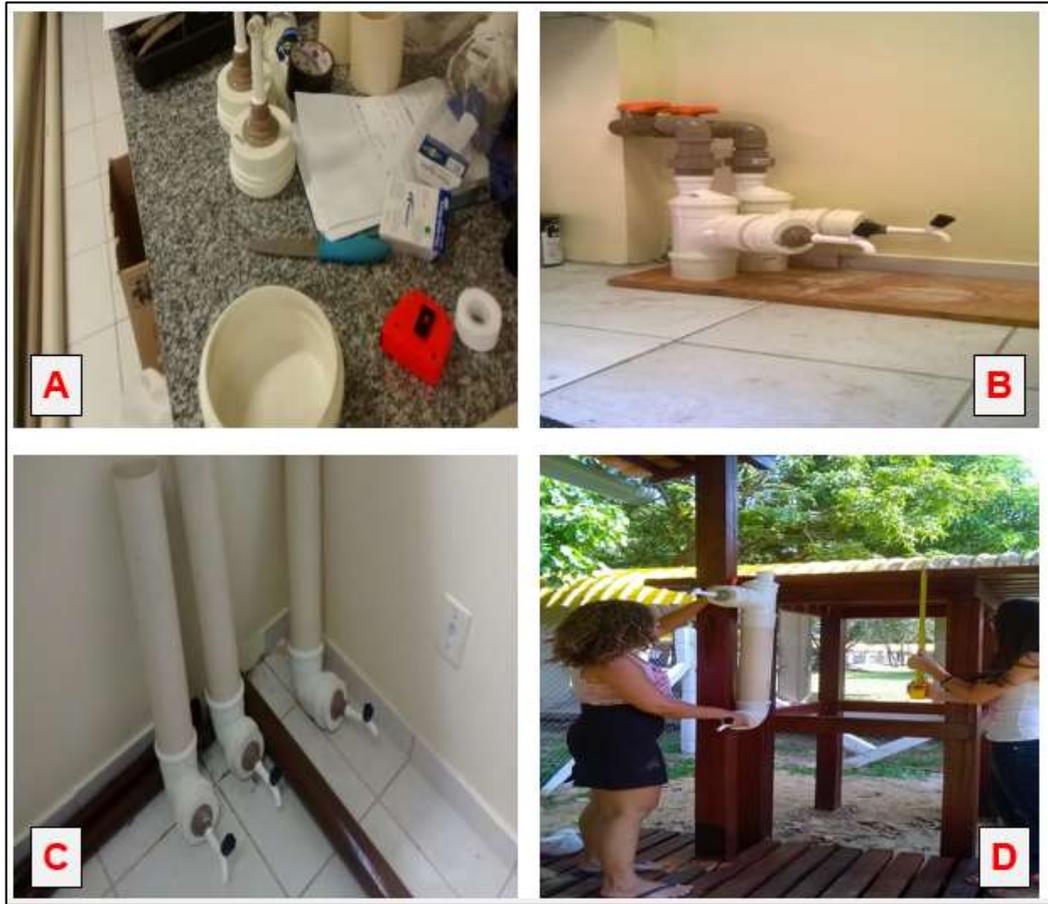
Figura 13 - Peças componentes para um filtro.



Os filtros foram conectados ao reservatório, sendo regulada a entrada de água por um registro esfera de PVC DN 50 mm, possuindo duas saídas de água por meios de torneiras instaladas, a primeira antes ao meio filtrante, para a água de lavagem dos filtros em contracorrente, e a segunda para saída de água filtrada.

A etapa de montagem dos filtros de carvão ativado e misto pode ser verificada na Figura 14, onde são observados os procedimentos realizados durante a montagem dos mesmos.

Figura 14 – Montagem dos filtros misto e carvão ativado: A) montagem e articulação de peças menores; B) conexão das válvulas com as peças montadas; C) montagem do restante do corpo dos filtros; e D) instalação dos filtros na UETAC.



O procedimento inicial (A) foi a montagem das peças menores e suas interligações, como da ligação dos CAP's com as torneiras que configuram a saída de água, alocadas antes e após o corpo do meio filtrante. Após isso, iniciou o procedimento B que correspondeu a conexão entre as válvulas de entrada de água e o corpo inicial dos filtros (até a primeira torneira). O procedimento C foi a montagem do restante do corpo do filtro (tubo de diâmetro de 100mm) com a interligação com a segunda torneira, além do preenchimento do meio filtrante, camada torpedo e camada suporte nos filtros e a junção das partes anteriores montadas. No procedimento D houve a alocação dos filtros na UETAC, que posteriormente se interligaram ao reservatório implantado.

Determinação de vazão e taxa de filtração dos filtros de carvão ativado e misto.

Foi utilizado o método indireto de medição de vazão, utilizando a razão do volume pelo tempo. Então foi determinado um volume de água a ser filtrada (5 litros) e realizando a medição do tempo necessário para alcançar o volume previamente determinado. Foram utilizados 1 balde de volume conhecido e um cronômetro e realizadas 20 medições de vazão em dias distintos. Foi utilizada a equação 3 para determinar a vazão.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (3)$$

Onde:

Q = Vazão (L/s);

V = Volume (L);

T = Tempo (s).

Para a determinação da taxa de filtração foi utilizada a vazão do filtro calculada, e a área transversal do filtro, conforme equação 4.

$$T.F = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Onde:

T.F = Taxa de filtração (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/dia);

A = Área transversal do filtro (m<sup>2</sup>).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do teste de vazão e taxa de filtração obtida para os filtros misto e de carvão ativado.

Tabela 7 – Vazão e taxa de filtração dos filtros misto e carvão ativado.

<b>Filtro</b>	<b>Característica</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>
Misto	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,17	0,24	0,20	0,03
	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	16,43	23,19	19,19	2,54
Carvão ativado	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,33	0,40	0,35	0,03
	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	31,62	38,65	34,26	2,83

Pode ser observado que o filtro de carvão ativado possui vazão superior ao filtro misto, que se deve ao fato do meio filtrante ter maior volume de vazios do que o filtro misto, já que a areia (filtro misto) deve ocupar mais espaço por sua granulometria ser menor, e, portanto, diminuir a vazão, consequentemente a taxa de filtração do filtro de carvão ativado é maior do que a do filtro misto.

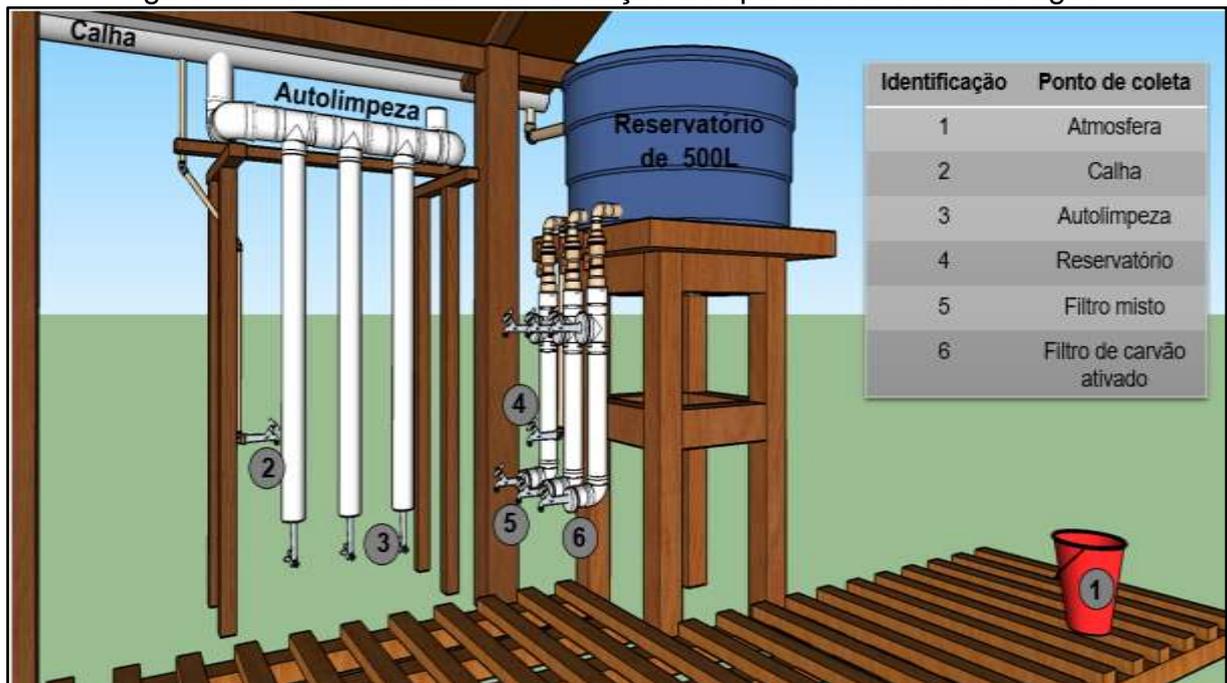
Na NBR 12.216 (ABNT,1992) é estabelecido que um filtro lento não possua taxa de filtração acima de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, e um filtro rápido tenha faixa compreendida entre 120 a 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, desta forma pode ser verificado que os dois filtros deste estudo não se enquadram em filtro lento ou rápido, considerando a taxa de filtração. No entanto, estão mais próximos da filtração lenta.

#### 4.3.2 Monitoramento da qualidade de água da chuva na UETAC

##### Definição de pontos de coleta, variáveis de qualidade de água da chuva e número de campanhas de coleta

Na Figura 15 é visualizado o layout da UETAC e apresentados os pontos de coleta de água no respectivo sistema.

Figura 15 - UECTAC com identificação dos pontos de coleta de água.



As variáveis para análise de qualidade de água de chuva selecionadas para esta pesquisa estão relacionadas na Tabela 8, contendo também a metodologia utilizada, equipamentos e o limite de detecção de leitura.

Tabela 8 - Variáveis físico-químicas e biológicas e metodologias utilizadas.

Variável	Unidade	Metodologia	Equipamento	Limite de detecção
Cor Aparente	U.C	Colorimétrico	Policontrol Aquacolor Cor	500
Turbidez	U.T	Turbidímetro	Turbidímetro AP200	1000
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S/cm}$	Potenciometria	Condutivímetro CG 1800 Gehaka	2000
pH	-	Potenciometria	pH-metro PG 1800 Gehaka	14
Alcalinidade Total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	Titulometria	pH-metro PG 1800 Gehaka, agitador magnético e pipeta automática	-
Coliformes Totais	NMP/100 mL	Substrato Cromogênico e Fluorogênico (Colilert)	Maquina seladora, estufa e lâmpada de UV.	$2,4 \cdot 10^3$
E. Coli	NMP/100 mL	Substrato Cromogênico e Fluorogênico (Colilert)	Maquina seladora, estufa e lâmpada de UV.	$2,4 \cdot 10^3$

As análises e determinações laboratoriais de qualidade da água foram realizadas no LAMAG do GESA (Grupo de estudos em Gerenciamento de Águas e Reuso de Efluentes) da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, localizado no edifício do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA).

As coletas seguiram um roteiro de amostragem e conservação das amostras, de acordo com as variáveis de análise:

- **Parâmetros físico-químicos:** As amostras foram coletadas em frascos de vidro de 0,6 L. Para os pontos da calha e autolimpeza antes de recolher a amostra foram feitos pequenos despejos, a fim de não coletar amostra com excesso de concentração que fica retido nas torneiras de amostragem. Para a coleta das amostras dos filtros, primeiramente se retira um volume de 10 L de água com auxílio de um balde, após isso é retirado mais 5 litros do qual foi colhido 0,6 L de amostra no frasco de vidro.
- **Parâmetros biológicos:** As amostras foram coletadas em frascos plásticos, próprios para a realização destes ensaios, em um volume de 100 ml. Os manuseios dos frascos foram feitos de maneiras que não haja contato com qualquer contaminante.

O monitoramento da qualidade de água na UETAC teve duração de 17 meses, iniciando em março de 2015 e concluído em agosto de 2016, que pode ser visto na Tabela 9 o número de amostragem feitas por ponto de coleta considerando diferentes períodos.

Tabela 9 - Número de análises estimadas por variável.

Períodos		Variáveis	Quantidade de análises					
			Atm	Calha	Autolim	Reserv	F.M	F.C.A
Mar/15	Jun/15	C.A	21	19	20	52	52	52
		Turb	21	18	20	53	53	53
		C.E	20	16	20	53	53	53
		pH	20	16	20	52	52	52
		A.T	20	16	20	52	52	52
		C.T	22	22	22	22	22	22
		E.Coli	22	22	22	22	22	22
Jul/15	Out/15	C.A	3	3	3	14	14	14
		Turb	4	4	4	16	16	16
		C.E	4	4	4	16	16	16
		pH	3	3	3	11	11	11
		A.T	4	4	4	12	12	12
		C.T	-	-	-	-	-	-
		E.Coli	-	-	-	-	-	-
Nov/15	Fev/16	C.A	15	15	16	21	21	21
		Turb	15	15	17	21	21	21
		C.E	16	16	17	22	22	22
		pH	14	15	17	22	22	22
		A.T	12	15	15	19	19	19
		C.T	-	-	-	-	-	-
		E.Coli	-	-	-	-	-	-
Mar/16	Jun/16	C.A	4	9	9	10	10	10
		Turb	4	9	9	10	10	10
		C.E	4	6	6	10	10	10
		pH	4	9	9	10	10	10
		A.T	4	9	9	10	10	10
		C.T	11	11	11	11	11	11
		E.Coli	11	11	11	11	11	11
Jul/16	Ago/16	C.A	3	3	3	3	3	3
		Turb	6	6	6	6	6	6
		C.E	6	6	6	6	6	6
		pH	6	6	6	6	6	6
		A.T	6	6	6	6	6	6
		C.T	-	-	-	-	-	-
		E.Coli	-	-	-	-	-	-

Atm: atmosfera, Autolim: autolimpeza, Reserv: reservatório, F.M: filtro mistro, F.C.A: filtro de carvão ativado, C.A: cor aparente, Turb: turbidez, C.E: condutividade elétrica, A.T: alcalinidade total, C.T: coliformes totais.

As coletas de amostras dos pontos atmosfera, calha e autolimpeza dependeram da ocorrência de chuvas, e quando no período sem chuva houve coletas apenas nos pontos do reservatório e filtros, quando havia água armazenada.

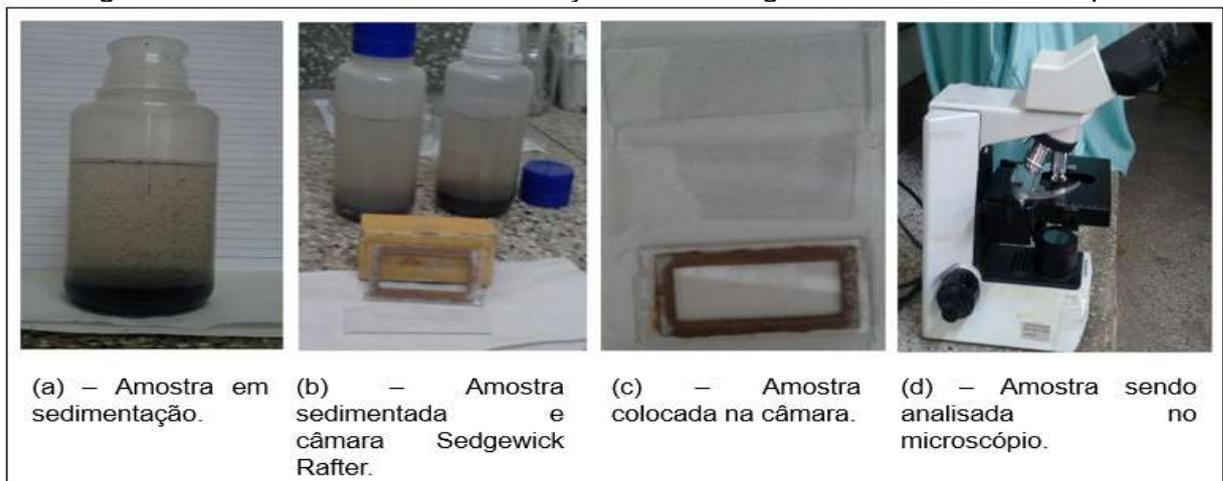
### Deteccão de microrganismos no reservatório de água da UETAC

A atividade biológica por microrganismos foi investigada no reservatório de água de chuva, com intuito de conhecer qual o tipo de microrganismos ocorre no sistema. Foram realizadas 2 coletas de água do fundo do reservatório nos momentos de lavagem. As amostras foram colhidas em frascos de 100 mL e acondicionado em uma caixa térmica. No mesmo dia da coleta, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia da Faculdade de Ciências Biológicas da UFPA.

O ensaio realizado para deteção de microrganismos na água do reservatório seguiu o roteiro:

- Primeiramente, a amostra foi sedimentada por um período de 30 minutos;
- Retirou-se amostra de 1 mL do sobrenadante e depois da parte sedimentada e armazenou na câmara de Sedgewick Rafter;
- As amostras foram colocadas no microscópio Nikon Eclipse 80i, ajustando a objetiva até atingir o foco;
- Foi realizada a varredura em toda a porção da amostra no microscópio buscando identificar os tipos de microrganismos.
- Para o registro fotográfico dos microrganismos encontrados foi utilizado o programa Nis-Element F.

Figura 16 - Procedimento de deteção de microrganismos em microscópio.



Com as amostras de água do fundo do reservatório também foi determinada a porção de sólidos totais, para isso foi feito utilizado o seguinte roteiro:

- Colocou 1 cápsula de porcelana na estufa por 1 hora;
- Retirou a cápsula e pesou-se em uma balança de precisão, anotando o peso (P0);
- Colocou a cápsula na estufa com 100 mL da amostra por 24 na estufa;
- Retirou a cápsula após o período, deixou esfriar e pesou novamente a cápsula na balança, anotando o peso (P1);
- Colocou a cápsula na mufla a 520°C por 15 min;
- Retirou a cápsula da mufla após o período, deixou esfriar e pesou novamente a cápsula na balança, anotando o peso (P2)

Após estes procedimentos, foi utilizada a equação 5 para determinação dos sólidos totais.

$$ST = \frac{(P1 - P0) \times 1000}{V} \quad (5)$$

Onde:

ST = Sólidos totais (mg/L);

P0 = Peso da cápsula vazia (g);

P1 = Peso da cápsula com amostra após a estufa (g);

V = Volume da amostra (L).

Para o cálculo dos sólidos totais fixos foi utilizado a equação 6.

$$STF = \frac{(P2 - P0) \times 1000}{V} \quad (6)$$

Onde:

STF = Sólidos totais fixos (mg/L);

P0 = Peso da cápsula vazia (g);

P2 = Peso da cápsula com amostra após a mufla (g);

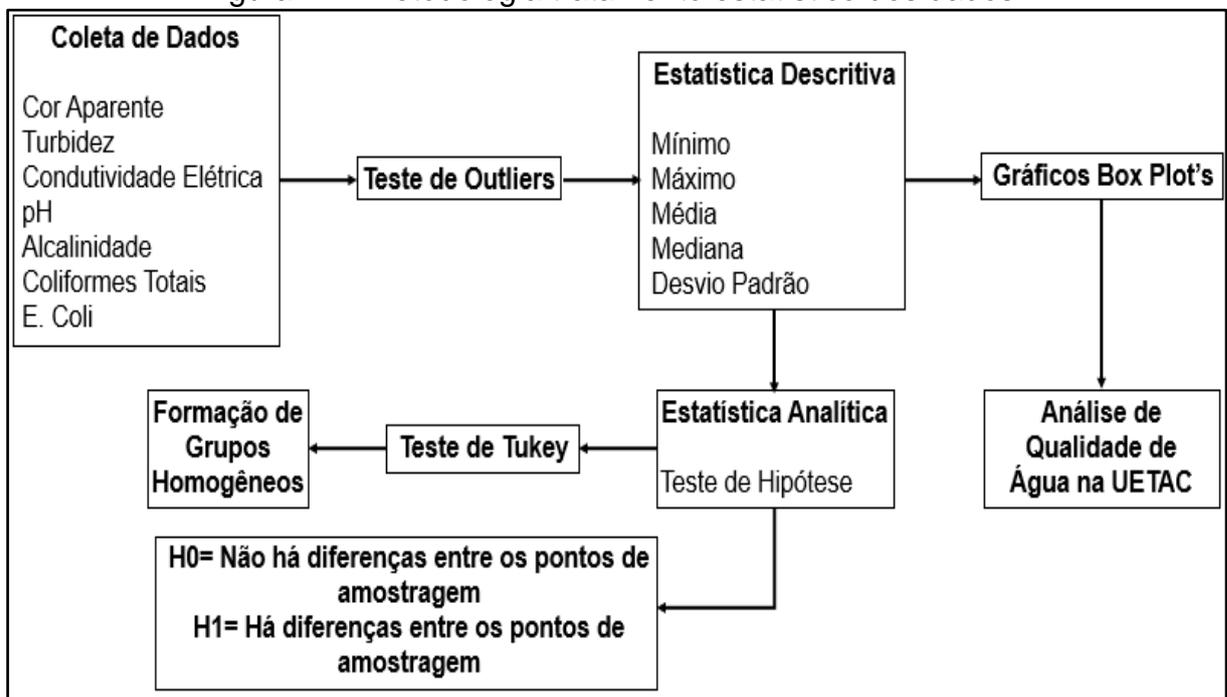
V = Volume da amostra (L).

