



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

EDILAINE CRISTINA PAMPLONA MENEZES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA IMPLANTADO NA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARÁ.**

Belém/PA  
2016

EDILAINÉ CRISTINA PAMPLONA MENEZES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA IMPLANTADO NA 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/PA  
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Menezes, Edilaine Cristina Pamplona, 1983-  
Avaliação da qualidade da água da chuva em sistema  
de aproveitamento de água de chuva implantado na  
Universidade Federal do Pará / Edilaine Cristina  
Pamplona Menezes. - 2016.

Orientadora: Luiza Carla Girard Mendes  
Teixeira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Belém, 2016.

1. Águas pluviais-Qualidade. 2. Águas  
pluviais-Tratamento. 3. Águas pluviais-Reuso. 4.  
Águas pluviais-Captação. I. Título.

CDD 22. ed. 628.16

---



**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM SISTEMA  
DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA IMPLANTADO NA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

AUTORA:

**EDILAINE CRISTINA PAMPLONA MENEZES**

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.ª Dr.ª Luíza Carla Girard Mendes Teixeira  
Orientadora (UFPA)

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Membro Interno (UFPA)

Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz  
Membro Externo (UFPA)

Visto:

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

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por todas as graças, agradeço também a todas as pessoas que contribuíram para o alcance dessa meta.

Dentre todas essas pessoas, dedico eterna gratidão, em especial, aos meus professores Luiza Girard pela orientação e Edson Ramos pela co-orientação, bem como aos que compuseram a minha banca de qualificação.

À minha família pelo apoio, em especial a Maria Luiza Carvalho e Saulo Carvalho e por todo o apoio que tive.

Aos bolsistas do projeto “Aproveitamento de água de chuva em áreas rurais do Pará” Lúgia Tavares, Marina Correa, Monica Sousa, Danilo Oliveira, Igor Campos, Karissa Auad, Andrelle Faria, Mateus que foram impecáveis na operacionalização do projeto.

À Prefeitura Multicampi da UFPA, em especial ao engenheiro Gabriel Hiromite.

Ao Engenheiro Edvaldo Silva, da Companhia de Saneamento do Pará, ao Professor Dr. Marcelo Picanço da Faculdade de Engenharia Civil e ao técnico do laboratório de Construção Civil da UFPA, Sr Manoel por contribuírem com a preparação e caracterização do meio filtrante granular utilizado no filtro de areia.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFPA e aos meus amigos do mestrado, Raynner Menezes, Vanessa Feio, Paulo Rodrigo da Costa, Andreza Acioly, Layla Maria Gomes, Laila Rebeca, Lariana Barra, Emerson Sarmanho, Edgleuberson Guimarães, Roberto Correa, Raphael Sampaio.

À Vergam Consultoria pela normalização deste trabalho.

## RESUMO

A utilização da água de chuva possui longa data e constitui uma alternativa de abastecimento de água em regiões urbanas ou rurais, contribuindo para a descentralização técnica do suprimento doméstico. Assim, este trabalho teve como objetivo principal o estudo qualitativo de uma unidade piloto de aproveitamento de água da chuva, onde os valores de cada ponto do sistema foram comparados com a portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) e OMS (WHO, 2011). A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: a primeira teve como objetivo o projeto e a construção da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva. Na segunda etapa foi realizada avaliação das diferenças qualitativas proporcionadas pelas abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm, com observância também dos pontos na atmosfera e calha, para as variáveis cor aparente, pH, turbidez e condutividade elétrica. Na terceira etapa foram realizadas coletas na atmosfera, calha, abstração inicial de 1mm, reservação, FA e FB, para as variáveis anteriores acrescidas de alcalinidade, coliformes totais e *E.coli*. Os resultados apontaram que, na segunda etapa, a abstração de 1 mm obteve melhor desempenho qualitativo dentre as demais, em relação a calha, pois apresentou reduções significativas para as variáveis cor aparente ( $16,7 \pm 8,3$  UC), turbidez ( $5,4 \pm 4,7$  UNT) e condutividade elétrica ( $20,7 \pm 13,8$   $\mu\text{s/cm}$ ), exceto para o pH ( $5,7 \pm 0,2$ ). Na terceira etapa foi verificado que a calha foi um importante marco qualitativo no sistema onde houve redução significativa das variáveis turbidez ( $1,8 \pm 0,9$  UNT), pH ( $5,6 \pm 0,1$ ) e coliformes totais ( $963 \pm 1092$  NMP/100 ml) ao interceptar a referida superfície. Entretanto não houve redução significativa para cor aparente, condutividade elétrica, alcalinidade e para *E.coli* houve aumento neste ponto. Na abstração de 1 mm verificou-se um aumento turbidez, coliformes totais e *E.coli* devido ao efeito retentor de sólidos deste ponto. A reservação implicou em redução da turbidez e aumento significativo do pH. Em relação à filtração, conclui-se que o FB apresentou melhor desempenho se comparado ao FA, sobretudo para as variáveis turbidez e bactérias do grupo coliforme, além de elevar o pH da água, mantendo-o dentro dos limites seguros de potabilidade, em relação à reservação. Para o padrão microbiológico, foi verificada a necessidade de desinfecção para ambos os casos da filtração. Assim, o sistema com o FB produziu efluentes médios de cor aparente no valor de ( $8,9 \pm 5,4$  UC) turbidez ( $0,7 \pm 0,5$  UNT) e pH ( $7,9 \pm 1,1$ ), atendendo ao recomendado pela portaria no 2914 (BRASIL,2011) e OMS (WHO, 2011). A melhor configuração do sistema foi aquela que combinou com o FB, sendo também a que apresentou menor custo.