A determinação dos sólidos totais voláteis é feita pela subtração do valor dos sólidos totais pelo valor dos sólidos totais fixos.

### Tratamento estatístico dos dados obtidos

A análise dos resultados de determinação das variáveis propostas neste trabalho de pesquisa foi dividida em duas partes: estatística descritiva e a estatística analítica. Esta análise segue o esquema da Figura 17.

Figura 17 - Metodologia tratamento estatístico dos dados.



Primeiramente foi verificado se as amostragens apresentavam dados com comportamento de valores atípicos, então foram detectados os valores atípicos e feitos sua exclusão do roll de dados da qualidade de água de chuva da UETAC. Os dados estudados são quantitativos e contínuos e em um nível descritivo e foram apresentados em gráficos box plots. Foram utilizados os valores de média, mediana, máximo, mínimo e desvio-padrão.

Em um nível inferencial foram verificadas as diferenças entre cada ponto de coleta utilizando o Teste ANOVA, quando encontradas diferenças significativas no

teste, foi aplicado o teste de Tukey, para tirar conclusões mais específicas (MONTGOMERY, 2012), para todas as variáveis (cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, coliformes totais e *E.coli*)

As variáveis referentes a todos os pontos da amostragem foram quantificadas e expressas em intervalos de confiança com um nível de significância de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Os resultados obtidos pelo tratamento estatístico proposto serviram como indicador de eficiência do sistema e para a verificação da viabilidade técnica do sistema, bem como da melhor configuração do sistema.

As hipóteses verificadas, com significância de 5%, estão dispostas na Tabela 10.

Tabela 10 - Hipóteses nula e alternativa.

Hipótese nula (H0)	Hipótese alternativa (H1)
Não há diferença estatisticamente entre os pontos de amostragem da UETAC	Há diferença estatisticamente entre os pontos de amostragem da UETAC

Então, os testes de hipótese aplicados foram para detectar se houve diferença significativa nos pontos de coleta da UETAC, assim analisando as relações entre si, e buscando justificativas.

#### 4.3.3 Avaliação de custos de implantação do sistema

Foi elaborado um orçamento com os custos de implantação do sistema, e através do levantamento de custo foi verificada a melhor alternativa de tratamento (filtração) do ponto de vista financeiro, levando em consideração também os custos inerentes a implantação da UETAC. A composição do orçamento foi baseada nos custos dos insumos e serviços realizados.

A base de dados sobre preços, foram consultados de cotações locais como mês de referência de julho de 2017.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos na pesquisa para a Etapa II (monitoramento de qualidade da água de chuva na UETAC) e Etapa III (avaliação dos custos de implantação do sistema), bem como as discussões concernentes aos objetivos propostos e procedimentos aplicados para determinação dos mesmos. A etapa I teve seus resultados apresentados na metodologia desta pesquisa.

### 5.1 Resultados da 2ª etapa: Monitoramento da qualidade de água da chuva na UETAC

Foi detectada elevada presença de outliers, que são considerados valores atípicos em uma distribuição normal, e desta forma foi realizada a exclusão de valores que tinham este comportamento para um nível de significância de 95%. A exclusão dos outliers foi necessária para ter uma análise mais adequada dos resultados. O teste foi aplicado utilizando o software Statgraphics Centurion XVI versão 16.1.03 (32 bits) que estabelece a exclusão de 10 dados, sendo 5 valores atípicos menores e 5 maiores. O resumo do teste aplicado é verificado na Tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade de outliers excluídos do número.

Variáveis	Atmosfera	Calha	Autolimpeza	Reservatório	FM	FCA
<b>Cor aparente</b>	10	10	10	10	6	6
<b>Turbidez</b>	10	10	10	10	7	8
<b>Condutividade Elétrica</b>	10	10	10	10	10	10
<b>pH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Alcalinidade Total</b>	10	10	10	10	10	10
<b>CT</b>	0	0	0	0	0	0
<b>E. Coli</b>	1	5	0	0	0	0

CT: coliformes totais; FM: Filtro misto; FCA: Filtro de carvão ativado.

Nas variáveis cor aparente e turbidez, o teste de verificação de outliers indicou alguns valores atípicos no início da operação dos filtros (valores elevados), no entanto nem todos foram retirados para não comprometer na análise dos resultados, uma vez que no início este comportamento de instabilidade é esperado. Nas variáveis pH e coliformes totais não houve exclusão, pelo fato de não haver grandes disparidades na distribuição dos dados, assim como nos 4 últimos pontos de coleta na variável E.Coli.

Na Tabela 12 é apresentada a estatística descritiva das variáveis de qualidade de água da chuva monitoradas durante as campanhas realizadas da UETAC nos pontos da água de atmosfera (1), calha (2), autolimpeza (3), reservatório (4), filtro misto (5) e filtro de carvão ativado (6).

Tabela 12 - Resultado de amostragem de água de chuva realizadas na UETAC.

Variável estatística	Pontos de Coleta					
	Atmosfera	Calha	Autolimpeza	Reserv.	FM	FCA
<b>Cor aparente (UC)</b>						
N	36	39	41	90	93	94
Mín-Máx	5 - 44	5 - 59	8 - 61	4 - 50	4 - 380	4 - 532
Média	14,8	23,1	26,4	16,7	26,9	41,1
Mediana ± D.P	13 ± 9,1	14,3 ± 15,7	15 ± 17,7	11 ± 13	17 ± 44,6	18,4 ± 82,7
<b>Turbidez (UNT)</b>						
N	40	42	47	95	98	96
Mín-Máx	1,2 - 7,4	1,2 - 18,2	1,01 - 14,2	0,6 - 7,9	0,61 - 11,1	0,5 - 9,1
Média	3,05	4,06	4,50	2,45	2,68	2,52
Mediana ± D.P	2,6 ± 1,5	3,1 ± 3,7	3,8 ± 3,3	1,8 ± 1,8	2,2 ± 1,8	2,0 ± 1,7
<b>Condutividade Elétrica (µs/cm)</b>						
N	40	41	46	97	97	97
Mín-Máx	7,6 - 33,7	8 - 42,3	9,1 - 41,8	4,6 - 76,2	10,57 - 184,5	8,25 - 170,3
Média	16,6	20,7	19,7	20,4	43,8	44,9
Mediana ± D.P	16,2 ± 6,8	18,7 ± 8,9	17,0 ± 8,5	14 ± 15,4	32,2 ± 34,8	34,4 ± 36,1
<b>pH</b>						
N	47	49	55	105	105	105
Mín-Máx	5,2 - 8,6	5,4 - 8,7	4,9 - 7,5	5,1 - 9,9	5,3 - 10	5,5 - 9,9
Média	6,7	6,1	6,0	6,4	6,9	6,9
Mediana ± D.P	6,7 ± 0,9	5,9 ± 0,6	6,0 ± 0,5	6,3 ± 0,8	6,7 ± 0,9	6,6 ± 1,0
<b>Alcalinidade Total (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>						
N	36	40	44	93	93	93
Mín-Máx	4 - 25	4 - 25	6 - 21	5 - 57	6 - 67	6 - 101
Média	13	13	11	17	22	23
Mediana ± D.P	13 ± 6	14 ± 5	11 ± 4	14 ± 11	19 ± 13	19 ± 16
<b>Coliformes Totais (NMP/100 mL)</b>						
N	22	23	25	25	25	25
Mín-Máx	1 - 2420	0 - 2420	0 - 2420	0 - 2420	0 - 2420	12 - 2420
Média	1507	860	1761	1645	1941	1987
Mediana ± D.P	1917 ± 992	131 ± 1083	2420 ± 1001	2420 ± 1007	2420 ± 899	2420 ± 902
<b>E. coli (NMP/100 mL)</b>						
N	20	17	24	24	24	24
Mín-Máx	0 - 575	0 - 152	6 - 2420	3 - 2420	0 - 2420	3 - 2420
Média	111	36	1101	977	1053	1052
Mediana ± D.P	21 ± 178	17 ± 47	849 ± 1009	675 ± 974	627 ± 1011	653 ± 1026

Reserv: reservatório; FM: Filtro misto; FCA: Filtro de carvão ativado.

Foi realizado o teste de análise de variância (ANOVA) para avaliar o sistema em função das duas alternativas de filtração estudadas, com objetivo de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis analisadas no monitoramento da UETAC. As diferenças entre as médias foram detectadas quando o valor da probabilidade “p” foi menor que o nível de significância adotado (0,05). Quando constatada a diferença significativa na variável, então foi aplicado o teste de múltiplos intervalos para verificar quais os pontos da UETAC que se diferenciam estatisticamente para as variáveis que apresentam diferenças significativas, e apresentar os grupos formados.

As diferenças entre as médias foram representadas por letras diferentes na linha. Por outro lado, as médias estatisticamente iguais, ou pertencentes ao mesmo grupo, são representadas pela mesma letra, ou seja, pontos de coleta com a mesma representação de letra formam grupos homogêneos, e os pontos de coleta com diferentes letras então não estão no mesmo grupo homogêneo. Quando formada duas letras conjuntas não necessariamente significa que há diferença significativa, por exemplo os grupos AB, BC e C, o grupo BC não se diferencia de AB e C, pois este se encontra em transição nestes dois grupos, contudo entre AB e C há diferença significativa. A representação por letras é definida pelo software Statgraphics Centurion XVI versão 16.1.03 (32 bits), que foi utilizado para a realização do teste de ANOVA.

Nas Tabelas 13 e 14 podem ser verificados os dois testes de ANOVA aplicados que consideram as variáveis da pesquisa, bem como a formação de grupos. Nos box plots também podem ser verificados a formação de grupos através das letras associadas.

Tabela 13 - Teste de hipótese aplicado nas variáveis de qualidade de água de chuva considerando a configuração do sistema com o filtro misto.

Variável	Pontos						Definição
	Atmosfera	Calha	Autolimpeza	Reserv.	FM	<i>p</i> valor	
Cor aparente (UC)	(A)	(AB)	(AB)	(A)	(B)	<b>0,0464</b>	Há diferença significativa
Turbidez (UNT)	(AB)	(BC)	(C)	(A)	(A)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	(A)	(A)	(A)	(A)	(B)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
pH	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	<b>0,2841</b>	Não há diferença significativa
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	(A)	(A)	(A)	(B)	(C)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
CT (NMP/100ml)	(B)	(A)	(B)	(B)	(B)	<b>0,0040</b>	Há diferença significativa
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	(A)	(A)	(B)	(B)	(B)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa

A: grupo homogêneo A; AB: grupo homogêneo AB; B: grupo homogêneo B; C: grupo homogêneo C.

Tabela 14 - Teste de hipótese aplicado nas variáveis de qualidade de água de chuva considerando a configuração do sistema com o filtro de carvão ativado.

Variável	Pontos						Definição
	Atmosfera	Calha	Autolimpeza	Reserv.	FCA	<i>p</i> valor	
Cor aparente (UC)	(A)	(A)	(AB)	(A)	(B)	<b>0,0058</b>	Há diferença significativa
Turbidez (UNT)	(AB)	(BC)	(C)	(A)	(A)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	(A)	(A)	(A)	(A)	(B)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
pH	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	<b>0,2859</b>	Não há diferença significativa
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	(AB)	(AB)	(A)	(B)	(C)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa
CT (NMP/100ml)	(B)	(A)	(B)	(B)	(B)	<b>0,0028</b>	Há diferença significativa
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	(A)	(A)	(B)	(B)	(B)	<b>0,0000</b>	Há diferença significativa

A: grupo homogêneo A; AB: grupo homogêneo AB; B: grupo homogêneo B; C: grupo homogêneo C.

Para os dois testes ANOVA aplicados foi verificado que apenas na variável pH não existe diferença estatisticamente significativa entre os pontos de coleta.

Na variável cor aparente é verificada a formação de três grupos para ambas as alternativas de filtração.

Pode ser verificado nas Tabelas 13 e 14 que para a variável turbidez o teste aponta a formação de 4 grupos com resultado de *p*-valor semelhante para ambas as alternativas de filtração.

Para as variáveis condutividade elétrica e *E.Coli* o teste aponta a formação de 2 grupos com resultado de *p*-valor semelhante para ambas as alternativas de filtração.

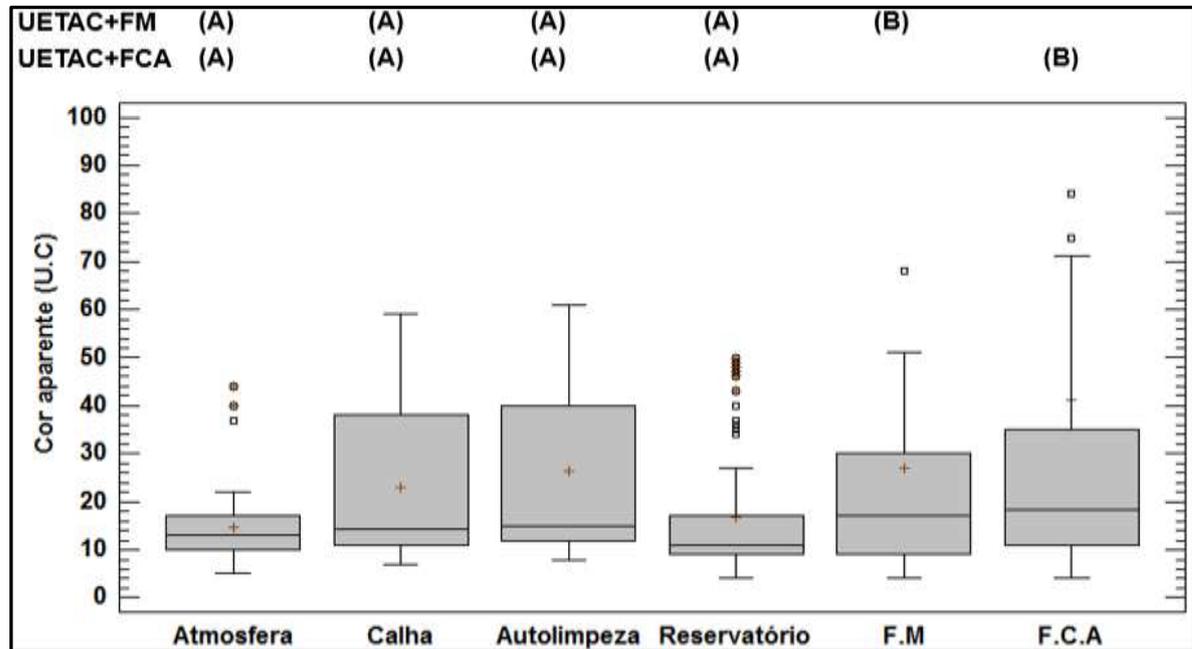
O teste de ANOVA indica que na variável alcalinidade há a formação de 3 grupos para a alternativa com o filtro misto e 4 grupos para a alternativa com o filtro de carvão ativado, com resultado semelhante de *p*-valor nos dois casos.

Na variável coliformes totais há a formação de 2 grupos em ambas alternativas de filtração, contudo resultado de  $p$ -valor é diferente, onde no teste com o FM o resultado de  $p$ -valor foi de 0,0040 e no teste considerando o FCA foi de 0,0028.

Nas Figuras 18, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 são apresentados os resultados em formato de box plot para as variáveis dos pontos de coletas estudados e o resultado do teste de múltiplos intervalos aplicado para as duas alternativas de filtração.

Em relação a variável cor, a água atmosférica possui mediana de cor aparente de  $13 \pm 9,1$  UC, como pode ser observado na Tabela 12 e Figura 18. Verifica-se que após a água de chuva incidir no telhado há aumento do valor de cor aparente ( $14,3 \pm 15,7$  UC), que representa 10% em relação a água atmosférica, já que as impurezas que se depositam no telhado são carregadas durante os eventos de precipitação. Este aumento está de acordo com o observado em outras pesquisas (HAGEMANN e GASTALDINI, 2016; COUTO et al., 2016; SANDRI, 2010; TAMIOSSO et al, 2007). Pelo teste de ANOVA (Tabelas 13 e 14) não há diferença significativa entre os pontos de coleta da atmosfera e da calha. Tem que se levar em consideração que a superfície de captação em material cerâmico, que é utilizada nesta pesquisa, é uma das que mais interfere na qualidade de água de água da chuva (GHAFARIANHOSEINI et al., 2015; LEE; BAK; HAN, 2012; OLAOYE; OLANIYAN, 2012). Além disso, o ambiente que a UETAC está instalada, próximo a árvores, as quais desprendem galhos, folhas e frutos influencia diretamente na cor aparente da água após passar pelo telhado, assim como observado por Guedes (2012) onde a instalação do sistema de captação também tinha condições semelhantes a desta pesquisa.

Figura 18 – Box plot para variável cor aparente.



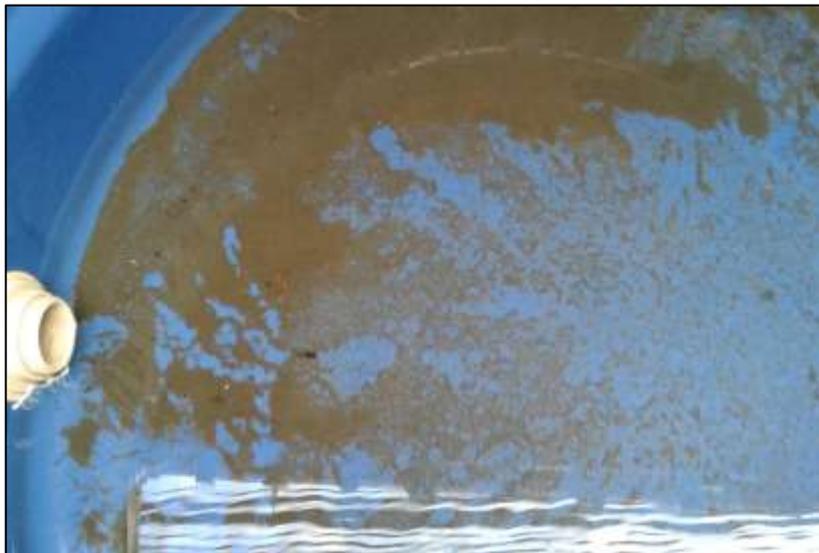
Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

A mediana após a autolimpeza foi  $15 \pm 17,7$  UC, sendo 4,9% mais elevada que o valor encontrado no ponto de coleta da calha, não alcançando resultado semelhante a outras pesquisas que verificaram a redução da variável cor aparente (ARRUDA, 2014 apud MATOS, 2014; ANDRADE, 2012). Pode ser verificado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 18 que não há diferença significativa entre a água coletada após a autolimpeza e a água coletada na calha, mesmo que tenha sido verificado aumento de cor aparente. A possível causa da piora da qualidade de água na autolimpeza pode estar relacionada ao dimensionamento da mesma, já que foi projetada para 1 mm e não considerou os cenários climáticos para período seco e chuvoso. Andrade Neto (2013) comenta que o descarte do primeiro milímetro necessita de grande atenção no período chuvoso, porque carrega sujeira acumulada por muito tempo e, para excluí-la, o desvio de apenas um milímetro de chuva pode não ser suficiente. Logo, a autolimpeza deveria ser dimensionada considerando maior volume de abstração da primeira chuva para que alcançasse desempenho

favorável e tornando melhor a qualidade de água para as unidades posteriores do sistema.

No reservatório foi verificado o valor de  $11 \pm 13$  UC, com mediana inferior em 26,7% em comparação a autolimpeza. Alguns estudos mostram também a redução de cor aparente da autolimpeza para o reservatório, como Santana (2012) (1,8 UC para 1,4 UC) e Zipf et al.(2013) (72 UC para 21 UC). Os testes de ANOVA, vistos nas tabelas 13 e 14 e figura 18, apontam que não há diferença significativa entre a água coletada após a autolimpeza e o reservatório. O reservatório pode ter contribuído para a melhora da qualidade de água de chuva devido ao efeito de sedimentação. É importante ressaltar que a deposição de partículas no fundo do reservatório tem influência no processo de manutenção, por isto deve haver periodicidade na limpeza do para que não haja acúmulo de sedimentos que prejudique a qualidade de água. Na Figura 19 é apresentado uma imagem da deposição de sólidos no fundo do reservatório. A frequência de limpeza do reservatório foi de 6 em 6 meses, sendo executadas 4 limpezas durante o período de monitoramento desta pesquisa.

Figura 19 - Sedimentos acumulados no fundo do reservatório de água de chuva da UETAC.



As duas alternativas de filtração apresentaram cor aparente superior após a passagem pelos filtros, onde o FM teve resultado melhor ( $17 \pm 44,6$  UC), do que o

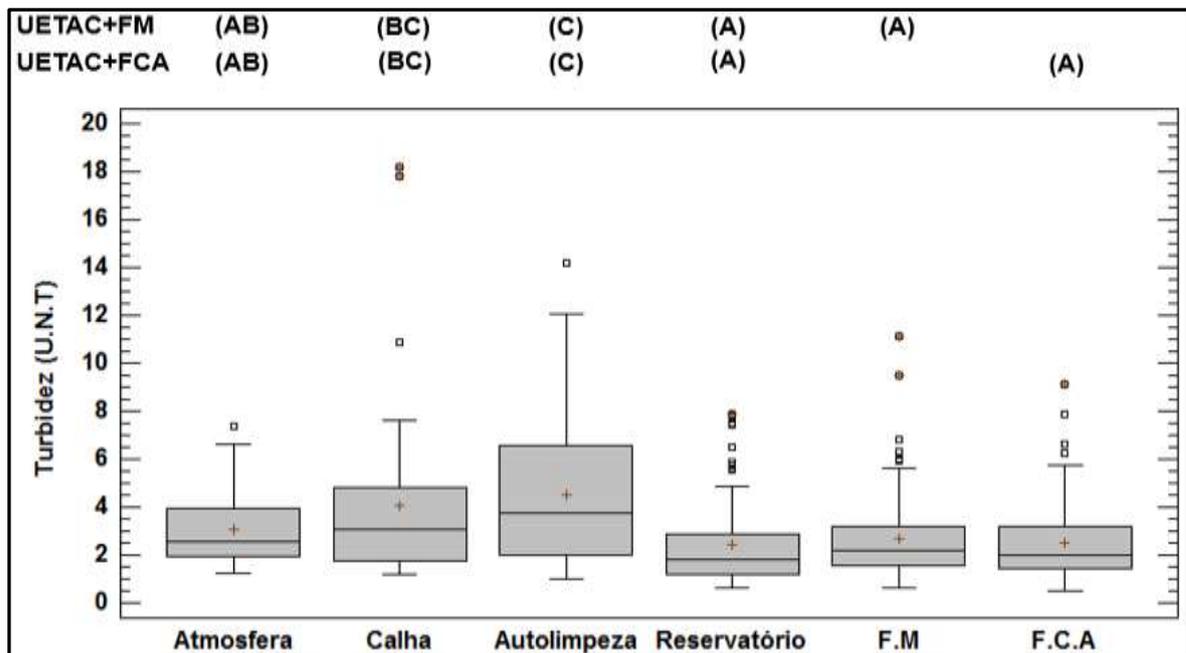
FCA ( $18,4 \pm 82,7$  UC), contudo observado na Figura 18 é verificado que eles estão em um grupo homogêneo semelhantes, e, portanto, estaticamente eles não têm diferença significativa. Já em comparação com a água do reservatório há diferença significativa, como pode ser observado na Figura 18 e Tabelas 13 e 14. Possivelmente, o carvão ativado pode ter elevado o valor de cor aparente, já que ainda estava cedendo partículas dissolvidas provenientes do processo de ativação do caroço de açaí. Essa justificativa ainda tem mais notoriedade em comparação com os dois filtros, já que o FM, por ter menor volume de carvão ativado, possuiu mediana inferior de cor aparente. Pereira Neto, Arantes e Oliveira (2016) que utilizaram filtro misto (areia e carvão vegetal convencional) no tratamento de água de chuva também detectaram aumento do valor de cor aparente após passagem pelo meio filtrante. Dessa forma, nenhum dos dois filtros estudados apresentou tendência de redução de cor aparente no monitoramento realizado, contrário ao encontrado por Costa (2014), que avaliou o FCA a base de caroço de açaí, utilizado para tratamento de água de abastecimento, tendo alcançando eficiência de até 34,2%. Já nesta pesquisa a cor aparente da água teve acréscimo de 54,5% após o FM, e elevação de 67,3% após o FCA em relação a água coletada no reservatório.

Na autolimpeza e nas duas alternativas de filtração foi onde houve os maiores valores de cor aparente, o que pode implicar que a autolimpeza não possuiu bom desempenho, e portanto, deveria ter sido melhor dimensionada, e os filtros não apresentaram eficiência, sendo assim o sistema não necessitaria do uso de filtração da água. No reservatório foi onde houve o menor valor de cor aparente, sendo então a unidade do sistema que melhor contribuiu para a melhora da qualidade de água. Na Portaria 2914 (BRASIL, 2011) é indicado que o valor limite de cor seja 15 UC para usos potáveis, e pode ser verificado que no reservatório o valor de cor aparente foi de 11 UC, logo estando em conformidade com a portaria. A água coletada da atmosfera e na calha também tiveram valores abaixo dos 15 UC.

Em relação a turbidez, a água atmosférica apresentou mediana de  $2,6 \pm 1,5$  UNT, após passagem pelo telhado houve elevação para  $3,1 \pm 3,7$  UNT, representando acréscimo de 19,2% em relação a água atmosférica, observado na Figura 20 e Tabela 12. Outros estudos também constataram o aumento de turbidez de água após incidência com o telhado (MARTINS, 2014; RODRIGUEZ, 2012;

GONÇALVEZ et al., 2006). As condições do ambiente onde foi instalado a UETAC (vegetação, presença de pássaros e outras) são relevantes na interferência da qualidade de água de chuva após passagem pelo telhado, assim como observado por Rodriguez (2012) que aponta a presença de árvores altas e refúgio de pássaros como algumas condicionantes que podem implicar no aumento de turbidez. Pelo teste de múltiplos intervalos (Tabelas 13 e 14 e Figura 20) não há diferença significativa entre os pontos de coleta da atmosfera e da calha.

Figura 20 - Box plot para variável turbidez.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

A mediana após a autolimpeza foi de  $3,8 \pm 3,3$  UNT, sendo 22,6% mais elevado que a água captada na calha, resultado diferente das pesquisas de Andrade (2012) e Silva et al. (2017) que verificaram que o valor de turbidez da água captada após o telhado teve valor mais elevado que na autolimpeza. A possível justificativa para o aumento da turbidez da água após autolimpeza é semelhante ao que foi verificado na cor aparente, em que a autolimpeza possuiu volume insuficiente para retirada das impurezas carregadas pela chuva, e portanto, não teve desempenho para remoção de sólidos da água após o telhado, necessitando assim ter um volume

maior de abstração. Pode ser verificado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 20 que não há diferenças significativas entre a água coletada após a autolimpeza e a calha, embora apareceram com formação de letras não semelhantes, contudo existem letras em comum na formação do grupo.

A água no reservatório apresentou mediana de turbidez de  $1,8 \pm 1,8$  UNT, sendo 52,6% menor do que o da água coletada após a autolimpeza. Costa (2011) também observou que houve redução de turbidez na água do reservatório em comparação com a autolimpeza. O efeito da sedimentação no reservatório contribuiu para a redução de turbidez da água. A sedimentação é tão relevante no reservatório que nas primeiras 6 horas pode ocorrer redução de 70 a 90% de sólidos (DUNCAN, 1995). Xavier et al. (2014) observaram que a água de chuva do fundo do reservatório possui valor de turbidez mais elevado que a parte superior, assim evidenciando que há deposição de partículas no fundo do reservatório, que contribui para a redução de turbidez. Há diferença significativa entre a água do reservatório e a água coletada após a autolimpeza, como é verificado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 20, já que a redução de turbidez é considerável.

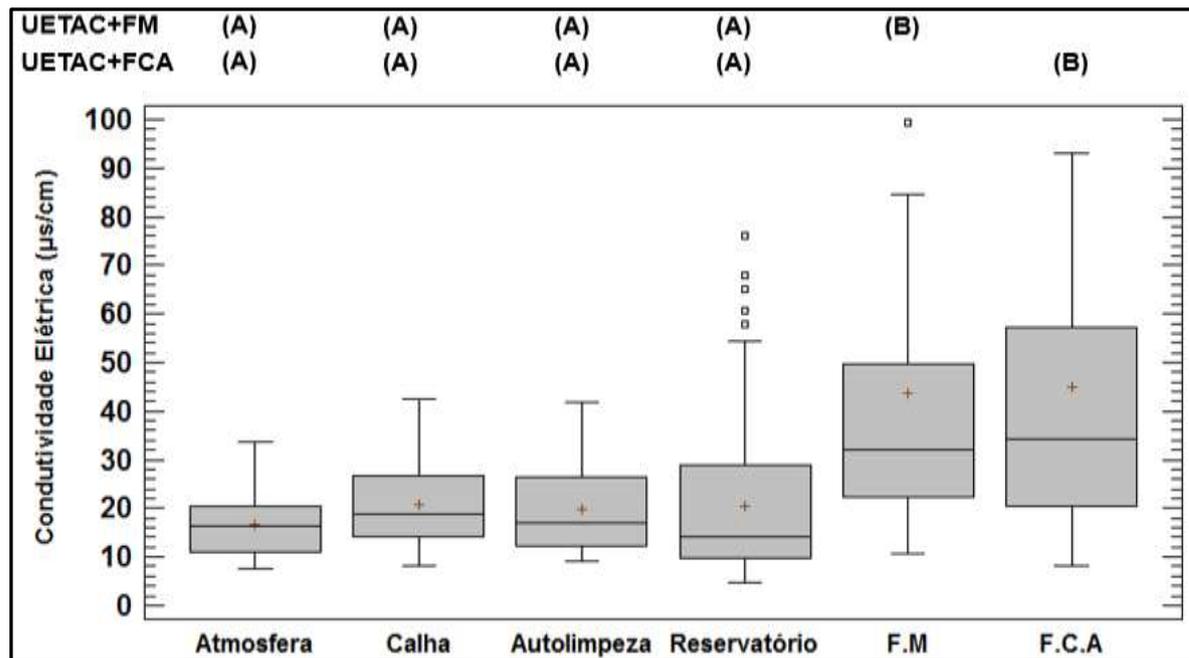
Após a passagem de água pelo FCA a mediana de turbidez foi de  $2,0 \pm 1,7$  UNT (11,1% mais elevado que água do reservatório), e no FM a mediana foi de  $2,2 \pm 1,8$  UNT (22,2% mais elevado que água do reservatório). A etapa de filtração não foi eficiente na redução de turbidez da água proveniente do reservatório, contudo é importante enfatizar que não há diferença estatisticamente significativa entre a água do reservatório e a água após passagem pelos filtros, como pode ser observado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 20, o que atesta que os filtros não representaram alteração considerável na qualidade de água de chuva. Possivelmente, a granulometria dos meios filtrantes (areia e carvão ativado) pode ter influenciado no efeito de filtração, em que um tamanho menor dos grãos poderia ser mais eficiente, assim como constatado por Yang et al. (2015) que utilizou 3 tamanhos diferentes de carvão ativado de origem vegetal (1, 2 e 3mm), sendo o meio filtrante com diâmetro médio de 1mm o que alcançou melhor eficiência na remoção de turbidez da água de efluente industrial. Pereira Neto, Arantes e Oliveira (2016) observaram que após passagem de água de chuva pelo filtro misto (areia e carvão vegetal) não houve redução de turbidez. Já Costa et al. (2014) verificaram

que o filtro misto (areia e carvão vegetal) alcançou eficiência de 77,6% no tratamento de água de chuva. O FCA de caroço de açaí, utilizado no tratamento de água de abastecimento, alcançou eficiência em relação a turbidez (COSTA, 2014; PEREIRA e RODRIGUES JUNIOR, 2013). Fernandes (2010) verificou que o filtro de CA de endocarpo de coco possuiu boa eficiência na remoção de turbidez de água de abastecimento, assim como Silva (2015) que utilizou FCA de fibra de coco e de caju, alcançando eficiência em remoção de turbidez de até 97,3.

A turbidez foi mais elevada na água coletada na calha e após a autolimpeza, já que a autolimpeza não teve desempenho suficiente para a retenção de sólidos, e portanto, há a necessidade de ter um volume maior de abstração. No reservatório foi onde houve o menor valor de turbidez, evidenciando a importância da sedimentação para a melhoria da qualidade de água de chuva. A Portaria 2914 (BRASIL, 2011) prevê que em sistemas remotos a turbidez não ultrapasse 5 UNT e em filtração em areia não seja maior que 1 UNT, sendo assim a UETAC não apresentou valores acima de 5 UNT, contudo os filtros não obtiveram valores medianos abaixo do limite de 1 UNT.

Em relação a condutividade elétrica, a água atmosférica captada teve mediana de  $16,2 \pm 6,8$   $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Figura 21 e Tabela 12). Já na calha a água apresentou valor de  $18,7 \pm 8,9$   $\mu\text{s}/\text{cm}$ , sendo 15,4% mais elevado em comparação a água atmosférica, comprovando que a superfície de captação interferiu no aumento da condutividade elétrica na água, assim como observado em algumas pesquisas (SANTOS, RIBEIRO E BARBOSA, 2016; HAGEMANN E GASTALDINI, 2016; MARTINS, 2014 e TAMIOSSO et al., 2007), seguindo o comportamento verificado para as variáveis cor aparente e turbidez. Pode ser verificado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 21 que não há diferença estatisticamente significativa entre a água atmosférica e a água captada após o telhado.

Figura 21 - Box plot para variável condutividade elétrica.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

Após a autolimpeza o valor de condutividade elétrica teve mediana de  $17 \pm 8,5 \mu\text{s/cm}$ , com redução de 9,1% em relação a água captada na calha. Lima et al (2011) também verificaram que a condutividade elétrica da água de chuva na autolimpeza foi menor do que o coletado na calha. Apesar da redução do valor de condutividade não há diferença significativa entre a água coletada após a autolimpeza e a água de chuva captada na calha, como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e Figura 21.

A condutividade elétrica de água no reservatório foi de  $14 \pm 15,4 \mu\text{s/cm}$ , sendo 17,6% menor que a água coletada após a autolimpeza. A redução de condutividade elétrica entre o reservatório e a autolimpeza também foi observada nas pesquisas de Santana (2014) e Piccoli (2014). Já Lima et al. (2011) verificaram que a condutividade elétrica da água armazenada no reservatório foi maior do que na autolimpeza, justificada pelo maior tempo de uso do reservatório (7 anos) e

devido o material do reservatório ser de concreto, não sendo o caso desta pesquisa, onde o reservatório tem aproximadamente 2 anos de operação e seu material é de fibra de vidro. A condutividade elétrica pode ser associada à influência da concentração de sais nos reservatórios (TAVARES, 2009) ou pela liberação de íons do material de construção das cisternas (XAVIER, 2010). Não há diferença significativa entre a água coletada no reservatório e a água coletada após a autolimpeza, conforme observado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 21.

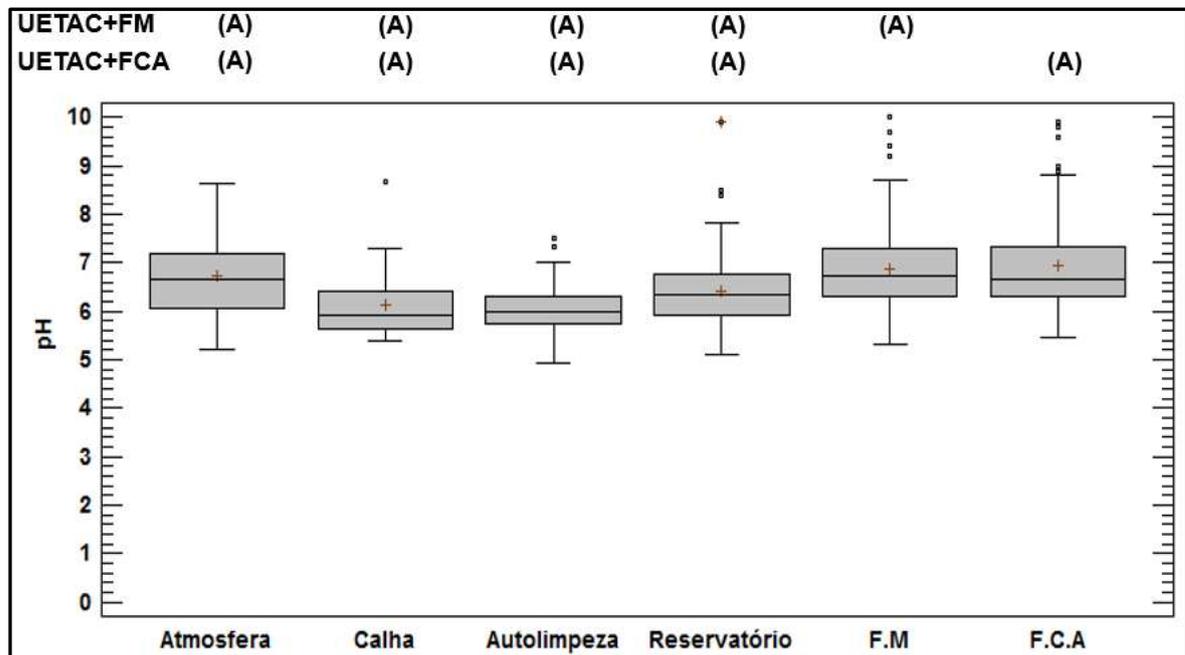
Após a passagem de água pela etapa de filtração houve o aumento do valor de condutividade elétrica, em que o FM teve mediana de  $52,1 \pm 61,2$   $\mu\text{s/cm}$ , significando aumento de 130% em relação a água do reservatório, e o FCA com valor de  $57,7 \pm 81,4$   $\mu\text{s/cm}$ , com aumento de 145,7% em relação a água do reservatório. Teles e Furtado (2016) também constataram aumento de condutividade elétrica da água após a passagem pelo filtro de carvão ativado. Já Kemerich e Ruosso Jr (2010), que utilizaram filtro de areia com membrana geotêxtil, e Melo Rocha, Reis e Araújo (2011), que utilizaram filtro de membrana de celulose, constaram redução de condutividade elétrica da água de chuva após a passagem pelos filtros. O aumento na condutividade elétrica na água pode ser justificado pela composição da camada suporte, torpedo e meio filtrante de ambos os filtros, assim como comenta Valle et al. (2005) que atribuiu o aumento da condutividade elétrica devido a dissolução de sais provenientes da camada suporte e meio filtrante. Além disso, é importante considerar, que os filtros também eram compostos por material orgânico, no caso o carvão ativado que continha sais do processo de ativação com hidróxido de sódio que pode ter se despreendido durante a operação dos filtros e contribuído para o aumento da condutividade elétrica. Portanto, os filtros não foram eficientes para a redução de condutividade elétrica da água proveniente do reservatório. Nas Tabelas 13 e 14 e Figura 21 pode ser constatado que existe diferença significativa entre a água coletada após a filtração e a água do reservatório.

A condutividade elétrica foi menor na água coletada na atmosfera e no reservatório, ratificando a importância do reservatório para a melhoria da qualidade de água de chuva. Os filtros estudados não apresentaram resultados positivos para

a redução de condutividade elétrica, assim como nas variáveis anteriores, sendo assim discutível o uso dos filtros na UETAC.

Em relação ao pH, a água atmosférica apresentou mediana de  $6,7 \pm 0,9$ , após passagem pelo telhado houve redução para  $5,9 \pm 0,6$ , sendo 11,9% menor do que a água atmosférica, como pode ser observado na Figura 22 e Tabela 12. Couto (2016) e Lima (2014) também verificaram redução do valor de pH da água de chuva após o telhado. Após a autolimpeza o pH da água foi de  $6,0 \pm 0,5$ , com aumento de 1,7% em relação a água coletada no telhado.