**Palavras-chave:** Qualidade de água da chuva. Abstração inicial da chuva. Tratamento de água da chuva.

## ABSTRACT

Rainwater utilization has a long time use and offers a water supply alternative either in urban or rural regions, helping for technical decentralization. Thus, this work had as objective the qualitative study from a pilot unity of rainwater harvesting, from which the values of each point of system were compared to Ordinance N° 2914/2011 (BRASIL, 2011) and OMS (WHO, 2011). The study was developed in three stages: rainwater harvesting and treatment design and construction. Qualitative differences assessment resulting from abstractions of 1 mm, 3 mm and 4 mm, including atmosphere and gutter collecting points as well, for the variables apparent colour, pH, turbidity and electrical conductivity. On the third stage were performed atmosphere, gutter, 1 mm initial abstraction, reservation, FA e FB, for the previous variables in addition of alkalinity, total coliforms and E. coli. Results pointed out that, in the second stage, the 1 mm abstraction had better qualitative performance between the other ones, related to gutter, because it has shown significant decrease for variables apparent colour ( $16,7 \pm 8,3$  HU), turbidity ( $5,4 \pm 4,7$  NTU) and electrical conductivity ( $20,7 \pm 13,8$   $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), except for pH ( $5,7 \pm 0,2$ ). In the third stage it was verified the gutter was an important qualitative mark in the system, due to significant reduction on the variables turbidity ( $1,8 \pm 0,9$  UNT), pH ( $5,6 \pm 0,1$ ) and total coliforms ( $963 \pm 1092$  CFU/100 ml) when intercepting such surface. However, there was no significant reduction for apparent colour, electrical conductivity, alkalinity and for E. coli there was an increase in this point. In 1 mm abstraction it was verified a turbidity increase, total coliforms and E. coli because the solid particles retaining effect. The reservation implied on decreasing turbidity and significant increase of pH. Regarding filtration, it was concluded FB presented a better performance compared FA, mainly for variables turbidity and coliform-group bacteria and elevated water pH as well, by keeping it in the potability safe range, regarding to reservation. Considering microbiologic patterns, it was verified the need of disinfection for both filtration cases. Thus, the rainwater harvesting system with FB produced mean effluents with apparent colour ( $8,9 \pm 5,4$  HU), turbidity ( $0,7 \pm 0,5$  UNT) and pH ( $7,9 \pm 1,1$ ) meeting the recommended standards of Ordinance n° 2914 (BRASIL, 2011) and OMS (WHO, 2011). The system's best configuration was that has combined with FB, being the low cost option as well.