Figura 22 - Box plot para variável pH.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

A água no reservatório apresentou pH mediana de  $6,3 \pm 0,8$ , com aumento de 5% em relação a água coletada após a autolimpeza, valor semelhante ao obtido por Arruda (2014 apud MATOS, 2014). O aumento de pH na reservação possivelmente é atribuído ao acúmulo de sólidos no fundo do reservatório, condizente ao observado em outras pesquisas (LEE et al., 2010; AMIN e HAN, 2011; MOON et al., 2012, FARRENY et al., 2011; MATOS, 2014; MEERA ANDAHAMMED, 2006 apud FARRENY, 2011).

Após a passagem de água pelo FM o pH teve mediana de  $6,7 \pm 0,9$ , e após o FCA foi de  $6,6 \pm 1,0$ , com aumento de 6,3% e 4,8%, respectivamente, em relação a água do reservatório. Nas pesquisas de Valle et al. (2005), Rahmat et al. (2008), Kemerich e Ruosso Jr (2010) e Agra et al. (2012), que utilizaram filtro de areia no tratamento de água de chuva, houve aumento de pH após passagem pelo meio filtrante. Já Pereira Neto, Arantes e Oliveira (2016) verificaram redução de pH da água após a passagem pelos filtros misto (areia e carvão vegetal) e de carvão vegetal, não havendo um comportamento padrão entre as pesquisas relatadas.

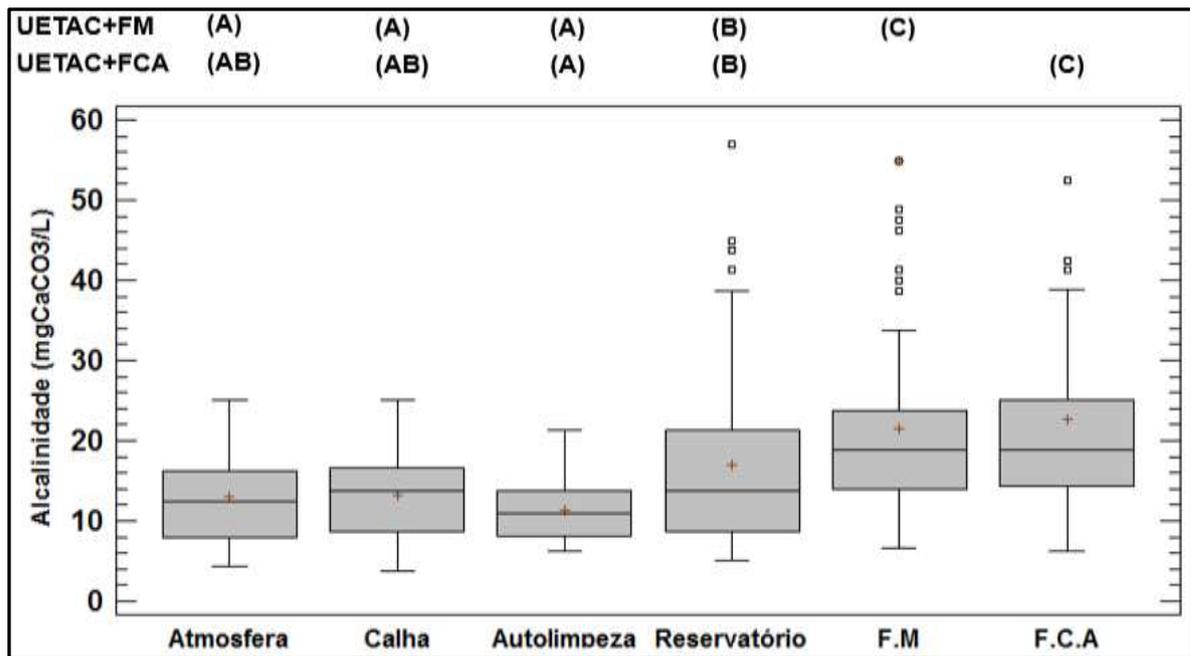
O pH da água de chuva foi mais elevado após a passagem pelos dois filtros, e o menor valor de pH foi na água coletada na calha. Esta variável apresentou comportamento de pouca variação, estando mais próximo da faixa de neutralidade. A variação de pH no sistema pode estar associada às condições do ambiente, assim como afirma Souza (2009) que indica que a variação do pH da água de chuva pode estar associada ao contato da água (que incide no telhado) com matéria orgânica, restos de animais e poeira, já que a dissolução destas substâncias ocasiona reações químicas responsáveis pela variação de pH. A portaria 2914 (BRASIL,2011) aponta que para o consumo humano o pH da água tenha valores entre 6 a 9,5, sendo assim apenas a água de chuva coletada na calha teve valor mediano ligeiramente abaixo da faixa indicada por esta portaria, mas que não é representativo.

Entre todos os pontos de coleta da UETAC não houve diferença estatística significativa, para a variável pH, como pode ser observado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 22.

Em relação a alcalinidade total, a água atmosférica obteve mediana de  $13 \pm 6$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo este valor próximo ao encontrado por Silva (2013) ( $14,2 \pm 4,9$  mgCaCO<sub>3</sub>/L), em seu estudo realizado na Região Metropolitana de Belém (RMB). A água coletada após passagem pelo telhado teve mediana de  $14 \pm 5$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, estando 7,7% mais elevada que a água atmosférica, como pode ser observado na figura 23 e tabela 12. Martins (2014) e Peters (2006) também verificaram aumento de alcalinidade total de água de chuva após passagem pelo telhado, atribuindo esse aumento à deposição de fuligem e poeira na área de captação, o que também pode ter ocorrido na UETAC. Nas Tabelas 13 e 14 e Figura 23 pode ser verificado que

não há diferença significativa entre a água atmosférica e a água coletada após o telhado.

Figura 23 - Box Plot para variável alcalinidade total.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

A água coletada após a autolimpeza apresentou valor de  $11 \pm 4$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo 21,4% menor do que a água coletada na calha. Entre a água coletada na calha e após a autolimpeza não há diferença significativa, mesmo havendo redução de alcalinidade total, como é verificado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 23. É importante frisar que para a alternativa da UETAC com FCA a água atmosférica e a água na calha apresentaram as letras AB, que remete que este grupo tem comportamento entre os pontos agrupados em A e B.

A água coletada no reservatório teve mediana de alcalinidade total de  $14 \pm 11$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo 27,7% mais elevado que a água coletada após a autolimpeza, em que o aumento de alcalinidade total se deu possivelmente pela presença de sólidos depositados no reservatório, que podem conter sais alcalinos que conferem alcalinidade na água. Lima (2014) também verificou aumento de alcalinidade da água no reservatório comparado a autolimpeza. Já Xavier (2010) e Gikas e

Tsihrintzis (2012) verificaram a diminuição de alcalinidade no reservatório em comparação com a autolimpeza. Há diferença significativa entre a água coletada no reservatório e a água após a autolimpeza, como pode ser visto nas Tabelas 14 e 15 e Figura 23.

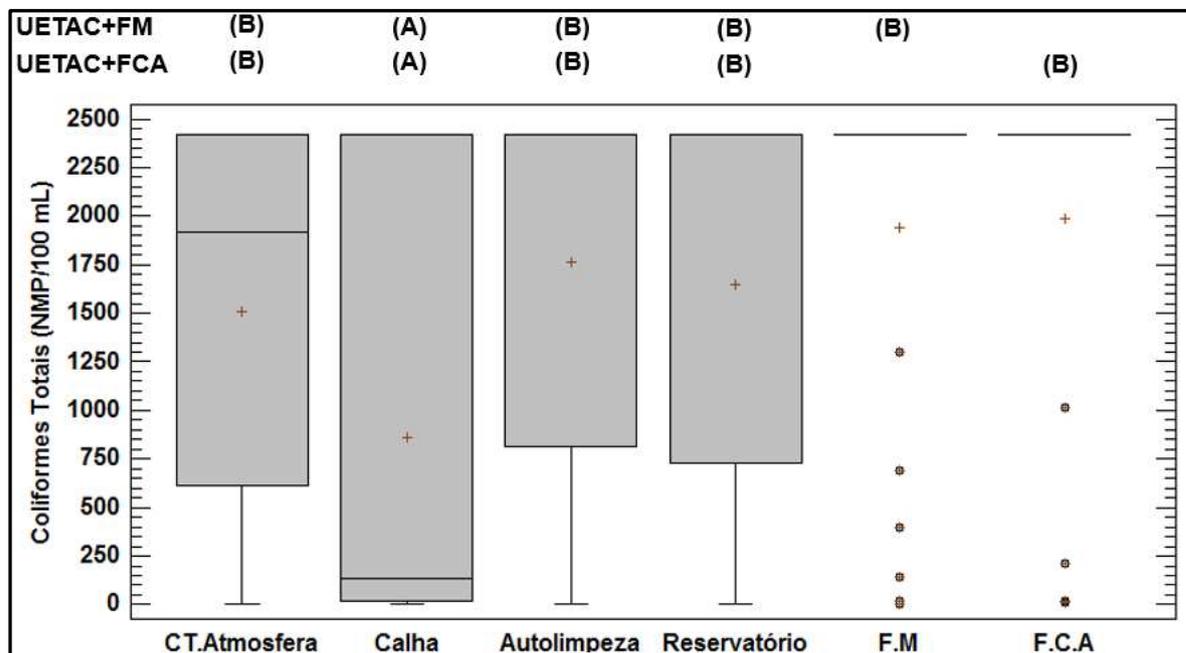
Após passagem de água pelos dois filtros houve aumento no valor de alcalinidade total, onde no FM a água obteve mediana de  $19 \pm 13$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, e no FCA o valor foi de  $19 \pm 16$  mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo 35,7% mais elevado do que a água do reservatório. Possivelmente a dissolução de íons dos meios filtrantes pode ter contribuído também para o aumento da alcalinidade, semelhante ao que ocorreu nas variáveis condutividade elétrica e pH. Há diferença significativa entre a água coletada após os filtros e a água no reservatório, como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e Figura 23.

A água coletada após a autolimpeza representou o menor valor de alcalinidade total no sistema, e nos pontos de coleta após os filtros foi onde houve os maiores valores de alcalinidade total, o que mostra mais uma vez a interferência dos dois filtros na qualidade de água, assim como pode ser visto nas variáveis anteriores.

Em relação a variável coliformes totais, a água atmosférica teve mediana de  $1,9 \cdot 10^3 \pm 1 \cdot 10^3$  NMP/100 mL, conforme pode ser visto na Figura 24 e Tabela 12. A presença de microrganismos na água atmosférica pode ser justificada pela suspensão de bactérias no ar e/ou à contaminação do recipiente de coleta que ficou exposto. Outros estudos também detectaram presença de microrganismos na água de chuva (SILVA, 2013; ANDRADE, 2012; NADDEO, SCANNAPIECO e BELGIORNO, 2013; SAZAKLI et al., 2007 e WILBERS et al., 2013). A água de chuva após contato com o telhado teve mediana de  $1,3 \cdot 10^2 \pm 10 \cdot 10^2$  NMP/100 mL, sendo valor menor do que a água atmosférica, contudo não se pode desconsiderar que o desvio padrão é elevado. O valor da água coletada após o telhado é próximo ao verificado por Lee, Bak e Han (2012) (76 NMP/100 mL), que também utilizaram telhado cerâmico. A redução de coliformes totais da água de chuva após o telhado também foi verificada por Santos et al. (2007) e Rocha, Reis e Araújo (2009). A redução de coliformes totais na água coletada após o telhado pode ser explicada pelo contato dos raios solares com a superfície de captação, mesmo que na UETAC

fosse parcialmente coberta por vegetação, assim como observado por Menezes (2016) que comenta que o contato direto da radiação ultravioleta com telhados pode interferir na redução da concentração bacteriana. Além disso, deve ser levado em consideração que a superfície de captação, que é constituída por telhas cerâmicas novas, foram limpas durante o período de monitoramento da UETAC, e estes fatores podem ter contribuído para a redução de coliformes totais na água de chuva após telhado, assim como comenta Sazakli et al. (2007) que atribuíram que os parâmetros microbiológicos da água de chuva foram afetados principalmente pelo nível de limpeza das superfícies de captação. Há diferença significativa entre a água coletada após o telhado e a água atmosférica, como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e Figura 24.

Figura 24 - Box Plot para variável coliformes totais.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

A metodologia para determinação de coliformes totais tem limite de detecção máximo de  $2,4 \cdot 10^3$  NMP/100 mL e as amostras utilizadas não foram diluídas, sendo assim os resultados para esta variável alcançaram em algumas amostras valores acima da faixa de leitura, e que compromete a análise dos resultados, como pode

ser observado em todos os pontos de coleta na Figura 24, principalmente para os dois filtros.

A água coletada após a autolimpeza teve mediana de  $2,4 \cdot 10^3 \pm 1 \cdot 10^3$  NMP/100 mL, sendo mais elevado que a água coletada na calha. Andrade (2012), Matos (2014) e Lima (2014) também verificaram que as amostras após a autolimpeza foram positivas para coliformes totais. A autolimpeza acumula sólidos no fundo do dispositivo, assim como observado por Luna et al. (2014), e estes sólidos servem de substrato para bactérias, portanto contribuindo para a elevação do valor de coliformes totais na água de chuva. Nas Tabelas 13 e 14 e Figura 24 pode ser visto que há diferença significativa entre a água coletada após a autolimpeza em relação a água coletada na calha, devido ao aumento expressivo de coliformes totais, retornando aos padrões da água da atmosfera.

A água coletada no reservatório teve mediana de  $2,4 \cdot 10^3 \pm 1 \cdot 10^3$  NMP/100 mL, resultado semelhante a água coletada após a autolimpeza, tendo resultado diferente da pesquisa de Almeida et al. (2016) que verificaram que a água coletada no reservatório teve valor menor de coliformes totais comparado a dispositivos de autolimpeza, com redução de até 99% de coliformes totais na água armazenada. Araújo (2015) detectou a presença de coliformes totais em todas as amostras de água das 15 cisternas analisadas no período chuvoso e seco, no município de Poço Redondo, Sergipe, contudo não possuíam dispositivos de autolimpeza. O valor elevado de coliformes totais na água armazenada pode ser atribuído aos sólidos depositados no fundo do reservatório que servem de substrato para bactérias, e esta concentração de sólidos é atribuída ao baixo desempenho da autolimpeza. O crescimento bacteriano na reservação também foi verificado em outras pesquisas (ARRUDA, 2014 apud MATOS, 2014; WILBERS et al., 2013; VIALLE et al., 2011; SIMMONS et al., 2001). Não há diferença significativa entre a água coletada no reservatório e a água coletada após a autolimpeza, como pode ser observado nas Tabelas 13 e 14 e Figura 24, já que não houve variação entre os valores da água coletada nos dois pontos.

O valor mediano de coliformes totais na água após a etapa de filtração foi de  $2,4 \cdot 10^3 \pm 0,9 \cdot 10^3$  NMP/100 mL tanto para o FM quanto para o FCA, caracterizando que nesta etapa não houve eficiência na remoção de microrganismos presentes na

água proveniente do reservatório, contudo também não representou alteração negativa na qualidade da água, como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e figura 24 que não há diferença significativa entre a água coletada após a passagem pelos dois filtros em relação a água do reservatório. Já Pereira e Rodrigues Junior (2013) que utilizaram filtro de CA de caroço de açaí verificaram que após a passagem de água (proveniente da rede de abastecimento público) pelo filtro houve ausência de bactérias do grupo coliformes, sendo o único trabalho na bibliografia que relata este comportamento. Moreira Neto (2012) e Zipf et al. (2013), que utilizaram filtros de areia com formação de camada biológica no tratamento de água de chuva, alcançaram resultados satisfatórios na redução do valor de coliformes totais da água de chuva. O desempenho do filtro é influenciado pela taxa de filtração, temperatura, espessura do meio filtrante, tamanho dos grãos da areia e entre outros (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). Então, possivelmente as características granulométricas da areia e do carvão ativado como o tamanho dos grãos (diâmetro efetivo de 0,62 mm para areia e 1,8 mm para o carvão ativado), espaçamento entre os grãos, porosidade, capacidade de adsorção e entre outros podem ter contribuído para o desempenho desfavorável na remoção de microrganismos. Em relação ao tamanho dos grãos pode ser que com o menor diâmetro da areia e do carvão ativado poderia ter tido desempenho positivo, assim como verificado por Bellamy et al. (1985 apud LOGSDON et al., 2002) em que o filtro com areia de diâmetro efetivo de 0,29 mm apresentou remoção de coliformes totais superior ao filtro com diâmetro efetivo de 0,62 mm.

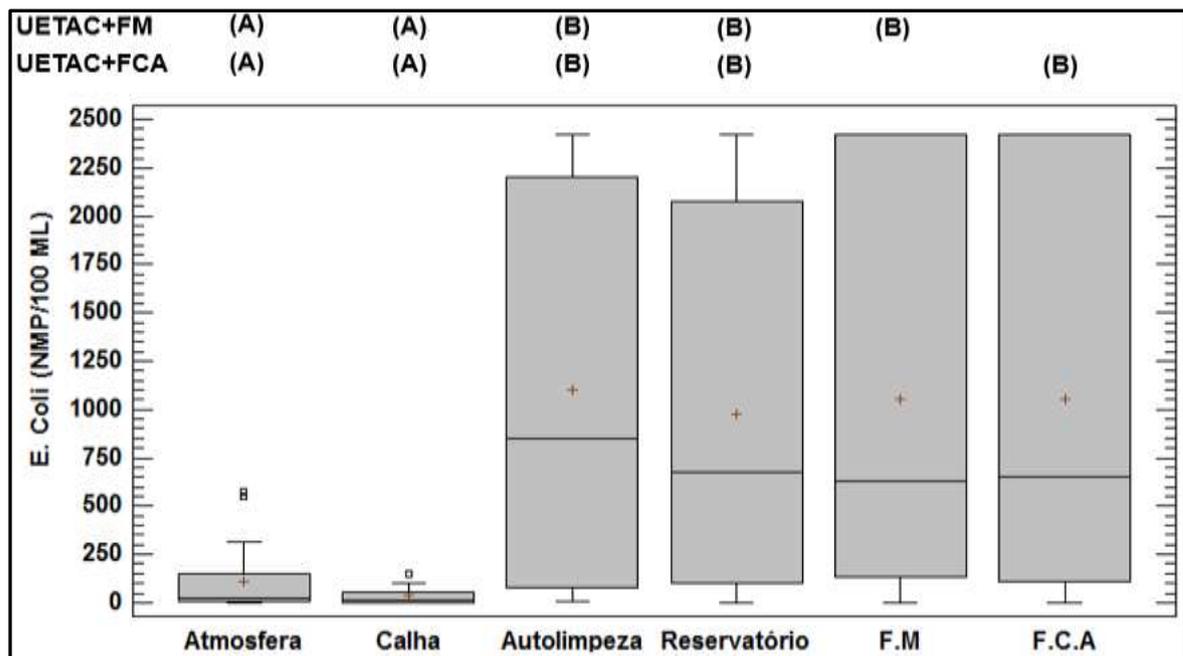
Na calha foi onde ocorreu a menor mediana de coliformes totais, nos demais pontos os valores foram muito semelhantes, podendo ser observado que a autolimpeza, o reservatório e os filtros não reduziram os coliformes totais da água de chuva. Importante salientar que a qualidade de água também sofre influência no contato com os materiais das tubulações, calhas, condutores verticais e outros componentes do sistema de captação, que podem elevar valores de parâmetros microbiológicos de água de chuva (VIEIRA et al., 2013; MORROW et al., 2010).

Na portaria 2914 (BRASIL, 2011) é verificado que a água para consumo humano tenha ausência de coliformes totais, desta forma a água captada na UETAC seria imprópria para usos potáveis. Assim, para um consumo de água de chuva

longe de riscos à saúde, algumas pesquisas, que constataram a ocorrência de contaminação microbiológica na água de chuva, recomendaram a adoção do processo de desinfecção antes do uso da água (AHMED, W. et al., 2011; JESMI, et al., 2014; KAUSHIK, R. et al., 2014; NAWAZ, et al., 2014; PALHARES & GUIDONI, 2012; PETERS, 2009; SILVA, 2012; MENEZES, 2016; MATOS, 2014).

Em relação a variável *E. Coli*, a água atmosférica possuiu valor de  $0,21.10^2 \pm 1,8.10^2$  NMP/100 mL (Figura 25 e Tabela 12), obtendo resultado próximo ao detectado por Silva (2013) ( $0,12.10^2 \pm 0,2.10^2$  NMP/100 mL), e Menezes (2016) ( $2,2.10^2 \pm 5,5.10^2$  NMP/100 mL), que são estudos realizados na mesma cidade desta pesquisa. A água coletada na calha apresentou valor de  $1,7.10^1 \pm 4,7.10^1$  NMP/100 mL, sendo menor do que a água coletada diretamente da atmosfera. Como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e Figura 25 não há diferença significativa entre a água coletada na calha em comparação com a água atmosférica.

Figura 25 - Box Plot para variável *E. Coli*.



Obs.: as letras diferentes representam as diferenças significativas entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .

Assim como para coliformes totais, a metodologia para determinação de *E. Coli* tem limite de detecção máximo de  $2,4.10^3$  NMP/100 mL e as amostras

utilizadas não foram diluídas, sendo assim os resultados para esta variável alcançaram em algumas amostras valores acima da faixa de leitura, e que compromete a análise dos resultados, como pode ser observado para os pontos de coleta dos filtros na Figura 25.

A água de chuva coletada após a autolimpeza teve mediana de  $8,5 \cdot 10^2 \pm 10 \cdot 10^2$  NMP/100 mL, sendo mais elevado que a água coletada após a passagem pelo telhado, ratificando que a autolimpeza tem ambiente favorável ao crescimento bacteriano e por isso ocorreu o aumento do índice de *E. Coli*, assim como verificado na variável coliformes totais e condizente com a pesquisa de Menezes (2016) e Veloso (2013). Há diferença significativa entre a água coletada após a autolimpeza e a água coletada na calha, observado na Figura 25 e Tabelas 13 e 14.

A água armazenada no reservatório apresentou mediana de  $6,8 \cdot 10^2 \pm 9,7 \cdot 10^2$  NMP/100 mL, próxima a água coletada após a autolimpeza. Lee, Bak e Han (2012) e Andrade (2012) também verificaram a diminuição do valor de *E. Coli* na água coletada do reservatório em comparação a autolimpeza. A importância da diminuição da concentração de *E. Coli* no reservatório é por que assim reduz o risco de doença pelo consumo de água, assim como afirma Siqueira (2005) apud Araujo (2015) que o alto índice de *E. coli* pode associar-se a doenças de transmissão hídrica como a febre tifóide, febre parasitifóide, desintéria bacilar e cólera. Também é necessário enfatizar que os microrganismos que vieram do telhado e dos encanamentos podem se desenvolver no reservatório (TOMAZ, 2003), por isto a necessidade de se ter manutenções regulares do reservatório para diminuir o risco de contaminação pelo consumo de água. Nas Tabelas 13 e 14 e Figura 25 é visto que não há diferença significativa entre a água coletada no reservatório e a água coletada após a autolimpeza.

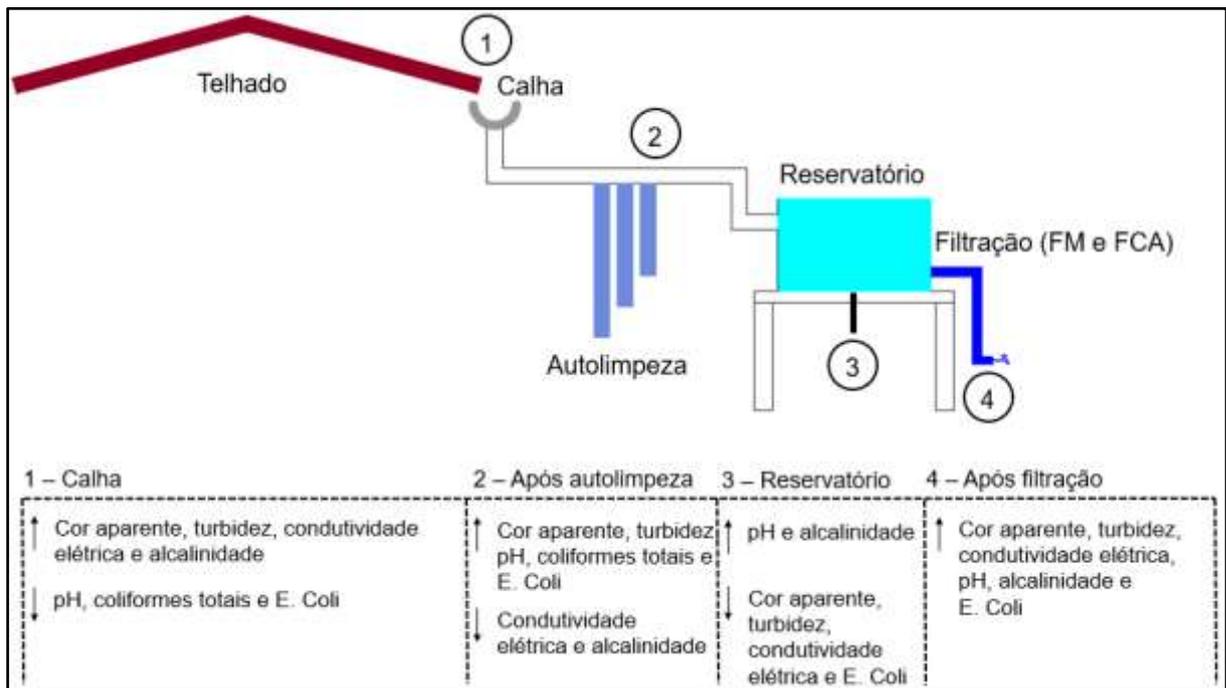
Após a etapa de filtração os valores de *E. Coli* no FM foi de  $6,3 \cdot 10^2 \pm 10 \cdot 10^2$  NMP/100 mL, e no FCA foi de  $6,5 \cdot 10^2 \pm 10,2 \cdot 10^2$  NMP/100 mL, com valores medianos próximos ao detectado na água armazenada, o que não confere que houve eficiência na remoção de *E. Coli*, pois estaticamente não há diferença significativa entre a água coletada após a passagem pelos filtros em relação a água do reservatório, como pode ser visto nas Tabelas 13 e 14 e Figura 25.

Agra et al (2012) e Zipf et al (2013) também verificaram redução do valor de *E. Coli* da água de chuva, após passagem pelo filtro de areia, onde alcançaram reduções próximas de 99%. Já Veloso et al (2013) constataram que o filtro de areia não foi eficiente na redução de *E. Coli* da água de chuva.

Na atmosfera e na calha foram os pontos onde houve as menores medianas de *E. Coli*, já no ponto de coleta após a autolimpeza foi onde houve o valor mais elevado. Na portaria 2914 (BRASIL,2011) é indicado que a água para consumo humano tenha ausência de *E. Coli*, então a UETAC não alcançou resultados satisfatórios para uso potável, apresentando a necessidade da etapa de desinfecção da água de chuva.

Na Figura 26 pode ser observado a síntese dos resultados das variáveis de qualidade de água da chuva na UETAC.

Figura 26 - Síntese dos resultados de qualidade de água de chuva na UETAC.



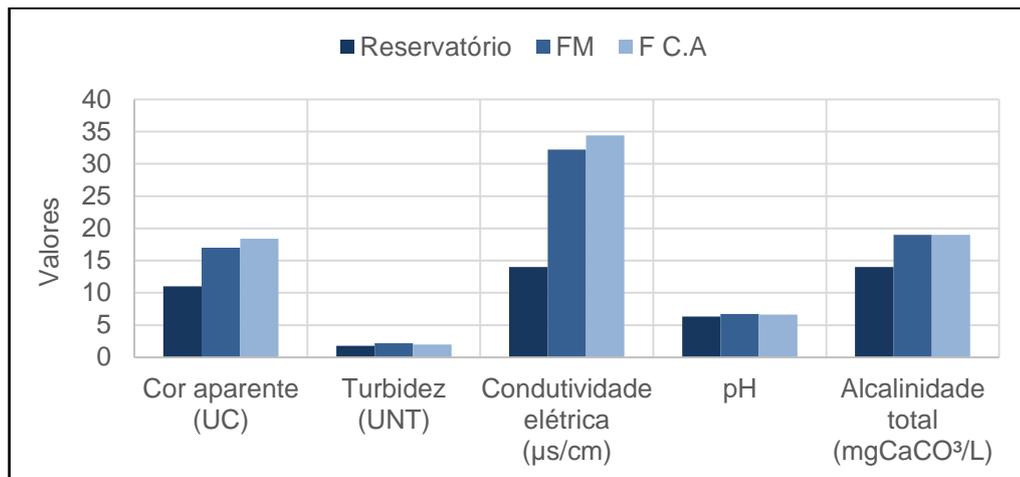
Obs.: a seta pra cima indica que houve aumento no valor da variável em relação a etapa anterior e a seta para baixo indica a redução.

O reservatório foi o ponto de coleta que melhor contribuiu para com a melhoria da qualidade da água, em que reduziu os valores de 5 variáveis em relação

a autolimpeza. A etapa de filtração foi a unidade do sistema que mais interferiu negativamente na qualidade de água de chuva.

Em relação aos dois filtros instalados na UETAC, na Figura 27 é feito um comparativo das medianas da qualidade de água de chuva após passagem pela etapa de filtração, considerando 5 variáveis analisadas (cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH e alcalinidade total).

Figura 27 – Comparativo entre os resultados de qualidade de água do FM e FCA.



O F.M apresentou resultados melhores nas variáveis cor aparente (8,23% mediana menor do que o FCA) e condutividade elétrica (8,83% mediana menor do que o FCA). Nas demais variáveis os resultados foram bem próximos entre ambos os filtros (turbidez e pH) e até mesmo com resultados semelhantes (alcalinidade total). A partir desta comparação pode se confirmar que o FM teve resultado melhor do que o FCA, considerando a mediana, embora que no contexto geral os dois filtros não apresentaram desempenho favorável, já que não alcançaram resultados melhores comparados a água que vem do reservatório. Além disso, analisando o teste de hipótese, os dois filtros têm comportamento semelhante, já que se agrupam em grupos semelhantes, desta forma analisando que estaticamente estes não se diferem.

Tanto o FM quanto o FCA não apresentaram resultados satisfatórios considerando as variáveis microbiológicas, o que ratifica que não são capazes de eliminar microrganismos patogênicos. Embora, os dois filtros não representem

alteração negativa na qualidade de água, o que pode ser comprovado na ANOVA que tanto em coliformes totais quanto em *E. Coli* não houve diferença significativa entre os filtros com o reservatório.

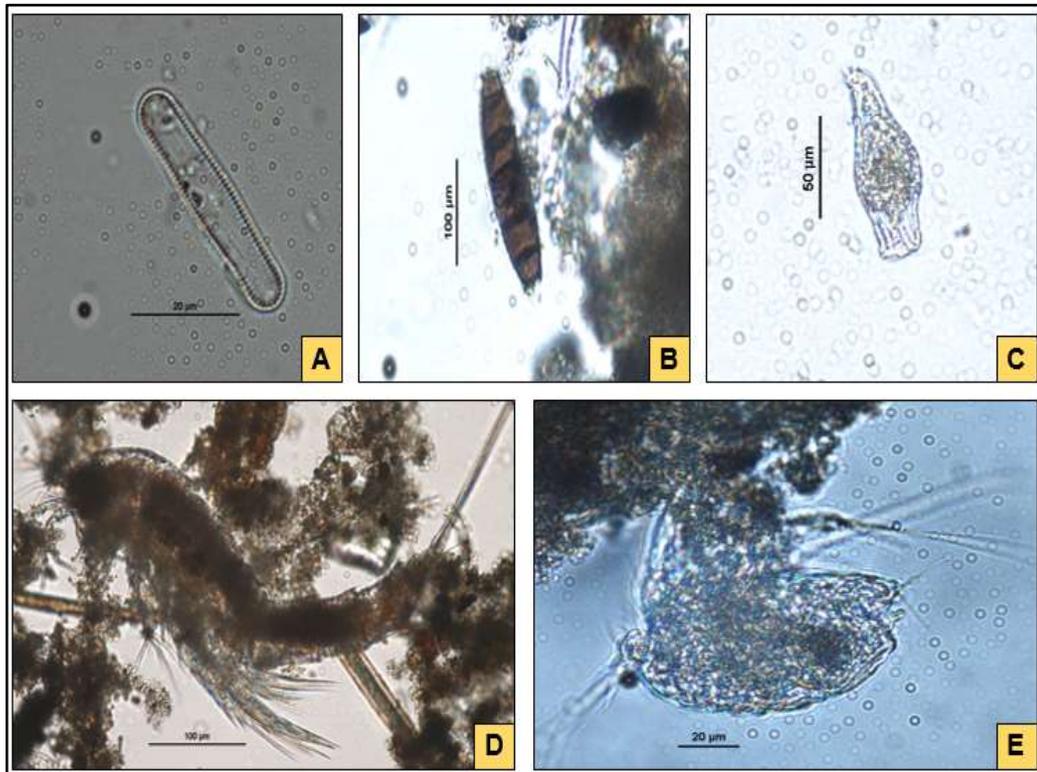
A instalação da UETAC próximo a uma área de vegetação influenciou diretamente na qualidade de água de chuva, pois muitas folhas, frutos e fezes de animais contribuíram para deposição de sólidos de matéria orgânica no telhado e conseqüentemente para as outras unidades do sistema, assim conferindo valores mais elevados de cor aparente e turbidez, além disso tem impacto na qualidade microbiológica da água de chuva, como também influenciam nas variáveis pH e alcalinidade.

O processo de manutenção da UETAC é outro ponto que deve ser enfatizado em relação a qualidade de água de chuva, assim como comentam Sánchez et al. (2015) que a manutenção adequada e limpeza de seus componentes são cruciais para evitar/reduzir a presença de patógenos, assim como a cloração e a remoção periódica de lodo no reservatório e a limpeza regular das superfícies de captação e calhas.

#### 5.1.1 Detecção de microrganismos no reservatório da UETAC

Na Figura 28 são apresentadas as fotomicrografias de organismos presentes nas amostras de água do fundo do reservatório da UETAC nas coletas realizadas nos dias 13/05/2016 e 07/08/2016.

Figura 28 - Fotomicrografias de alguns microrganismos encontrados na água do fundo do reservatório: A) Frústula de diatomáceas; B) Esporo de Fungo; C) Rotífera; D) Copépoda e E) Cladóceras.

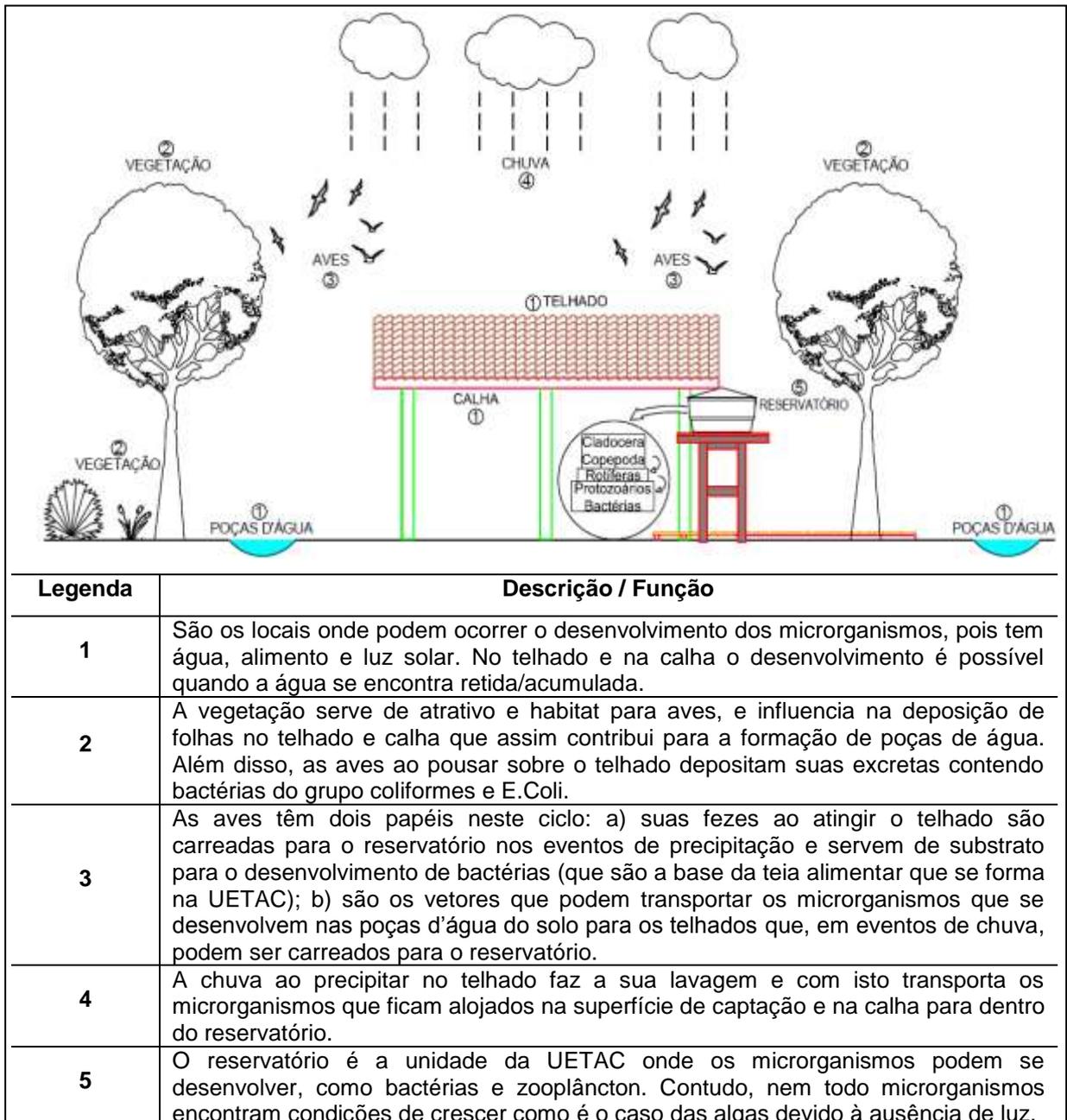


Notas: A) Frústula de Diatomáceas: são um importante grupo de protistas, pertencentes à divisão Bacillariophyta, e possuem como característica uma carapaça ou parede silicosa chamada frústula (Round, Crawford e Mann, 1990). B) Esporo de fungo: são estruturas reprodutivas dos fungos micorrízicos (BRUNDRETT, 1996). C) Rotífera: são invertebrados aquáticos ou semi-aquáticos, microscópicos, pertencentes ao grupo ou filo asquelmintos (NOGRADY et al., 1993). D) Copépoda: é o maior grupo da fauna planctônica, sendo considerados o principal elo na passagem da produção fitoplanctônica para os demais níveis tróficos (CUSHING, 1997). E) Cladóceras: são micro-crustáceos com grande número de espécies em regiões litorâneas de lago e reservatório (SIPAÚBA-TAVARES e ROCHA, 2001).

Foram identificados alguns microrganismos detectados durante as amostragens realizadas, como a Frústula de Diatomáceas (A), *Esporidesmium* SP (Esporo de Fungo) (B), Rotífera (C), Copépoda (D) e Cladóceras (E). Além destes foram identificados: Frústula de *Coscinodiscus* e Alga do gênero *Trendelenburgia rigidula*. O *Coscinodiscus* é um gênero da classe *Bacillariophyceae* (Round et al., 1990). A *Trendelenburgia rigidula* é uma espécie de microalga comum em rios da Amazônia, provavelmente neste caso vinda do rio Guamá.

Na Figura 29 é apresentado o esquema de desenvolvimento de microrganismos no ambiente da UETAC, considerando as condicionantes do ambiente que propiciam a formação de alguns seres detectados no reservatório.

Figura 29 – Esquema de desenvolvimento de microrganismos no reservatório da UETAC.



O esquema representado na Figura 29 apresenta as variáveis ambientais e as etapas que ocorrem para que os microrganismos alcancem o reservatório. Além

disso mostra que a base da cadeia alimentar dentro do reservatório é formada por bactérias e protozoários, a concentração de bactérias pode ser comprovada pelos valores elevados de coliformes totais e *E. Coli* no reservatório que podem ser comprovados na tabela 12 e figuras 24 e 25. Os rotíferas se alimentam de bactérias, sendo estas consideradas importante fonte de alimentação para as rotíferas (POURRIOT, 1997), e se alimentam também de protozoários, e as rotíferas servem de alimento para os cladóceras e copépodos.

A presença destes organismos zooplanctônicos no reservatório são comuns em um ambiente limnético<sup>1</sup>, assim como observado por Marcelino (2007) que comenta que tal comunidade é composta também por Protozoa, Rotifera, Insecta e Crustacea (microcrustáceos), sendo este último constituído especialmente pelos Copepoda, Cladocera e Ostracoda.

O zooplâncton rapidamente coloniza ambientes lênticos<sup>2</sup> onde geralmente se reproduz numa alta taxa para manter suas populações (Marzolf, 1990), tal qual pode ocorrer no reservatório da UETAC, em que o fato da água estar confinada pode servir de ambiente favorável ao desenvolvimento das espécies.