**Keywords:** rainwater quality, rainwater initial abstraction, rainwater treatment



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de aproveitamento de água de chuva na Região das Ilhas em Belém, implantados pela Cáritas. Legenda 1) reservatório elevado, 2) telhado em fibrocimento, 3) piso da residência.....	21
Figura 2 - Aproveitamento de água de chuva – PROCHUVA (Amazonas).....	22
Figura 3 - Etapas do tratamento de água de chuva.....	23
Figura 4 - Alternativas para desinfecção. Legenda: 1) Reator Ultravioleta; 2 e 3) Garrafa exposta ao raio solar para desinfecção (SODIS).....	55
Figura 5 - Localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.....	61
Figura 6 - Fotografia da UETAC com identificação dos pontos de amostragem desta pesquisa: atmosfera, calha, abstração 1 mm, abstração 3 mm, reservatório (abstração 4 mm), FB e FA. Legenda: FA; filtro de areia, FB: filtro de barro.....	63
Figura 7 - Etapas do estudo para tratamento de água de chuva.....	64
Figura 8 - Fotografias das etapas da construção da UETAC: a) locação de obra e construção de estrutura (pilares); b) construção do madeiramento do telhado; c) construção da cobertura; d) construção da cerca metálica.....	65
Figura 9 - Fotografias das instalações hidráulicas da UETAC: a) montagem das abstrações; b) instalação das abstrações; c) instalação do reservatório de água; d) vista interna do sistema implantado.....	65
Figura 10 - Metodologia do tratamento estatístico dos dados.....	68
Figura 11 - Vista da UETAC com FA- 1) Perfil esquemático do FA, 2) fotografia do FA na UETAC.....	70
Figura 12 - Vista da UETAC com FB; 1) corte esquemático da UETAC com filtro de barro; 2) Fotografia do FB utilizado na pesquisa.....	71
Figura 13 - Box Plot para medianas das variáveis: 1) cor aparente, 2) turbidez, 3) condutividade elétrica, 4) pH, nos pontos de coleta: atmosfera, calha e abstrações de 1mm, 3mm e 4 milímetros de chuva.....	77
Figura 14 - Box plot da mediana para 1) cor aparente e 2) turbidez, ambos para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB. As letras diferentes representam as diferenças significantes entre os pontos de coleta, quando $p < 0,05$ .....	85
Figura 15 - Box plot da mediana para 1) CE, 2) pH 3) alcalinidade para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB...	89
Figura 16 - Box plot da mediana para 1) coliformes totais 2) E.coli, para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB.....	94
Figura 17 - Carreiras de filtração observada no período de 23/03/2015 a 16/06/2015: a) FA, b) FB.....	101
Figura 18 - Sistema de captação e tratamento de água de chuva com FB – opção selecionada neste trabalho.....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da revisão de estudos qualitativos de água de chuva, os autores e as respectivas localizações.....	26
Tabela 2 - Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas cerâmicas, as localidades e seus respectivos autores.....	30
Tabela 3 - Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas metálicas e seus respectivos autores.....	32
Tabela 4 - Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas em fibrocimento e seus respectivos autores.....	34
Tabela 5 - Síntese dos valores máximo e mínimo das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas em cerâmica, metal e fibrocimento.....	35
Tabela 6 - Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros na cobertura cerâmica e seus autores....	39
Tabela 7 - Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros nas coberturas metálicas e seus respectivos autores.....	41
Tabela 8 - Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros na cobertura cerâmica e seus respectivos autores.....	43
Tabela 9 - Resultados do estudo qualitativo da reservação da água de chuva e seus respectivos autores.....	45
Tabela 10 - Resultados do estudo qualitativo da filtração da água de chuva e seus respectivos autores.....	51
Tabela 11 - Resultados conclusivos do estudo qualitativo da desinfecção da água de chuva pelas técnicas SODIS e seus respectivos autores.....	57
Tabela 12 - Resultados do estudo qualitativo da desinfecção da água de chuva e seus respectivos autores.....	59
Tabela 13 - Pontos de coleta de amostras para a segunda etapa e justificativa.....	67
Tabela 14 - Variáveis e número de determinações de amostras por ponto de amostragem para a segunda etapa da pesquisa.....	67
Tabela 15 - Hipóteses nula e alternativa da 2a etapa deste trabalho.....	69
Tabela 16 - Pontos de coleta de amostras.....	69
Tabela 17 - Variáveis e número de determinações de amostras por ponto de amostragem.....	72
Tabela 18 - Hipóteses nula e alternativa da terceira etapas deste trabalho.....	73
Tabela 19 - Média $\pm$ desvio-padrão dos pontos: atmosfera, calha e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva.....	76
Tabela 20 - Resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e os valores obtidos na presente pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva)	78

Tabela 21 - Resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e os valores obtidos na presente pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 milímetros de chuva).....	79
Tabela 22 - Resultados verificados em outras pesquisas para a condutividade elétrica e os valores obtidos na presente pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 milímetros de chuva).....	80
Tabela 23 - Resultados verificados em outras pesquisas para o pH e os valores obtidos na presente pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva).....	81
Tabela 24 - Intervalo de confiança com 5% de significância das variáveis cor aparente, turbidez e pH, nos pontos atmosfera, calha, abstrações de 1, 3 e 4 mm.....	82
Tabela 25 - Média $\pm$ desvio-padrão dos pontos: atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB para a 3ª etapa.....	84
Tabela 26 - Resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e os valores verificados neste estudo (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).....	86
Tabela 27 - Resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e os valores verificados nesta pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).....	88
Tabela 28 - Resultados verificados em outras pesquisas para a condutividade elétrica e os valores obtidos na pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).....	90
Tabela 29 - Resultados verificados em outros estudos para o pH e os valores verificados nesta pesquisa (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).....	91
Tabela 30 - Resultados verificados em outras pesquisas para a alcalinidade e os valores verificados neste estudo (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).....	93
Tabela 31 - Resultados verificados em outras pesquisas para positividade em percentuais (%) e contagem em número mais provável de coliformes totais (NMP/100 ml) e os valores verificados neste estudo (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).....	96
Tabela 32 - Resultados verificados em outras pesquisas para positividade de E.coli (%) e os valores verificados neste estudo (média $\pm$ desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).....	97
Tabela 33 - Intervalo de confiança com 5% de significância das variáveis cor aparente, turbidez, pH, coliformes totais e fecais nos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB.....	98

Tabela 34 -Descrição estatística das variáveis analisadas e número de determinações antes e depois da desinfecção.....	103
Tabela 35 -Comparação de custo de implantação dos 2 filtros separadamente.....	103

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
AP1MC	Associação Programa 1 Milhão de Cisternas
CAMEBE	Cáritas Metropolitana de Belém
CE	Condutividade elétrica
CT	Coliformes totais
GESA	Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LAESA	Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental
LAMAG	Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas
LRV	Log de remoção de vírus
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome
NBR	Norma Brasileira
ONG	Organização Não Governamental
P1MC	Projeto Um Milhão de Cisternas
PROCHUVA	Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares, Aproveitamento e Armazenamento de Água de Chuva
SDS	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SODIS	Desinfecção Solar da Água
SST	Sólidos em Suspensão Totais
UETAC	Unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva
UFPA	Universidade Federal do Pará
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultra Violeta