Dentre os organismos zooplanctônicos, os rotíferas podem ser encontrados nas zonas de litoral, entre a vegetação aquática ou ainda no sedimento; nas águas abertas de lagos, represas e rios, além de viverem em solos úmidos ou associados a musgos (PAGGI, 1995; OLIVEIRA-NETO E MORENO, 1999). Estes organismos embora apresentem tamanho pequeno, contribuem com grande parte da biomassa e produtividade zooplanctônica (ESTEVES, 1998), como evidenciado por Hardy et al. (1984) em estudos realizados no Lago Camaleão (Amazônia), em que os rotíferas chegaram a representar mais de 70% da biomassa total do zooplâncton.

Melo, Paiva e Silva (2006), em estudo realizado no reservatório Bolonha, em Belém, verificaram maior densidade e número de táxons<sup>3</sup> de Rotíferas e Cladoceras, o que pode ser um comportamento semelhante também para o reservatório da

---

<sup>1</sup> Corresponde à área que não sofre influência direta do ecossistema terrestre adjacente (ESTEVES, 1998).

<sup>2</sup> São ecossistemas que correspondem a ambientes aquáticos de água parada, como as lagoas e lagos (Esteves, 1998).

<sup>3</sup> São categorias usadas no sistema de classificação dos seres vivos (WOESE, KANDLER e WHEELIS, 1990)

UETAC, contudo não pode ser afirmado já que não foi feita investigação de densidade.

O desenvolvimento de algas no reservatório é inviabilizado devido a ausência de luz, embora possam se desenvolver no telhado já que há condicionantes: minerais e matéria orgânica (sílica e outros), água e luz solar, e por isso só foram detectadas as carapaças (frústulas) das diatomáceas, já que a parte orgânica se decompõe por não haver condições de desenvolvimento. As diatomáceas são algas microscópicas que se caracterizam pela parede celular de natureza silícea. A identificação das espécies de algas se baseia no formato e no reconhecimento de estruturas e ultraestruturas da frústula (ROUND, CRAWFORD e MANN, 1990).

Estas algas podem se proliferar sob condições físicas e químicas muito específicas, tais como baixo pH, elevadas concentrações de nutriente ou baixa condutividade (SIVER, HAMILTON e PELCZAR, 2009). A presença de determinados minerais nas telhas aliado a sua característica porosa devem contribuir para o desenvolvimento de microrganismos (LEE, 2012).

A presença de frústulas de diatomáceas no reservatório da UETAC pode estar relacionado com a proximidade ao Rio Guamá que tem um ambiente com presença de diatomáceas como foi verificada na pesquisa de Costa (2008). Além disso, estas algas possivelmente também cresceram sobre o telhado da UETAC.

As chuvas, ventos, escoamentos de águas superficiais e assoreamentos transportam materiais vegetais alóctones a ambientes aquáticos, assim como os substratos vegetais de origem aquática, e são de fundamental importância para a colonização por fungos (WONG et al., 1998). O ambiente da UETAC próximo a vegetação e os períodos de chuvas podem ter contribuído para o surgimento de fungos. No entanto, Segundo THOMAS (1996) e WONG et al. (1998), os ambientes de água parada, assim como é no reservatório da UETAC, apresentam menor número de fungos devido à deficiência na concentração de oxigênio.

O esporo de fungo detectado não foi especificado durante os ensaios, portanto não se sabe a taxonomia da espécie encontrada.

A frústula de *Coscinodiscus* e da alga *Trendeporlia rigidula* detectadas são de ambiente típico do rio Guamá, assim como detectado por Monteiro et al. (2009),

desta forma pode ser inferido que há comunicação entre os dois ambientes próximos através de agentes de transportes, possivelmente por aves, como as garças, que tem seu habitat no rio Guamá e sobrevoam ambientes próximos.

Em relação a água do fundo do reservatório, foi verificado que o teor de sólidos fixos foi de 58,3% e 41,7% foi de sólidos voláteis, significando que a maior parte dos sólidos são advindos de porções minerais e o restante de origem orgânica. Essa fração mineral pode ser proveniente possivelmente do material do telhado e de partículas de areia que se depositam na superfície de captação e são escoados para o reservatório durante os eventos de precipitação. A matéria orgânica é proveniente de musgos, líquens, fezes de aves ou galhos e folhas que estejam presentes na superfície de captação (SILVA, 2015), assim como verificado por Santos (2015) que a maior porção de sólidos orgânicos depositados no fundo do reservatório de água de chuva foi devido ao desprendimento de musgos e líquens do telhado e que foram arrastados para dentro do reservatório.

## **5.2 Avaliação de custo de implantação do sistema**

Os orçamentos elaborados consideram as duas alternativas de filtração levando em consideração a montagem da unidade de captação e tratamento de água de chuva com a inserção dos filtros misto e de carvão ativado, mas não considera a implantação de telhado, já que em uma perspectiva prática o telhado já estaria implantado ante a instalação de um sistema. A referência do orçamento são cotações de preços realizadas no mês de julho de 2017 na cidade de Belém/Pará.

No Quadro 5 é apresentado o resumo do orçamento para implantação da UETAC em função das duas alternativas de filtração. No anexo A é encontrado o orçamento completo com os preços cotados de cada item e a composição dos mesmos.

Quadro 5 – Resumo do orçamento do sistema de água de chuva implantado, com base em julho – 2017.

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Custo UETAC com o FM (R\$)</b>	<b>Custo UETAC com o FCA (R\$)</b>
<b>1</b>	Calha e conexões verticais de descida	540,90	540,90
<b>2</b>	Dispositivo de autolimpeza (1mm)	180,70	180,70
<b>3</b>	Reservatório de água de chuva e acessórios, e estrutura de madeira para suporte do reservatório	810,38	810,38
<b>4</b>	Filtro	367,08	416,32
<b>TOTAL</b>		<b>1.899,06</b>	<b>1.948,30</b>

A alternativa da UETAC com filtro misto apresentou um custo menor, sendo uma diferença em R\$ 49,24 em relação a alternativa com o filtro de carvão ativado. O que diferencia os custos entre as duas alternativas é que o carvão ativado necessita de aporte laboratorial e, portanto, com um custo maior para produzi-lo, sendo assim como o filtro de carvão ativado tem maior volume do material produzido comparado ao misto, logo o custo é maior.

Em relação ao custo equivalente por unidade componente da UETAC, pode se verificar que instalação do reservatório com a estrutura de madeira equivale a 42,67% e 41,59% do custo total da UETAC considerando a alternativa para o filtro misto e carvão ativado respectivamente, representando o maior custo no sistema. O segundo maior custo proporcional foi a calha que equivale a 28,48% e 27,76% respectivamente para as alternativas de filtro misto e carvão ativado. O filtro misto, equivale a 19,33% do custo total, enquanto que o filtro de carvão ativado equivale a 21,37% do custo total. E por fim o menor custo da UETAC para as duas alternativas de filtros está relacionado a autolimpeza que equivale a 9,52% do custo total para a alternativa 1 (filtro misto) e 9,27% para alternativa 2 (filtro de carvão ativado).

As duas alternativas da UETAC para os dois filtros estudados apresentaram custo menor do que sistemas avaliados por Teston (2012) que estudou 2 sistemas comerciais e 1 sistema com materiais alternativos, e obteve os seguintes custos: R\$ 9.090,00, R\$ 5.690,00 e R\$ 6.524,00, respectivamente, contudo possuíam características diferentes das unidades do sistema em comparação com a UETAC, como o uso de bombas e reservatórios com maior capacidade de reservação (até 6.000 L). Já Sousa (2015) que elaborou um sistema de captação e tratamento de água de chuva denominado Pluvieta com o custo de R\$ 495,00, sendo menor custo do que as alternativas desta pesquisa, contudo é um sistema de menor porte e sem reservatório comercial que corresponde ao maior custo de um sistema de água de chuva.

Ambos os filtros não mostraram desempenho favorável em relação a melhoria da qualidade de água de chuva, embora o FM em comparação com o FCA tenha apresentado resultado melhor. Além da condição qualitativa, o FM também possuiu melhor resultado quantitativo com o seu custo de implantação menor do que o FCA, portanto sendo a melhor alternativa em termos de qualidade de água e financeiro. Contudo não se pode deixar de enfatizar que o custo da implantação da UETAC poderia ser ainda menor se optasse pela retirada dos filtros, havendo economia entre R\$ 367,08 e R\$ 416,32. Entretanto, poderia ter um aumento do custo se caso houvesse o acréscimo do volume da autolimpeza, já que foi verificado que para a dimensão de abstração de 1mm não foi suficiente.

## 6 CONCLUSÕES

Em relação a caracterização dos meios filtrantes, a areia apresentou diâmetro efetivo de 0,62mm, coeficiente de uniformidade de 1,42 e massa específica de 2.632 kg/m<sup>3</sup>. Já o carvão ativado teve diâmetro efetivo de 6,9mm, coeficiente de uniformidade de 0,73, umidade de 2,10% e densidade aparente de 0,358 g/cm<sup>3</sup>. O filtro de carvão ativado apresentou vazão de 0,35 m<sup>3</sup>/h, sendo superior ao filtro misto (0,20 m<sup>3</sup>/h), assim como a taxa de filtração 34,26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e a do filtro misto de 19,19 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Houve a detecção de valores atípicos que foram excluídos para melhorar a análise dos resultados. No teste ANOVA aplicado foi verificado que apenas na variável pH não existe diferença estatisticamente significativa entre os pontos de coleta, nas demais variáveis existiram diferenças significativas.

Após a incidência da água de chuva com a superfície do telhado, a água teve o comportamento de aumento dos valores medianos nas variáveis cor aparente em 10%, turbidez em 19,2%, condutividade elétrica em 15,4% e alcalinidade em 7,7%, assim evidenciando que o telhado teve interferência direta na qualidade de água de chuva na UETAC, o que já era esperado, que pode estar associado a proximidade com a vegetação que desprende galhos e frutos sobre o telhado, além da própria condição do material cerâmico ser poroso, e portanto, acumula sólidos nos poros e que podem ser carreados nos eventos de chuva.

A autolimpeza não apresentou desempenho favorável na UETAC, sendo um dispositivo que contribuiu para a piora da qualidade de água vinda da calha nas variáveis cor aparente (4,9% mais elevada), turbidez (22,6% mais elevada), coliformes totais e *E.coli*. A possível causa da degradação da qualidade de água na autolimpeza pode estar relacionada ao dimensionamento da mesma, já que foi projetada para abstração de 1 mm da primeira chuva, então deveria ser considerado um maior volume de abstração para que alcançasse desempenho favorável. Tem que ser considerado também que a autolimpeza acumula sólidos no fundo do dispositivo e estes sólidos servem de substrato para bactérias, portanto contribuindo para a elevação do valor de coliformes totais e *E. Coli* na água de chuva.

O reservatório foi a unidade do sistema que melhor contribuiu para a qualidade de água de chuva, reduzindo valores de variáveis de água vinda da autolimpeza, como em cor aparente (26,7% menor), turbidez (52,6% menor) e condutividade elétrica (17,6% menor), até mesmo alcançando valores menores do que a água atmosférica. O efeito da sedimentação pode ter contribuído para a melhoria da qualidade de água de chuva, que retirou impurezas que conferiram cor e turbidez na água, assim como sais que configuram condutividade elétrica.

Os filtros não tiveram contribuição na melhoria da qualidade de água vinda do reservatório, sendo que nenhuma das variáveis analisadas apresentaram redução após passagem pelos filtros, e sim correspondendo aumento como em cor aparente, turbidez e condutividade elétrica, onde possivelmente os meios filtrantes estavam cedendo íons, partículas e sais em decorrência do processo de ativação do carvão. O pH e alcalinidade total também tiveram seus valores aumentados após a passagem pelo FM e FCA, atribuindo também que partículas dissolvidas dos meios filtrantes contribuíram para esse comportamento, além de que é importante frisar que a água de chuva teve um comportamento se aproximando do alcalino. E quanto as variáveis biológicas, não houve remoção dos agentes biológicos da água de chuva pelos filtros, que pode ser explicado pela distribuição e tamanho dos grãos que possivelmente não tiveram capacidade de reter os agentes biológicos.

A comparação entre os dois filtros, considerando o aspecto qualitativo, permite avaliar que o filtro misto apresentou resultados melhores que o filtro de carvão ativado, contudo em uma análise estatística os filtros tiveram comportamento semelhante que não os difere.

Em relação ao uso da água para fins potáveis, algumas variáveis se enquadraram na portaria 2914 (BRASIL, 2011) como cor aparente, turbidez (menos quando se trata do processo de filtração) e pH, contudo não segue o padrão para as variáveis coliformes totais e E. Coli, já que deveria ter ausência destas variáveis microbiológicas. Sendo assim, a água produzida na UETAC não pode ser usada para fins potáveis.

Na investigação no reservatório para detecção de microrganismos foram encontrados: Frústula de Diatomácea, Esporidiesmium SP (Esporo de Fungo), Rotífera, Copépoda, Cladóceras (Pulga D'água), Frústula de Coscinodíceos e Alga do

gênero *Trendeporlia Rigídula*. O local de desenvolvimento dos microrganismos mais propício é o telhado onde possui alimentos, água e luz, e são carregados para o reservatório devido o escoamento da chuva no telhado. Basicamente, as bactérias e protozoários servem de alimento para os rotíferas e estes para as copépodas e clacóceras. As algas não se desenvolveram no ambiente do reservatório já que não há efetivamente passagem de luz, por isso apenas foram encontradas as frústulas. Foi verificado que a maior teor de sólidos no reservatório é de origem inorgânica.

Os custos de implantação do sistema com filtro misto foi contabilizado em R\$ 1.899,06, e para o sistema com o filtro de carvão ativado foi de R\$ 1.948,30, com base em cotações de preços como referência o mês de julho/2017. Verifica-se que há pouca diferença em termos financeiros entre as duas alternativas (R\$ 49,24). O custo mais elevado na UETAC foi do reservatório e seu suporte de madeira que representaram aproximadamente 50% dos custos totais nas duas alternativas. Logo, o filtro misto apresentou a alternativa mais econômica, sendo também a melhor opção em termos de qualidade de água. É importante salientar que se não optar pela utilização dos filtros o custo da UETAC seria de R\$ 1.531,98, representando uma economia entre R\$ 367,08 a 416,32.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Para próximas pesquisas, recomenda-se que utilize filtros com areia e carvão ativado a base de caroço de açaí com granulometrias menores das que foram utilizadas neste trabalho, para ser verificado a influência da granulometria no desempenho dos filtros.

Recomenda-se o uso de filtros de carvão ativado e misto com comportamento de filtro lento.

Recomenda-se também a análise da influência do processo de manutenção de calhas, telhados e reservatório na qualidade de água no sistema de captação de aproveitamento de água de chuva.

Além destas, recomenda-se também analisar a relação entre os períodos com chuva e sem chuva com a qualidade de água de chuva.

## REFERÊNCIAS

- ABBASZADEGAN, M.; HASAN, M.N.; GERBA, C.P.; ROESSLER, P.F.; WILSON, B.R.; KUENNEN, R.; VAN DELLEN, E. The disinfection efficacy of a point-of-use water treatment system against bacterial, viral and protozoan waterborne pathogens. **Water Res**, v. 31, n. 3, p. 574–582, 1997.
- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, Rio de Janeiro, v. 243, n. 1-3, p. 195-207, 2009.
- AGRA, T. A.; BARBOZA, M. G.; FERREIRA, I.V.L.; CRUZ, N.S.D. Potabilização de Água de Chuva através de Filtração Lenta e SODIS. In: **XVI Jornada Alagoana de Saneamento Ambiental**, Maceió, 2012.
- ALMEIDA, A.J.G.A.; ARAÚJO, L.F.; SILVA, S.T.B.; SANTOS, S.M.; GAVAZZA, S. Avaliação de desempenho de distintos dispositivos para desvio automático dos primeiros milímetro da água de chuva. In: **10º simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**. Belém, 2016.
- ALVES, R. V. **Uso eficiente da água em edificações: tecnologia, certificação, incentivos econômicos**. 2010. 183 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.
- AGRA, T. A.; BARBOZA, M. G.; FERREIRA, I.V.L.; CRUZ, N. S. D. Potabilização de Água de Chuva através de Filtração Lenta e SODIS. In: **XVI Jornada Alagoana de Saneamento Ambiental**, 2012, Maceió. XVI Jornada Alagoana de Saneamento Ambiental, 2012.
- AHMED, W.; HODGERS, L.; MASTERS, N.; SIDHU, J.P.; KATOULI, M.; TOZE, S. Occurrence of intestinal and extraintestinal virulence genes in *Escherichia coli* isolates from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia. **Appl. Environ. Microbiol.** v. 77, n. 20, p. 7394–7400, 2011.
- AHMED, W.; HODGERS, L.; SIDHU, J.P.S.; TOZE, S. Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 1, p. 219-226, 2012.
- AHMED, W.; BRANDES, H.; GYAWALI, P.; SIDHU, J.P.S.; TOZE, S. Opportunistic pathogens in roof-captured rainwater samples, determined using quantitative PCR. **Water Res**. v. 53, p. 361-369, 2014.
- AMIN, M.T.; HAN, M.Y. Roof-harvested rainwater for potable purposes: application of solar collector disinfection (SOCO-DIS). **Water Res**. V. 43, p. 25-35, 2009.

AMIN, M. T.; HAN, M. Y. Improvement of solar based rainwater disinfection by using lemon and vinegar as catalysts. **Desalination**, Reino Unido, v. 276, n. 1–3, p. 416-424, Aug. 2011.

ANDRADE, Cristiane da Costa Gonçalves de. **Aproveitamento de água da chuva para abastecimento em área rural na Amazônia, estudo de caso: Ilha Grande e Murutucu, Belém-Pará**. 2012. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, p. 73-86, 2013.

ARAÚJO, M.F.F.; COSTA, I. A. S. Comunidades microbianas (bacterioplâncton e protozooplâncton) em reservatórios do semi-árido brasileiro. **Oecologia Brasiliensis**, v.11, n. 3, p. 422–432, 2007.

ARAUJO, T.M.P. **Potencial de captação da chuva e avaliação da qualidade da água de cisternas em Poço Redondo, Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2015.

ARIYANANDA, T. Recommendations for improving rain water quality, (a study conducted in 2 districts in sri lanka). **Lanka Rain Water Harvesting Forum**, Nuggedoga, 2012.

ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. **P1MC**. Disponível em [http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp? COD\\_MENU=1150](http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp? COD_MENU=1150). Acesso em 27/04/2016.

ASABE - AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Media Filters for Irrigation - Testing and Performance Reporting. St. Joseph, 1994. (ANSI/ASAE S539).

ASTM, AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **D 2867 – 09**: Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon. 2014

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

\_\_\_\_\_. **NBR 12076**: Carvão ativado pulverizado – determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5626**: Instalação prediais de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15527**: Água da Chuva - Aproveitamento de Coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis- Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 11799**: Material filtrante – areia, antracito e pedregulho - especificação. Rio de Janeiro, 2016.

Azevedo S.M.F.O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. **Med online**. 1998;1(3). [acesso em 23 maio. 2016]. Disponível em: [http://www.medonline.com.br/med\\_ed/med3/microcis.ht](http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.ht)

AZEVEDO, R.C.M. **Uso de tecnologias sociais para adequação da qualidade da água armazenada em cisternas para consumo humano**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste, 2013.

BARROS, S. V. S. **Avaliação da biomassa de espécies exóticas e nativas como fonte alternativa para geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

BAUER, R. Removal of bacterial fecal indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration. **Water Research**, v. 45, p. 439–52, 2011.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water research**, v. 70, p. 370 - 384, 2015.

BELÉM. **Lei municipal 8.740**: Dispõe sobre a obrigatoriedade de manutenção de caixas d'água limpas e tampadas nos estabelecimentos comerciais, industriais e prédios residenciais do Município de Belém, e dá outras providências. Belém, PA, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, C.E. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Cap. 9, p.483-548.

BIER, A.S.; FERNANDES, V.C. Sistema de aproveitamento de água pluvial em edifícios - estudo de caso em uma edificação comercial. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V. 5, n. 1, p. 127-134, 2013.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOLICA, R. Cianobactéria Invasora. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 30, p. 82-90, 2003.

Bracken, D.; Lim, P. Stricter water rules in store for Raleigh. **The News & Observer**, 2008.

BRASIL. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano.** Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 239, 14 dez. 2011. Seção 1.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. **Edital de chamamento público para a implementação de tecnologias sociais de acesso à água para o consumo humano na região norte.** Brasília, DF, 2012.

BRITO, L. T. L., GNADLINGER, J., Relatório sobre a Oficina: Avanços nos Estudos sobre Cisternas: Qualidade de Água e Cisterna de Alamedado, **ABCMAC**, Petrolina, PE, 2006.

BROUCKAERT, M.B. **Hydrodynamic detachment of deposited particles in fluidized bed filter backwashing.** 383 pag. Dissertation Degree Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering. Georgia Institute of Technology, Georgia. 2004.

BRUNDRETT, M.C.; ASHWATH, N.; JASPER, D.A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. II. Propagules of mycorrhizal fungi in disturbed habitats. **Plant and Soil**, v.184, p.173-184. 1996.

BURT, C. M. Media tanks for filtration Part I: Tank sizing and media selection. **Irrigation Journal**. p. 15 – 17, 1994.

BURT, C.M. Media tanks for filtration Part II: Underdrains, installations and adjustments. **Irrigation Journal**. p. 17 – 20, 1994.

CARIBBEAN ENVIRONMENTAL HEALTH INSTITUTE (CEHI). **Caribbean Rainwater Harvesting Handbook.** Caribe, 2009.

CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION (CMHC). **Collecting and using rainwater at home: a guide for homeowners.** Canadá, 2013.

CARDOSO, M. P. **Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: estudo de caso no Município de Belo Horizonte - MG.** 2009. 192 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

CARLON, M. R. **Percepção dos atores sociais quanto às alternativas de implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em Joinville – SC.** 2005. 203p. Dissertação (Mestrado), UNIVILLE, Itajaí-SC, 2005.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.; AN, J.S.; MOLICA, R.J.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.L.; SHAW G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environ Health Perspect**, v, 39, p. 341-44, 2001.

CARVALHO, A.P.; MORAES-NETO, J.M.; LIMA, V.L.A. Avaliação do índice de balneabilidade a partir de indicadores biológicos do açude Soledade em Soledade, Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 94-109, 2010.

CARVALHO, J. R. S. et al. Influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas. In: **Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**, Campina Grande, 2012.

CAT. Harvesting Water that Falls on Country: **Planning for Rainwater Tanks in Remote Australia**. Centre for Appropriate Technology (CAT), The Northern Territory, 2005.

CAWST. **Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance**, 2008.

CHANG, M.; MCBROOM, M. W.; BEASLEY, R. S. Roofing as a source of nonpoint. **Water pollution. J. Environ. Manag.**, United States, v. 73, n. 4, p. 307-315, 2004.

CHAPMAN, H.; CARTWRIGHT, T.; HUSTON, R.; O'TOOLE. Water quality and health risks from urban rainwater tanks. **Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, Research Report**, v. 42, 2008.

CIPRIANO. R. P. **Águas de Chuva escoada em Telhado: caracterização e Tratamento para Fins Potáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas e Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. – FURB; Blumenau, 2004

CISAM/AMVAP – **Conselho Intermunicipal de Saneamento Ambiental. Manual de Saneamento Ambiental**. Uberlândia/MG, CISAM, 2006.

CLASEN, T.; BOISSON, S.; ROUSTRAY P.; TORONDEL B.; BELL M.; CUMMING O.; ENSINK J.; FREEMAN M.; JENKINS M.; ODAGIRI M.; RAY S.; SINHA A.; SUAR M.; SCHMIDT WP. Effectiveness of a rural sanitation programme on diarrhoea, soil-transmitted helminth infection, and child malnutrition in Odisha, India: a cluster-randomised trial. **Lancet Glob Health**. v. 11, p. 45-53, 2014.

COELHO, E.R.C.; VAZZOLER, H.; LEAL, W.P. Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.4, 2012.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e utilização de água pluvial em residências para população de baixa renda em áreas urbanas: estudo de caso. IX **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Salvador-BA, 2008.

COSTA, S.D. **Variação espaço - temporal do microfitoplâncton na região da foz do rio Guamá (estuário amazônico), Belém – PA**. Dissertação (mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

COSTA, J. O.; BELINI, A. D. ; PASSIG, F. H. ; CARVALHO, K. Q. Avaliação da eficiência de filtro lento no tratamento de água da chuva no centro de integração lar paraná. In: **II Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR - SEI, 2012, Curitiba**. II Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR - SEI. Curitiba: UTFPR, 2011.

COSTA, A.M.R. **Limites de aplicabilidade para sistemas automáticos de água de chuva: estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

COSTA, L.S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária**. Dissertação de Mestrado (Programa de Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

COUTO, B.M.C; BARBOSA, F.M.F; TELES, L.D.S; PINHO, S.J.C, CARRIZO, J.M. estudo prévio da qualidade da água da chuva captada na faculdade de ciência e tecnologia- área1 (Salvador-BA) e da viabilidade econômica de sua captação e uso. **Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Salvador, 2016.

CRUZ JUNIOR, O.F. **Produção de Carvão Ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica. 2010**. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica e de materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

CUSHING, D.H. **Marine ecology and fisheries**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 278 p, 1997.

DE LANGE, M. War on hunger: some impacts of the DWAF Rainwater Harvesting Pilot Programme. **Report to the Water Resources Finance and Pricing DWAF directorate**. Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, South Africa, 2006.

DESPINS, C., FARAHAHAKHSH, K., LEIDL, C. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. **Aqua**, v.58, p.117 - 134, 2009.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 144p.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Volume 2. ABES, 1566 p. 2 ed, 2005.

DOBROWSKY, P. H.; DE KWAADSTENIET, M.; CLOETE, T. E.; KHAN, W. Distribution of indigenous bacterial pathogens and potential pathogens associated with roof-harvested rainwater. **Appl. Environ Microbiol.** v. 80, p. 2307–2316, 2014.

DOBROWSKY, P.H.; CARSTENS, M.; DE VILLIERS, J.; CLOETE, T.E.; KHAN, W. Efficiency of a closed-coupled solar pasteurization system in treating roof harvested rainwater. **Science of the Total Environment.** v. 536, p. 206-214, 2015.

DRYDEN, H.T. Drinking water: improving sand filter performance. **Filtration and Separation,** v. 44, p. 5-22, 2007.

DUNCAN, H.P. A review of urban stormwater quality processes. **Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology,** Melbourne, Australia, 1995.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.

EVANS. C. A.; COOMBES, P. J.; DUNSTAN, R. H. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. **Water Research.** v. 40, p. 37-44, 2006.

FARIAS, M.M.M.W.E.C. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

FARRENY, Ramon et al. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. **Water Research,** United States, v. 45, n. 10, p. 3245-3254, May. 2011.

FERNANDES, Roseli. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

FERNANDES, V.O.; CAVATI, B.; OLIVEIRA, L.B.; SOUZA, B.D.A. Ecologia de cianobactérias: fatores promotores e consequências das florações. **Oecol Brás,** v.13, n.2, p. 247-58, 2009.

FERNANDES, K.D.N. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água.** Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.

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, n. 1, p. 95-104, 2015.

GIKAS, G.D.; TSIHRINTZIS, V.A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hidrology.** v. 466-467, p.115-126, 2012.

GLEICK, P.H. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. **Water International**, v.21, p. 83–92, 1996.

GONÇALVES, R. F. (Coord) et al. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES. 2006.

GUANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem. In: **Rainwater international systems**, Manheim, 2001. Proceedings. Germany, 2001. p11. apud MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (mestrado) - Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GWENZI, W.; NYAMADZAWO, G. Hydrological impacts of urbanization and urban roof water harvesting in water-limited catchments: a review. **Environ. Process**, 2014.

GUEDES, T.L. **Tratamento de água de chuva através de microfiltração tangencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GUELPH. Residential rainwater harvesting design and installation best practices manual. Guelph, 2014.

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

HAGEMANN, S. E; GASTALDINI, M.C.C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. **Rbrh**, v.21, 2016.

HALLER, L.; HUTTON, G.; BARTRAM, J.; 2007. Estimating the costs and health benefits of water and sanitation improvements at global level. **J. Water Health**, v. 5 p. 467–480, 2007.

HAMAN, D.Z.; SMAJSTRLA, A.G.; ZAZUETA, F.S. **Media filters for trickle irrigation in Florida**. Gainesville: University of Florida. 87 p, 1994.

HANDIA, L.; TEMBO, J. M.; MWIINDWA, C. Potential of Rainwater harvesting in urban Zambia. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 28, p. 893 – 896, 2003.

HARDY, E. R.; ROBERTSON, B.; KOSTE, W. About the relationship between the zooplankton and fluctuating water levels of Lago Camaleão, a Central Amazonian varzea lake. **Amazoniana**, v. 1 (n. IX), p. 43-52, 1984.

HELLER, L.; MARTINS VIEIRA, M.B.C.; ALVES BRITO, L.L.; SALVADOR, P.D. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de cryptosporidium SP, bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, p. 27–38, 2006.

HOME WATER PURIFIERS AND FILTERS (HWPF). Compare Water Filters, Purifiers, and Purification Technologies. **Home-water-purifiers-and-filters.com**, 2008.

HUNTER, P.R.; MACDONALD, A.M.; CARTER, R.C. Water supply and health. **PLoS Med**, v. 7, 2010.

HUSTON, R.; CHAN, Y.C.; CHAPMAN, H.; GARDNER, T.; SHAW, G. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. **Water Res.** v.46, p. 1121–1132, 2012.

ITP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo, 2015.

JACOBSEN, D. *et al.* Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. **Nat, Clim. Change**, v. 2, p. 361-364, 2012.

JEBAMALAR, A.; RAVIKUMAR, G. A comparative analysis of hydrologic responses to rainwater harvesting – a case study. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 4, p. 34–39, 2011.

JESMI, Y.; RAHIMAN, K.M.; HATHA, A.A.; DEEPU, L.; JYOTHI, S. Risk assessment of rooftop-collected rainwater for individual household and community use 604 in central Kerala, India. **J. Environ. Health**, v. 76, n. 6, p. 114–121, 2014.

JIANG, Zhi-yun; LI, Xiao-yan; MA, Yu-jun. Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China. **Journal of Integrative Agriculture**, United States, v. 12, n. 8, p. 1389-1395, Aug. 2013.

KAHINDA, J.M.; TAIGBENUA, A.E.; BOROTOB, J.R.; ZEREC, T. Domestic Rain Water Harvesting to Improve Water Supply in Rural South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 32, p. 1050-1057, 2007.

KARON, A.E.; HANNI, K.D.; MOHLE-BOETANI, J.C.; BERETTI, R.A.; HILL, V.R.; ARROWOOD, M.; JOHNSTON, S.P.; XIAO, L.; VUGIA, D.J. Giardiasis outbreak at a camp after installation of a slow-sand filtration water-treatment system. **Epidemiology and Infection**, v. 139, p. 700-713, 2011.

KAUSHIK, R.; BALASUBRAMANIAN, R.; DUNSTAN, H. Microbial Quality and Phylogenetic Diversity of Fresh Rainwater and Tropical Freshwater Reservoir. **Plos One**, v. 9, n. 6, 2014.

KAYSER, G.L.; AMJAD, U.; DALCANALE, F.; BARTRAM, J.; BENTLEY, M.E. Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi. **Environmental science & policy**, v. 48, p. 186 – 195, 2015.

KEARNS, J. Five-Gallon Bucket Filter for Rooftop Harvested Rainwater. **Aqueous Solutions**, p. 1-10, 2008.

KEMERICH, P. D. C.; RUOSO JUNIOR, H. Filtros para água da chuva: análise de eficiência. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 7, p. 201-210, 2010.

KERAITA, B.; DRECHSEL, P.; KONRADSEN, F.; VREUGDENHIL, R.C. Potential of simple filters to improve microbial quality of irrigation water used in urban vegetable farming in Ghana. **Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering**, v. 43, p. 749–55, 2008.

KRUTI, J.; SHILPA, D. Solar Water Disinfection under real conditions with or without Solar collector. **Journal of Environmental Research and Development**. v. 7, n. 2A, 2012.

KUS, B.; KANDASAMY, J.; VIGNESWARAN, S.; SHON, H. K. Water quality in rainwater tanks in rural and metropolitan areas of new south wales, Australia. **Journal of Water Sustainability**, v. 1, n.1, p. 33–43, 2011.

KWAADSTENIET, M.; DOBROWSKY, P. H.; DEVENTER, A.; KHAN, W.; CLOETE, T. E. Domestic rainwater harvesting: microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems. **Water Air Soil Pollut**, v. 224, n. 7, p. 1-19, 2013.

LANTAGNE, S.; Quick, R.; MINTZ, E.D. **Household water treatment and safe. Storage Options in Developing Countries. A Review of Current Implementation Practices**. Woodrows, Wilson International Center for Scholars, USA, 2007.

LAWSON, S.; LABRANCHE-TUCKER, A.; OTTO-WACK, A.; HALL, R.; SOJKA, B.; CRAWFORD, E.; CRAWFORD, D.; BRAND. C. **Virginia Rainwater Harvesting Manual (2nd Edition)**, 2009.

LEE, J. Y.; BAK, G.; HAN, M. Quality of Roof-Harvested Rainwater: comparison of different roofing materials. **Environmental Pollution**, v. 162, p. 422-429, 2012.

LEE, J. Y. et al. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. **Science of Total Environment**, Spain, v. 408, n. 4, p. 896-905, Jan. 2010.

LIMA, F. C. **Aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis - conjunto Kosmos - Curitiba-PR**. 2011. 27 f. Curso de Pós-Graduação MBA em Gestão Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE, 2012.

LIMA, J.C.A.L.; ALVES, F.H.B.; FIGUEIRAS, M.L.; LUCENA, L.M.; SANTOS, S.M.; PESSÔA, S.G.S. Dispositivos para melhoria da qualidade da água armazenada em cisternas do semiárido de Pernambuco - desenvolvimento tecnológico e avaliação de desempenho. In: **XIV World Water Congress**, Porto de Galinhas, 2011.

LORENZETE, H.H.O. **Estudo de vantagens da captação de água de chuva para uso doméstico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Gestão Ambiental na Empresa. Faculdade de Administração e Artes de Limeira. Limeira-SP, 2011.

LOUREIRO, L. F. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4 – D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 2012.

LOGSDON, G.S.; KOHNE, R.; ABEL, S.; LABONDE, S. Slow sand filtration for small water systems. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v.1. Issue 5, p.339-348, 2002.

LUNA, Y.H.D.M; SANTANA, N.C.B; ANJOS JÚNIOR, R.M; ATHAYDE JÚNIOR, G.B. Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. **GESTA**, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2014.

MACKINTOSH, G.; COLVIN, C. Failure of rural schemes in South Africa to provide potable water. **Environmental Geology**, v. 44, p. 101–105, 2003.

MARCELINO, S.C. **Zooplâncton como bioindicadores do estado trófico na seleção de áreas aquícolas para piscicultura em tanque - rede no reservatório da UHE Pedra no Rio de Contas, Jequié – BA**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

MARTINS, B.M. **Aproveitamento de água da chuva para fins não-potáveis em Brasília-DF: aspectos políticos e ambientais**. 57 f. Dissertação de mestrado – Universidade Camilo Castelo Branco, São Paulo, 2014.

MARTINS, D.C. **Qualidade de água de chuva no município de Fernandópolis- Sp**. 64 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2014.

MARZOLF, R.G. Reservoir as environments for zooplankton. In: Thornton, K.W. Perspectives on reservoir limnology. In: Thornton, K.W.; Kimmel, B.L. & Payne, F.E. (eds). **Reservoir Limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons, p.195-208, 1990.

MATOS, M.A. **Avaliação de risco em sistemas de captação e tratamento de água da chuva na Região metropolitana de Belém/Pará.** Belém. 100 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

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

MEERA, V.M.; AHAMMED, M. Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. **Journal of Water Supply: Research and Technology.** v. 55, p. 257-268, 2006.

MELO, N.F.A.C; PAIVA, R.S.; SILVA, M.M.T. Considerações ecológicas sobre o zooplâncton do lago Bolonha, Belém, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais,** Belém, v. 1, n. 1, p. 115-125, 2006.

MELO ROCHA, B.C.C.; REIS, R.P.A.; ARAÚJO, J.V.G. Avaliação de sistema de tratamento de águas de chuva coletadas em telhado de cimento amianto, utilizando filtração e desinfecção por uv e cloro. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil,** v. 1, n.3, p. 12-18, 2011.

MENDEZ, C.B.; KLENZENDORF, J.B.; AFSHAR, B.R.; SIMMONS, M.T.; BARRETT, M.E.; KINNEY, K.A.; KIRISITS, M.J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Res.** v. 45, p. 2049–2059, 2011.

MENEZES, E.C.P. Avaliação da qualidade de água em sistema de aproveitamento pluvial implantado na universidade federal do pará. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

MCGUIGAN, K.G.; CONROY, R.M.; MOSLER, H.J.; PREEZ, M.; UBOMBA-JASWA, E.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P. Solar Water Disinfection (SODIS): A Review From Bench-Top to Roof-Top. **Journal of Hazardous Materials,** v. 235–236, p. 29-46, 2012.

MONTEIRO, M.D.R.; MELO, N.F.A.C.; ALVES, M.A.M.S.; PAIVA, R.S. Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.,** Belém, v. 4, n. 3, p. 341-351, 2009.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments.** 8th ed. New York: John Wiley and Sons, 2012.

MOON, S.H.; LEE, J.Y.; LEE, B.J.; PARK, K.H.; JO, Y.-J. Quality of harvested rainwater in artificial recharge site on Jeju volcanic island, Korea. **J. Hydrol.** v. 414-415, p. 268-277, 2012

MOREIRA NETO, Ronan Fernandes et al. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: efficiency and costs. **Resources, Conservation and Recycling**, Illinois, v. 65, p. 124-129, ago. 2012.

MORENO-PIRAJÁNA, J.C.; GIRALDO, L. Adsorption of copper from aqueous solution by activated carbons obtained by pyrolysis of cassava peel. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 87, p.188–193, 2010.

MORROW, A.C., DUNSTAN, R.H., COOMBES, P.J. Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. **Sci. Total Environ.** v.408 (20), p. 4542–4548, 2010.

MURAKAMI, M.F.; MORUZZI, R.B. avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para Tratamento de água pluvial empregando a filtração direta por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário. **Ciência & Engenharia**, v. 22, p. 37-45, 2013.

MURTHA, N. A.; HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 8, n. 4, p. 257-267, out./dez. 2003.

NADDEO, V.; BELGIORNO, V. Tertiary filtration in small wastewater treatment plants. **Water Sci. Technol.** v. 55, p. 219–225, 2007.

NADDEO, Vincenzo; SCANNAPIECO, Davide; BELGIORNO, Vincenzo. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. **Journal of Hydrology**, United States, v. 498, p. 287-291, Aug. 2013.

NAGAISHI, T. Y. R. **Açaí (Euterpe oleracea mart): extrativismo, características, energia e renda em uma comunidade na Ilha de Marajó/ Pa.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

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

NASCIMENTO, V.S.F.; ARAÚJO, M.F.F. Ocorrência de bactérias patogênicas oportunistas em um reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 91–104, 2013.

NAWAZ, M.; AMIN, M.T.; HAN, M.; ALAZBA, A.A.; MANZOOR, U.; AMIN, M.N. Variation of *Pseudomonas aeruginosa* in Rainwater harvesting systems: effects of seasons, catchments and storage conditions. **Clean Soil Air Water**, v. 42, p. 893–900, 2014.

NGUYEN-DEROUCHE, T.L.N.; SAAD, M.; GROMAIRE, M.; MOULIN, L.; LUCAS, F. Quality of roof harvested rainwater from houses in Île-de-France area, France. **15° International Rainwater Catchment Systems Conference**, Taiwan, R.O.C, March 28–April 4, 2011

NOGRADY, T., WALLACE, R.L. & SNELL, T.W. Rotifera: biology, ecology and systematics. In: Dumont, H.J.F. (coord.) Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. **SPB Academic Publishing, Netherlands**. v.1, 142p, 1993.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, p. 168-207, 2009.

OLAOYE, R. A.; OLANIYAN, O. S. Quality of Rainwater From Different Roof Material. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. 8, p. 1413-1421, 2012.

OLIVEIRA, P. A et al. **Aproveitamento da água da chuva na produção de suínos e aves**. Embrapa, Concórdia, 2012.

OLIVEIRA, F.R.; GAVÃO, D.T.O.; MENDES, A.A.; ROCHA, A.P.M; VICENTE, M.R.; SANTOS, R.M. Qualidade da água de cisternas de captação de água da chuva no município de Salinas – MG. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília-DF, 2015.