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	18
<b>3.1</b>	<b>Água de chuva: importância e aplicações</b> .....	18
3.1.1	Importância .....	18
<b>3.2</b>	<b>Captação e tratamento de água de chuva</b> .....	22
3.2.1	Qualidade da água de chuva .....	24
3.2.2	Superfície de captação de água de chuva .....	29
3.2.2.1	<i>Coberturas cerâmicas</i> .....	29
3.2.2.2	<i>Coberturas metálicas</i> .....	31
3.2.2.3	<i>Coberturas em fibrocimento</i> .....	33
3.2.3	Abstração dos primeiros milímetros.....	37
3.2.4	Reservação .....	43
3.2.5	Filtração de água de chuva .....	47
3.2.6	Desinfecção .....	54
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	61
<b>4.1</b>	<b>Local de estudo</b> .....	61
<b>4.2</b>	<b>Caracterização da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC) e das etapas de tratamento</b> .....	62
<b>4.3</b>	<b>Etapas da pesquisa</b> .....	63
4.3.1	Primeira Etapa: Elaboração de projeto e execução da obra da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva .....	64
4.3.2	Segunda Etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha e abstrações de 1, 3 e 4 mm .....	66
4.3.3	Terceira etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha, abstração de 1mm, e dos dispositivos filtrantes (FA e FB) e proposição de lay-out de tratamento .....	69
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	75
<b>5.1</b>	<b>Resultados da 1ª Etapa: Elaboração de projeto e execução da obra da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva</b> .....	75
<b>5.2</b>	<b>Resultados da 2ª etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha e abstrações de 1, 3 e 4 mm</b> .....	76
<b>5.3</b>	<b>Terceira etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha, abstração de 1mm, e dos dispositivos filtrantes (FA e FB) e proposição de lay-out de tratamento</b> .....	83
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	105
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	107

<b>ANEXO A – PLANILHA DE CUSTO DE INSUMOS: ABSTRAÇÃO DE 1MM E FILTRO DE AREIA .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO B – PLANILHA DE CUSTO DE INSUMOS: ABSTRAÇÃO DE 1MM E FILTRO DE BARRO .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO C – PLANTA CORTE PARA FILTRO DE BARRO.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO D – PLANTA CORTE PARA FILTRO DE AREIA .....</b>	<b>123</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está localizado na maior bacia de água doce do mundo, onde paradoxalmente a escassez de águas se apresenta na forma qualitativa, notadamente em comunidades rurais, cujo domínio técnico de tratamento de água e o acesso geral aos serviços de saneamento tende a ser restrito. Esta situação proporciona uma maior incidência de doenças evitáveis relacionadas à água nas populações desatendidas por rede de distribuição de água potável.

As doenças de veiculação hídrica acometem populações sem acesso aos sistemas de saneamento e são consideradas uma das principais causas de mortalidade em vários lugares do mundo, principalmente àquela referente às crianças de 0 a 5 anos. De acordo com dados da OMS (BRASIL, 2012) cerca de 25 milhões de pessoas morrem por ano, no mundo, devido a doenças transmitidas pela água como cólera e diarreias.

As fontes de poluição podem ter origens natural ou antrópica e ensejam uma série de doenças. No estado do Pará, tem-se como exemplo as fortes pressões ocasionadas pelo despejo de efluentes diversos, como rejeitos de mineração e industriais, sendo que dosagens elevadas de metais são potencialmente agressivas e letais, como ocorre, por exemplo, nos rios Tapajós e Pará (BARBOSA; DÓREA, 1998; PINHEIRO, 2007; SILVA et al, 2009; MALM, 2010; LEMIRE et al, 2010). Tais efeitos podem dificultar ou inviabilizar o tratamento domiciliar e simplificado da água pelos ribeirinhos, que não são cobertos por rede de abastecimento de água potável.

Além do mais, os corpos d' água podem possuir características qualitativas decorrentes de um sugestivo aporte natural de poluentes, nos quais a elevada turbidez e acidez são previsíveis. Um exemplo é o teor de ferro encontrado nos rios por conta dos latossolos amarelos na Amazônia (SILVA et al, 2008). De acordo com Fernandes et al (2004), os latossolos brasileiros apresentam óxido de ferro que são carregados para o leito de corpos d'água por conta da elevada precipitação das regiões tropicais (MORAES et al, 2005). Valores elevados de turbidez e baixos pH, podem demandar a utilização de produtos químicos para garantir o atendimento à portaria nº 2914 (BRASIL, 2011).

Por conta dessa falta de cobertura de água potável em localidades periféricas e rurais, onde o sistema de abastecimento de água não atende, a utilização de água de chuva pode ser uma opção em potencial, conforme disposto



por Kahinda, Taigbenu e Boroto (2007) uma vez que, para captar água de corpos superficiais e/ou subterrâneos, populações se arriscam em busca de fontes inseguras e que possivelmente não possuem a qualidade requerida para o consumo humano. Embora a população brasileira possua 97% de cobertura de água, nas zonas rurais 42% da população não usufruem sequer uma fonte melhorada (BRASIL, 2012) o que motiva indivíduos a se deslocarem nas mais precárias formas para buscar água, que podem na sua maioria, não atender aos padrões qualitativos estabelecidos na portaria de potabilidade nº 2914 (BRASIL, 2011).

Assim, para vários municípios do Estado do Pará que possuem totais pluviométricos mensais médios de variando de 50 a 200 mm (SOUZA et al, 2007), o aproveitamento de água de chuva para as comunidades rurais, após o devido tratamento, pode ser uma fonte alternativa no abastecimento de água, tanto para uma solução unifamiliar, quanto para um pequeno aglomerado de unidades familiares, para atendimento de demandas micro localizadas. Além disso, outra vantagem de utilizar o sistema de aproveitamento de água de chuva é a possível dispensação da utilização de sistemas de bombeamento elétricos e disponibilização de ponto de água tratada na residência do beneficiário, garantindo água de qualidade e ajudando a minimizar esforços ergonomicamente incorretos. Usualmente a água coletada do telhado, desde que tratada, atinge níveis de potabilidade no que se refere a parâmetros físicos (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009), mas deve possuir desinfecção por causa do risco microbiológico.

A utilização de água de chuva pode trazer benefícios, para o caso de núcleos urbanos pode suplementar o abastecimento de água, aliviando o stress sobre os sistemas de abastecimento, bem como de drenagem urbana (ZHAO; XU, 2012). Para sistemas domiciliares tende a ter fácil operação, manutenção, baixo custo, simplicidade construtiva e operacional e se bem dimensionado pode ter bom desempenho, o que conduz a uma alternativa em potencial para suprimento de água. Converte para uma tendência sustentável e pode desempenhar um importante papel na gestão de recursos hídricos, na descentralização técnica de abastecimento de água e pode oportunizar hábitos de higiene àquelas pessoas desprovidas do acesso a água para consumo humano.

Assim este trabalho visa avaliar as variáveis qualitativas da água captada sobre a cobertura cerâmica de uma unidade experimental de captação e tratamento

de água de chuva onde será verificado o desempenho e o atendimento ao padrão de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2011).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficiência na remoção e/ou diminuição de poluentes em um sistema de captação e tratamento de água da chuva concebido como uma tecnologia social para as zonas rurais do estado do Pará.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Conceber e instalar unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva na Cidade Universitária José Silveira Neto da Universidade Federal do Pará;
- b) Comparar os valores das etapas do sistema com o valor(es) de referência de potabilidade para as variáveis cor aparente, pH, turbidez, alcalinidade, condutividade, coliformes totais e *E.coli* estabelecidos pela portaria N° 2914 (BRASIL,2011);
- c) Propor um volume de abstração entre 1, 3 e 4 mm para as variáveis físico-químicas cor aparente, turbidez, pH e condutividade elétrica;
- d) Verificar a eficiência na remoção e/ou diminuição das variáveis cor aparente, turbidez, coliformes totais e *E.coli* após a utilização dos filtros de barro e de areia para as variáveis constantes no item “b”;
- e) Elaboração de lay-out da proposta mais eficiente para o estudo, incluindo avaliação econômica do mesmo.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Água de chuva: importância e aplicações

A utilização do recurso pluvial é uma prática que possui longa data e representa uma fonte alternativa no suprimento e/ou complemento de água. Muitas nações têm aumentado a utilização de água de chuva para utilização doméstica ou em escala urbana, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

#### 3.1.1 Importância

O estresse provocado sobre os recursos naturais concedeu magnitude aos temas relacionados à conservação da água e da energia, em especial nas regiões deficitárias. Nesse contexto, o aproveitamento de águas pluviais tem sido amplamente empregado para suprimento doméstico e produção agrícola em regiões áridas e semiáridas (YUAN; FENGMIN; PUHAI, 2003; KAHINDA; TAIGBENU; BOROTO, 2007; KAHINDA; TAIGBENU 2011; MOGES; HENGSDIJK; JANSEN, 2011; BIAZIN et al, 2012). Essa prática tem como vantagens a simplicidade operacional, adaptabilidade, baixo custo e menor (ou nenhum) consumo de energia elétrica (JIANG; LI; MA, 2013). Diante de um cenário iminentemente 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; 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 (MATOS et al, 2014; WARD, MEMON, BUTLER, 2012).

O armazenamento das águas pluviais para atendimento parcial ou total para fins domiciliares implica em menor entropia, ou seja, redução dos custos energéticos das operações de sistemas de abastecimento de água, de transporte e de tratamento, podendo minimizar pressões sobre os mananciais de água, bem como minimizar a vazão de água pluvial no sistema de drenagem (MAHMOUD, 2014), pode promover ainda a redução dos riscos de enchentes (ZHAO; XU, 2012), reduzir a erosão dos leitos dos rios e assoreamento nas áreas planas no início da estação de chuvas torrenciais, bem como reduzir os custos proporcionados por inundações

(MAY, 2004; SIMIONI et al, 2004 apud LIMA, 2011; GONÇALVES, 2006; VIOLA, 2008 apud LIMA, 2011; ZENG; TAN; WU, 2007).

Em relação às comunidades rurais, o acesso à água potável é mais difícil por conta da degradação qualitativa de fontes de água, aliada a baixa cobertura de sistemas de distribuição de água potável e demais serviços de saneamento. A localização das habitações em planícies de inundação ou permanentemente alagadas tende a agravar o quadro, por isso o aproveitamento de água de chuva pode ser uma alternativa para mitigar a restrição ao acesso a água potável.