OLIVEIRA NETO, A. L. de; MORENO, I. H. Rotíferos. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. de M. (Org.). Biodiversidade do Estado de São Paulo, **Brasil: invertebrados de água doce**. v. 4, p. 39-52, São Paulo: FAPESP, 1999.

ONU. **Relatório do desenvolvimento humano**. Programa Nacional das Nações Unidas. 2013.

PAGGI, S. J. de. Rotíferos – aspectos metodológicos. **Workshop Invertebrados de água doce neotropicais**, 1995.

PAERL H.W.; FULTON, R.S.; MONSAINDER, P.H.; DYBLE, J. Harmful freshwater algal florações, with emphasis on Cyanobacteria. **Scient World**, v. 1, p. 76-113, 2001.

PALHARES, J.C.P.; GUIDONI, A.L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. **Revista Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 1, p. 244-254, 2012.

PEREIRA, E.N.; RODRIGUEZ JUNIOR, V.C. Carvão do caroço de açaí (euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo. **Prêmio Jovem Cientista**. 2013, Pará.

PEREIRA NETO, S.; ARANTES, E.J.; OLIVEIRA, R.M.S. Tratamento de água de chuva utilizando processos de filtração e desinfecção. **73º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC**, Foz do Iguaçu-PR, 2016.

PETERS, M. R. **Potencialidade de usos de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 2006. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2006.

PHILIPPI, L.S. et al. Aproveitamento da água de chuva. In: Gonçalves, R. F.(Coord.) **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 73-152.

PICCOLI, R.A. **Análise físico-química da qualidade das águas pluviais: estudo de caso - Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira , Rio Comprido – RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UERJ, 2014.

PIGRAM, J.J. **Australia's Water Resources: From Use to Management**. **CSIRO Publishing, Collingwood**, Victoria, 2007.

PIZARRO CABELLO. F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 513 p. 1996.

POURRIOT, R. Food and feeding habitats of Rotifera. **Arch. Hydrobiol. Beih.**, v. 8, p. 143-160, 1997.

RAHMAT, S.N.B.; ALI, Z.M.; MUSA, S. Treatment of rainwater quality using sand filter. **International Conference on Environment**, Penang-Malasya, 2008

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETO, J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Editora Blucher, São Paulo-SP, 1991.

ROCHA, Bárbara Cristina; REIS, Ricardo Prado Abreu; ARAÚJO, José Vicente Granato. Caracterização de Águas de Chuva Coletadas em Coberturas de Diferentes Materiais Visando a Concepção de Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água. In: **Congresso de pesquisa ensino e extensão, 6.**, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2009.

RODRIGUEZ, P.S.B. **Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis em sanitário público**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – UFMS, 2012.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. The diatoms: biology and morphology of the genera. New York, **Cambridge University Press**, p. 1-747, 1990.

SALCEDO RAMIZES, J.C. **Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2010.

SANCEY, B.; TRUNFIO, G.; CHARLES, J.; MINARY, J.F.; GAVOILLE, S.; BADOT, P.M.; CRINI, G. Heavy metal removal from industrial effluents by sorption on cross-linked starch: Chemical study and impact on water toxicity. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.765-772, 2011

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

SANDRI, E.K. **Qualidade de água de chuva e utilização da radiação ultravioleta para sua desinfecção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

SANTANA, N.C.B. **Qualidade das águas de chuva em João Pessoa-PB: estudo comparativo com padrões de qualidade para uso residencial**. Dissertação de mestrado – Universidade federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R.; SOUZA R.C.R. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência; 2006.

SANTOS, R. M., ROCHA, G. S., ROCHA, O.; SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. Influence of net cage fish cultures on the diversity of the zooplankton community in the Furnas hydroelectric reservoir, Areado, MG, Brazil. **Aquaculture Research**, vol. 40, p. 753-776, 2009.

SANTOS, J.L. **Potencial de aproveitamento de água de chuva na produção de leite – um estudo de caso**. Dissertação de mestrado (Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SANTOS, L.O; BARBOSA, S.A; RIBEIRO, W.F. Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente** Aracaju. v.5, p. 163 – 172, 2016

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, New Zealand, v. 4, n. 9, p. 2039–2047, May. 2007.

SENS, M.L. ET. AL. Filtration-adsorption d'eau à potabiliser sur mousse polyuréthane imprégnée de charbon actif. **T. S. M., [ s.l. ]** , n.5, p.41-46, 1993.

SILVA, C.V. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenado em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, Priscila Souza. **Potencial de Captação e Qualidade da Água de Chuva na Região Metropolitana de Belém**. 2013. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SILVA, F.A. **Aproveitamento da água da chuva após tratamento por filtração ascendente e radiação ultravioleta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVA, R.V.T.O. **Resíduos de coco, acerola e caju para produção de carvão ativado**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento de processos ambientais). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2015.

SILVA, S.T.B; ARAÚJO, L.F; ALMEIDA, A.J.G.A; GAVAZZA, S; SANTOS, S.M. comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias para proteção de cisternas. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, v. 31, p. 1 -11, 2017.

SILVEIRA, F. A. **Viabilidade Técnica Para o Aproveitamento da Água da Chuva em Rio Negrinho/SC**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2008.

SILVEIRA, A.B.G. Explorando o déficit em saneamento no Brasil: evidências da disparidade urbano-rural. **Paranoá**, Brasília, v. 10, p. 37-48, 2013.

SIMMONS, Greg et al. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland. **Water Research**, New Zealand, v. 35, n. 6, p. 1518-1524, Apr. 2001.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; ROCHA, O. **Produção de plâncton (fitoplancton e zooplancton) para alimentação de organismos aquáticos**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2001. 106p.

SIVANAPPAN, R. K. Technologies for water harvesting and soil moisture conservation in small watersheds for small-scale irrigation. in FAO (ed): Irrigation Technology Transfer in Support of Food Security. **(Water Reports - 14), Proceedings of a subregional workshop**, Harare, Zimbabwe, 14-17, 1997.

SIVER, P. A.; HAMILTON, P. B.; PELCZAR, J. New species of freshwater diatoms from acidic localities along the Atlantic Coastal Plain of the United States. **Botany**, v. 87, n. 4, p. 49-427, 2009.

SOBSEY, M.D. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. **Water, Sanitation and Health**. Department of Protection of the Human Environment, World Health Organization, v. 1, p. 1–70, 2002

SOBSEY, M.D.; STAUBER, C.E.; CASANOVA, L.M.; BROWN, J.M.; ELLIOTT, M.A. Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. **Environ. Sci. Technol.** v. 42, n. 12, p. 4261–4426, 2008.

SOUSA, F.G. **Influencia do diâmetro efetivo do meio filtrante em filtros lentos retrolaváveis.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SOUSA, F.P. Sistema de captação, armazenamento, tratamento e distribuição de água de chuva. In: **II Workshop internacional sobre água no semiárido brasileiro**, Campina Grade-PB, 2015.

SOUSA, M.S. **Produção, caracterização e aplicação do carvão ativado de caroço de açaí como material filtrante para o tratamento de água da chuva.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SOUZA, S.H.B. **Avaliação da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva no Semiárido Pernambucano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SOUZA, I. Alternativas tecnológicas voltadas para captação de águas pluviais buscam diminuir o contraste entre a abundância e a escassez de água na região amazônica. **Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Pará**, Belém, v. 2, n. 4, p. 24-33, jun./set. 2013.

SOUZA, T.N.V.; SOUZA, R.N.O.; SILVA, D.L.; CARVALHO, S.M.L. Identificação de grupos funcionais de superfície de materiais carbonáceos, uma contribuição à disciplina química analítica. In: **14º encontro de profissionais de química da Amazônia**, Belém, 2015.

STENSTROM, M. K.; KAYHANIAN, M. **First Flush Phenomenon Characterization; California Department of Transportation**, Di-vision of Environmental Analysis: Sacramento, California, 2005.

TAMIOSSO, C.F.; JOBIM, A.L.; MACIEL, A.V.; KEMERICH, P.D.C. Captação da água da chuva no laboratório de engenharia ambiental. **Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, S. Maria, v. 8, n. 1, p. 25-37, 2007.

TAVARES, A.C. **Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais do semi-árido paraibano.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

TELES, I.M.O.; FURTADO, D.M.S.; Elaboração de um filtro oriundo do caroço da manga no tratamento e qualidade da água obtida para consumo humano. **XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, João Pessoa-PB, 2016.

TESTON, A. **Aproveitamento de água de chuva: um estudo qualitativo entre os principais sistemas**. Monografia (Especialista em Construções sustentáveis) – UTFPR, Curitiba, 2012.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting** – 3º edição. Austin, Texas, 2005.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting** – 5º edição. Austin, Texas, 2009.

THOMAS, K. Fungi of Australia. Australian Biological Resources, Canberra. Freshwater fungi. **Grgurinovicm**, p. 1-37,1996.

THOMAS, R.B.; KIRISITS, M.J.; LYE, D.J.; KINNEY, K.A. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 166-173, 2013.

TIMMS, S.; SLADE, J.S.; FRICKER, C.R. Removal of Cryptosporidium by slow sand filtration. **Water Science and Technology**, v. 31, p. 81–4, 1995.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. Navegar Editora, São Paulo, 2003

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2ª ed., 180p, 2005.

TSAKIRIS, G. *et al.* A system-based paradigm of drought analysis for operational management. **Water Resource. Manage**, v. 27, p. 5281-5297, 2009.

TURAN. M.; SABAH. E.; GULSEN. H. Influence of media characteristic on energy dissipation in filter backwashing. **Enviromental science & technology**. v. 37, n.18, p. 4288-4292, 2003.

VAN LOON, A.F.; VAN LANEN, H.A.J. Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework. **Water Resour. Res**, v. 49, 2013.

VALLE, J. A. B. et al. Aproveitamento de água de chuva. In: **Congresso de engenharia sanitária e ambiental**, Campo Grande, 2005.

VAN VLIET, M.T.H. *et al.* Global river discharge and water temperature underclimate change. **Glob, Environ. Change**, v. 23, p. 450-464, 2013.

VELOSO, Nircele da Silva Leal; MENDES Ronaldo Lopes Rodrigues. Aproveitamento da água da chuva em escala local: o caso das ilhas de Belém/PA. In: **Simpósio brasileiro de captação e armazenamento de água de chuva**, 8., 2012, Paraíba. **Anais...** Paraíba: Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, 2012.

VELOSO, N.S.L.; GONÇALVES, C.C.; MENDES, R.L.R.; SOBRINHO, M.V.; COSTA, T.C.D.; OLIVEIRA, D.R.C.; A pós-graduação e a sustentabilidade do abastecimento de comunidades ribeirinhas na Amazônia por meio de água de chuva: da concepção à ação. **RBPG**, V. 10, n.21, p. 761-791, Brasília, 2013.

VIALLE, C. et al. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, New Zealand, v. 45, n. 12, p. 3765-3775, Jun. 2011.

VIDACOVICH, K. Dispositivos para descarte inicial (“first flush”) das chuvas: comparações entre modelos. **ECO Services International**, 11p, 2004.

VIEIRA, A.S., Weeber, M., Ghisi, E. Self-cleaning filtration: a novel concept for rainwater harvesting systems. **Resour. Conserv. Recycl.** v.78, p. 67–73, 2013.

VÖRÖSMARTRY, C.J. *et al.* Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. **Science**, v. 289, p. 284-288, 2000.

VÖRÖSMARTRY, C.J. *et al.* Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, p. 555-561, 2010.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D., Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Research**, New Zealand, v. 46, n. 16, p. 5127-5134, Oct. 2012.

WEIERBACHER, L. **Estudo de captação e aproveitamento de água da chuva na indústria moveleira bento móveis de alvorada** – ULBRA, Canoas, RS, 2008.

WILBERS, Gert-Jan et al. Effects of local and spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam. **Environmental Pollution**, United States, v. 182, p. 225-232, Nov. 2013.

WOESE, C.R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M.L. Towards a natural system of organisms: proposal for domains Archaea, Bacteria and Eucarya. **Proc. Natl. Acad. USA**. v. 8, p. 4576-4579, 1990.

WONG, K.M.K.; GOH, T.K.; HODGKISS, I.J.; HYDE, K.D.; RANGHOO, V.M.; TSUI, C.M.K.; HO, W.H.; WONG, W.S.; YUEN, T.C. The role of fungi in freshwater ecosystems. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 1187-1206, 1998.

WORM, J; HATTTUM, T.V. **Recolha de água da chuva para uso doméstico**. Agromisa, 2006.

XAVIER, R.P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

XAVIER, M.I.C.; SATURNO, T.T.; DOS SANTOS, M.A.F.; TORRES, D.M. Qualidade de água armazenada em cisternas rurais no município de Princesa Isabel/PB. In: **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Natal, 2014.

YANG, Y.; YANG, H.; ZHANG, G.; DANG, R. Study on Cellar Rainwater Treated by different size BAC in Villages and Towns of Northwestern China. **Asia-Pacific Energy Equipment Engineering Research Conference**, p. 190-193, 2015.

Yaziz, M.I.; Gunting, H.; Sapari, N.; Ghazali, A.W. Variations in rainwater quality from roof catchments. **Water Res.** v. 23, p. 761–765, 1989.

Zerbinatti, Oberdan Everton et. al. **Qualidade da água proveniente da chuva coletada em diferentes tipos de telhados** – 2011

ZIPF, M.S; KNOP, B; PINHEIRO, I.G; VALLE, J.A.B. Avaliação da influência do descarte da primeira água de chuva, do tratamento por filtro lento e da altura da camada filtrante na qualidade da água de chuva. **Revista de estudos ambientais**, v. 15, p. 31-43, 2013.

**ANEXO A – PLANILHA DE CUSTO DE INSUMOS DAS ALTERNATIVAS DE  
FILTROS INSTALADOS NA UETAC**

Base: Cotações de preços – julho/2017.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE.	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
<b>1</b>	<b>RESERVATÓRIO DE ÁGUA COM ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI</b>				
1.1	Caixa d'agua fibra de vidro 500 L	UN	1	R\$ 179,90	R\$ 179,90
1.2	Esteio (15 x 15cm) L= 3 m	UN	4	R\$ 91,44	R\$ 365,76
1.3	Flechau 2 x 4	UN	8	R\$ 6,54	R\$ 52,32
1.4	Adaptador pvc soldavel flanges livres p/ caixa d' agua 50mm x 1 1/2"	UN	2,00	R\$ 25,60	R\$ 51,20
1.5	Registro pvc esfera vs soldavel dn 50	UN	2,00	R\$ 13,50	R\$ 27,00
1.6	Tubo pvc soldavel eb-892 p/agua fria predial dn 50mm	VARA	1,00	R\$ 66,00	R\$ 66,00
1.7	Fita veda rosca em rolos 18mmx25m	UN	2,00	R\$ 5,10	R\$ 10,20
1.8	Solucao limpadora frasco plastico c/ 1000cm3	UN	1,00	R\$ 27,10	R\$ 27,10
1.9	Adesivo pvc frasco c/ 850g	UN	1,00	R\$ 30,90	R\$ 30,90
<b>Total do Item do 1</b>					<b>R\$ 810,38</b>
<b>2</b>	<b>CALHAS E CONDUTORES</b>				
2.1	Suporte zincado dobrado aquapluv (pvc-tigre)	UN	14	R\$ 15,85	R\$ 221,90
2.2	Cabeceira direita pvc aquapluv d = 125 mm	UN	1	R\$ 10,90	R\$ 10,90
2.3	Cabeceira esquerda pvc aquapluv d = 125 mm	UN	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
2.4	Calha pvc aquapluv dn = 125 mm c/ 3,00 m de comp tigre 88 mm ou amanco 100 mm	UN	3	R\$ 62,30	R\$ 186,90
2.5	Emenda mr pvc aquapluv d = 125 mm	UN	3	R\$ 21,80	R\$ 65,40
2.6	Bocal mr pvc aquapluv d = 125 x 88 mm	UN	1	R\$ 32,50	R\$ 32,50
2.7	Luva simples esg. Série normal dn 75 mm	UN	1	R\$ 3,30	R\$ 3,30
<b>Total do Item do 2</b>					<b>R\$ 540,90</b>
<b>3</b>	<b>DISPOSITIVO DE AUTOLIMPEZA</b>				
3.1	Tê Redução Esgoto Série Normal DN 100x75	UN	3	R\$ 10,90	R\$ 32,70
3.2	Tubo Esgoto de PVC Esgoto Série Normal DN 100 (mM)	VARA	1	R\$ 56,20	R\$ 56,20
3.3	Tubo Esgoto de PVC Esgoto Série Normal DN 75 (mM)	VARA	1	R\$ 34,80	R\$ 34,80

3.4	Anel de Vedação Esgoto DN 75	UN	5	R\$ 1,30	R\$ 6,50
3.5	Anel de Vedação Esgoto DN 100	UN	3	R\$ 1,50	R\$ 4,50
3.6	Joelho 90° Esg. Série Normal DN 100	UN	2	R\$ 5,90	R\$ 11,80
3.7	Luva Simples Esg. Série Normal DN 100	UN	2	R\$ 4,10	R\$ 8,20
3.8	Anel de Vedação Esgoto DN 50	UN	1	R\$ 0,80	R\$ 0,80
3.9	Adaptador curto para caixa d'água soldável dn 20 x 1/2 (para conectar em tubo soldável)	UN	3	R\$ 0,55	R\$ 1,65
3.10	Joelho 90° PVC água fria s.r.m. com bucha de latão DN 20 x 1/2"	UN	3	R\$ 4,75	R\$ 14,25
3.11	Torneira metal para jardim	UN	3	R\$ 3,10	R\$ 9,30
<b>Total do Item do 3</b>					<b>R\$ 180,70</b>
<b>4</b>	<b>FILTRO EM PVC</b>				
<b>4.1</b>	<b>Hidráulico</b>				
4.1	Adaptador curto para caixa d'água soldável dn 50 x 1 1/2 (para conectar em tubo soldável)	UN	2	R\$ 2,60	R\$ 5,20
4.2	Joelho 90° PVC água fria DN 50	UN	2	R\$ 3,35	R\$ 6,70
4.3	Tubo PVC água fria DN 50 (m)	VARA	1	R\$ 66,00	R\$ 66,00
4.4	Registro de esfera	UN	2	R\$ 35,80	R\$ 71,60
4.5	Redução excêntrica dn 75 x100 mm	UN	2	R\$ 5,30	R\$ 10,60
4.6	Anel de Vedação Esgoto DN 100	UN	4	R\$ 1,50	R\$ 6,00
4.7	Tê Esgoto Série Normal DN 100x100	UN	2	R\$ 10,20	R\$ 20,40
4.8	Luva Simples Esg. Série Normal DN 100	UN	2	R\$ 4,10	R\$ 8,20
4.9	Tubo Esgoto de PVC Esgoto Série Normal DN 100 (m)	VARA	1	R\$ 56,20	R\$ 56,20
4.10	Joelho 90° Esg. Série Normal DN 100	UN	2	R\$ 5,60	R\$ 11,20
4.11	Cap Esgoto Série Normal DN 100	UN	2	R\$ 7,20	R\$ 14,40
4.12	Torneira metal para jardim	UN	4	R\$ 3,10	R\$ 12,40
4.13	Adaptador curto para caixa d'água soldável dn 20 x 1/2 (para conectar em tubo soldável)	UN	2	R\$ 0,55	R\$ 1,10
4.14	Joelho 90° PVC água fria s.r.m. com bucha de latão DN 20 x 1/2"	UN	2	R\$ 4,75	R\$ 9,50
4.15	Tubo PVC água fria DN 20 mm	VARA	1	R\$ 18,30	R\$ 18,30
<b>Total do Item do 4.1</b>					<b>R\$ 317,80</b>
<b>4.2</b>	<b>Material filtrante do filtro misto</b>				
4.2.1	Areia para leito filtrante e carvão ativado a base de caroço de açai ativado quimicamente, preparado em laboratório, mais seixo para composição da camada torpedo	Compo sição	1	R\$ 49,28	R\$ 49,28

<b>Total do Item do 4.2</b>					<b>R\$ 49,28</b>
<b>4.3</b>	<b>Material filtrante do filtro de carvão ativado</b>				
4.3.1	carvão ativado a base de caroço de açaí ativado quimicamente, preparado em laboratório, mais seixo para composição da camada torpedo	Compo sição	1	R\$ 98,52	R\$ 98,52
<b>Total do Item do 4.3</b>					<b>R\$ 98,52</b>
<b>Total</b>	<b>Alternativa de sistema com uso de filtro misto</b>				<b>R\$ 1.899,06</b>
	<b>Alternativa de sistema com uso de filtro de carvão ativado a base de caroço de açaí</b>				<b>R\$ 1.948,30</b>