A exploração de águas subterrâneas pode ser limitada face às restrições de disponibilidade de energia elétrica, bem como às dificuldades de manutenção, enquanto que os sistemas de aproveitamento de água de chuva em áreas rurais têm como principais vantagens as simplicidades no tratamento de água, operacionalização e de manutenção. Pode mitigar situações de escassez, minimizar pressões sobre os corpos hídricos, poupar deslocamentos longos, precários, arriscados e onerosos até fontes de abastecimento, minimizar esforços ergonomicamente incorretos bem como exposições desnecessárias que podem gerar acidentes individuais.

Há inúmeros casos de aproveitamento de água de chuva e as potencialidades e necessidades são incontáveis. Apesar de muitas áreas urbanas sofrerem com a escassez de água, a utilização de água da chuva ainda é tratada como um risco e não como uma fonte potencialmente viável, o ceticismo em relação ao uso de tecnologias de captação de água pluviais ainda prevalece (DOMÈNECH; SAURÍ, 2011), comprometendo a descentralização técnica. Em vários países do mundo o aproveitamento de chuva é empregado para mitigar a escassez de água, bem como reduzir os custos dos processos de operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água (GURUNG; SHARMA, 2014).

Muitas nações que enfrentam sérios conflitos pelo uso da água ou que procuram aliviar a demanda sobre o sistema coletivo de água massificaram a prática dentre os quais se pode exemplificar o Japão, que intensificou a prática a partir de 1963 como medida controladora de inundações e garantia de águas para emergências (KALIAN, 2012) e mantém incentivos para o aproveitamento de águas pluviais (ZHAO; XU, 2012). Na Alemanha houve maior propulsão em 1998 como forma de redimensionar a sustentabilidade urbanística em grande escala, tendo como prática a utilização de telhados verdes (ZHAO; XU, 2012). Outros países como

Nepal (MALLA et al, 2009 apud DAHAL et al, 2010), Austrália (RYAN; SPASH; MEASHAM, 2009; WATER..., 2013), África do Sul (KAHINDA; TAIGBENU; BOROTO, 2007; KAHINDA; TAIGBENU, 2011; BIAZIN et al, 2012), Reino Unido, Tailândia, Indonésia, Filipinas, Bangladesh, China, Tanzânia e Brasil (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2013) e Estados Unidos (THOMAS et al, 2014) também possuem representatividade no aproveitamento pluvial.

No Brasil, o Projeto Um Milhão de Cisternas (P1MC), promovido pelo Governo Federal por meio do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome (MDS) financiou a implantação de mais de 556 mil cisternas. Trata-se de uma tecnologia cujas etapas são: captação, descarte ou abstração, reservação (cisternas de placas com 16 mil litros de capacidade), filtração e desinfecção. A iniciativa teve origem na sociedade civil (ONGs, igrejas, sindicatos, etc.) que, no final da década de 1990, foi assumida pelo Governo Federal (MENEZES; SOUZA, 2011).

No estado do Pará existem algumas iniciativas de utilização de água de chuva, como nas Ilhas de Jutuba, Uruboca e Nova. Como exemplo, tem-se o projeto “Água limpa é vida”, iniciado em 2004, da Sociedade Bíblica do Brasil – SBB, Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), do projeto Dom Helder Câmara e da Diaconia concordante com a concepção das cisternas nordestinas (ROSA, 2011 apud VELOSO; MENDES, 2012). Segundo Souza (2013), em 2006 foi implantado o projeto denominado “Água em Casa, Limpa e Saudável”, apoiado pela Cáritas Metropolitana de Belém (CAMEBE) (VELOSO; MENDES, 2012), que beneficiou 370 famílias. Na Figura 1 é mostrado um sistema de aproveitamento de água de chuva – Região das Ilhas em Belém implantado pela Cáritas, com apoio do Governo do Estado do Pará.

Figura 1 – Sistema de aproveitamento de água de chuva na Região das Ilhas em Belém, implantados pela Cáritas. Legenda 1) reservatório elevado, 2) telhado em fibrocimento, 3) piso da residência.



Fonte: Souza, 2013.

O governo do estado do Pará, por meio do edital para a Implementação de Tecnologias Sociais de Acesso à Água para Consumo na Região Norte lançado em 2012 pelo MDS, está implantando 800 sistemas de aproveitamento de águas pluviais para comunidades rurais do estado. Com um investimento de mais de R\$ 4 milhões, a iniciativa prevê o atendimento de aproximadamente 4.000 pessoas (BRASIL, 2012).

O Governo do Amazonas, por meio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), em parceria com o Governo Federal em 2007, implantaram o programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares, Aproveitamento e Armazenamento de Água de Chuva (PROCHUVA), Figura 2, (ANDRADE, 2009). Atualmente a SDS possui convenio com o MDS para implantação outros sistemas de captação e tratamento de água de chuva.

Figura 2 – Aproveitamento de água de chuva – PROCHUVA (Amazonas).



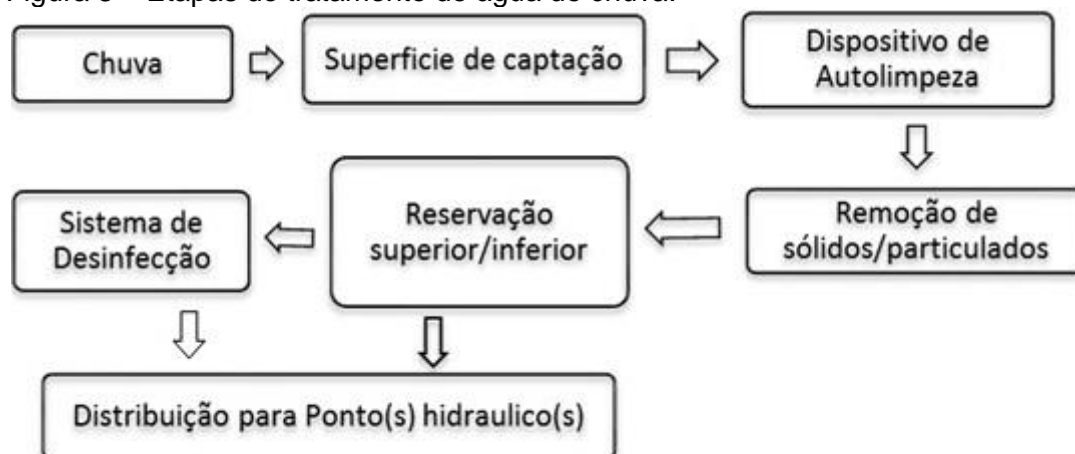
Fonte: Andrade, 2009.

Há muitos casos de aproveitamento de água de chuva ao redor do mundo, os casos de sucesso são mais recorrentes em países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento há carência e/ou incipiência de incentivos à prática, o que relega o desenvolvimento sustentável a um segundo plano, conseqüentemente afasta a racionalidade do aproveitamento de recursos naturais com baixo ônus ambiental, como é o caso da água de chuva.

### 3.2 Captação e tratamento de água de chuva

As plantas de tratamento de água de chuva geralmente apresentam concepções semelhantes. As etapas do tratamento podem variar, dependendo do nível qualitativo requerido em cada caso, tendendo possuir as seguintes etapas: autolimpeza do telhado ou abstração dos primeiros milímetros de chuva, remoção de sólidos grosseiros e/ou partículas, desinfecção, etc. Podem obedecer as etapas de tratamento, conforme disposto na Figura 3.

Figura 3 – Etapas do tratamento de água de chuva.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

As disposições de projeto sobre coleta e tratamento de água de chuva são norteadas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que possui basicamente duas normas diretamente aplicadas ao projeto, tratamento e execução de sistemas pluviais prediais. Uma delas é a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989): Instalações Prediais de Águas Pluviais que estabelece exigências e critérios necessários aos projetos de instalações de drenagem de águas pluviais e se aplica às coberturas e demais áreas de captação associadas a edifícios. A outra é a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007): Água da Chuva - Aproveitamento de Coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis que baliza os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

Para consumo humano, deve-se atender ao disposto na portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde que estabelece os valores de referência de variáveis de qualidade da água, tendo outras referências em nível mundial tal como o disposto pela OMS (WHO,2011).

Segundo Lye (2009) as diretrizes básicas para um bom desenvolvimento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais são:

- a) Adequada concepção / dimensionamento de todas as partes do sistema;
- b) Correta especificação técnica dos materiais de construção;
- c) Cuidados com o aporte de metais ao fluxo de entrada do sistema;



- d) Escolha da superfície de captação minimize o carreamento de materiais;
- e) Deposição de material por características ambientais locais;
- f) Proposição de técnica de tratamento/desinfecção de materiais e procedimentos e controle qualitativo;
- g) Planejamento da rotina operacional do sistema;
- h) Intenção de uso da água da chuva;
- i) Capacitação dos indivíduos associados com ações governamentais e aprovações (avaliações de eficiência) desses tipos de sistemas.

Assim, todos os detalhes de um projeto de um sistema de águas pluviais devem ser cuidadosamente planejados, com vistas à melhor qualidade da água. Observa-se que os sistemas de tratamento de água de chuva possuem etapas relativamente simples, entretanto a qualidade da água pode variar por conta de uma série de fatores na fase atmosférica, na superfície de captação, na abstração inicial, na reservação, filtração e/ou desinfecção.

### 3.2.1 Qualidade da água de chuva

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 (CHANG et al, 2004; FARRENY et al, 2011; THOMAS et al, 2014).

As variáveis meteorológicas como intensidade da chuva, velocidade e direção do vento, também desempenham importante papel na qualidade da água de chuva segundo Huston et al (2009) que monitoraram a deposição de poluentes atmosféricos nos períodos secos e chuvosos entre abril de 2007 e março de 2008. Huston et al (2009) também verificaram que na medida em que a intensidade da chuva aumentava, a abstração se tornava mais eficiente como efeito da lavagem do telhado provocado pela intensidade da chuva, isto vem a concordar com o verificado por Alastuey et al (2001 apud HUSTON et al, 2009) e Hou et al (2005) para metais. Resultado semelhante foi encontrado por Zhang et al (2014) que observou correlação negativa entre a intensidade da chuva e a concentração de SST.

As concentrações de nitrato e nitrito podem ter origem natural decorrente de relâmpagos, que após forte descarga luminosa sobre as moléculas de nitrogênio presentes na atmosfera há a conversão em nitratos e nitritos (NOXON, 1976).

Wilbers et al (2013) estudaram a relação entre a distância dos sistemas de aproveitamento de água de chuva para zonas industrial, importantes sistemas viários e litorâneas na província de Can Tho, no Vietnã e concluíram que as variáveis bário, zinco e pH apresentaram maiores quantificações nas zonas industriais dessa província. Resultado semelhante foi obtido por Huston et al (2009) para as concentrações de bário, zinco e cobre que apresentaram diferenças significativas no fluxo entre os locais na ordem decrescente de cidade, tráfego pesado, zona industrial, zonas suburbanas e regiões periféricas.

Elevadas concentrações de zinco e cobre na deposição atmosférica têm sido atribuídas a veículos em ambientes urbanos (CONKO et al, 2004 apud HUSTON et al, 2009). Thomas e Greene (1993 apud HUSTON, 2009), Chapman et al (2006 apud HUSTON et al, 2009) e Chang et al (2004) também verificaram diferenças significativas nas concentrações de metais na água da chuva coletada em função da localização dos sistemas, sobretudo para zinco e chumbo com diferenças entre zonas urbanas/industriais e zonas rurais na Austrália (CHANG et al, 2004).

O zinco é também um componente de desgaste do pneu (COUNCELL et al, 2004 apud HUSTON et al, 2009). A deposição atmosférica elevada de metais, no centro da cidade em comparação com áreas suburbanas, foi verificada por outros estudos, conforme Azimi et al (2005 apud HUSTON, 2009). Os elevados níveis de zinco em áreas de tráfego pesado apontam para a importância dos veículos automotores como fonte poluente.

Assim, a qualidade do ar desempenha importante papel na qualidade da água de chuva, o que implica dizer que as emissões atmosféricas degradam a mesma, conforme concluiu um estudo feito nos EUA por Thomas et al (2014) em que a presença de zinco e cobre foram provavelmente causadas por emissões industriais, dadas as altas concentrações dessas substâncias em amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera (CHANG, MCBROOM; BEASLEY, 2004; WILBERS et al, 2013).

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de caracterizar a qualidade da água da chuva bruta. A Tabela 1 apresenta a síntese da revisão de estudos qualitativos de água de chuva, os autores e as respectivas localizações.

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

Referência	Silva (2013)	Andrade (2012)	Xavier (2010)	Naddeo; Scannapieco ; Belgiorno . (2013)	Sazakli; Alexopoulos; Leotsinidis (2007)	Beecham, Razzaghmanesh (2015)	Göbel <i>et al.</i> (2007)	Wibers <i>et al.</i> (2013)	Brasil, 2011)
Localidade	Bairro de Fátima - Belém-Pará- Brasil	Região das Ilhas- Belém-Pará- Brasil	São João do Cariri-PB	Universidade de Salerno – Itália	Ilha de Kefalonia, Grecia	Adelaide, Australia		Delta do Mekong, Vietnã	-
Variável									
Cor aparente (UC)	2,8±1,6	<15 UC em 92% das amostras	NR		NR	NR	NR	NR	15
pH	5,5 - 8,1	3,9 - 6,6	6,2	NR	7,63–8,80	7,45–7,55	3,9–7,5	4,3-8,2	6 -9,5
Turbidez (UNT)	2,9 ±2,5	0 - 3,2	0,9	25,8 ± 3,6	NR	1,3–1,35	n.a.	0-10,1	0,5 -1
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	14,1±4,9	NR	2,5	NR	6–48 <sup>a</sup>	NR		NR	-
CE (µS/cm)	28,5±35,9	NR	12,1	NR	56–220	<0,5	28-223	NR	-
SDT (mg /L)	NR	NR	46	NR	NR	2,4 – 5,9	n.a.	NR	1000
COT (mg /L)	NR	NR	NR	5,95 ± 0,7	NR	NR	NR	NR	
CT (NMP/100 ml)	185,63±205,49	92 <sup>b</sup>	NR	328 ± 126	0–570	NR	NR	1950–65 700	0
E.coli (NMP/100 ml)	12,73±20,01	50% <sup>b</sup>	NR	152 ± 32	0–250	NR	NR	0–700	0
Enterococcus (NMP/100 ml)	NR	NR	NR	NR	0 -32	NR	NR	NR	-
Nitrato (mg/L)	NR	NR	NR	NR	5,28–13,02	<1	0,0–7,4	0,1-3,9	10
Nitrito (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0,003–0,043	0,07–0,10	n.a.	0,004-0,091	1
Amônia (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0,01–0,05	1,01–1,10	n.a.	0,007-0,040	1,5

Referência	Silva (2013)	Andrade (2012)	Xavier (2010)	Naddeo; Scannapieco ; Belgiorno . (2013)	Sazakli; Alexopoulos; Leotsinidis (2007)	Beecham, Razzaghmanesh (2015)	Göbel <i>et al.</i> (2007)	Wibers <i>et al.</i> (2013)	Brasil, 2011)
Localidade	Bairro de Fátima - Belém-Pará- Brasil	Região das Ilhas- Belém-Pará- Brasil	São João do Cariri-PB	Universidade de Salerno – Itália	Ilha de Kefalonia, Grecia	Adelaide, Australia		Delta do Mekong, Vietnã	-
Variável									
Sulfato (mg/L)	NR	NR	NR	NR	1–13	NR	NR	NR	250
Zinco (µg/L)	NR	NR	NR	NR	10,0–77,0	NR	NR	12,0–291,9 <sup>c</sup>	5000 µg/L
Chumbo (µg/L)	NR	NR	NR	NR	2,0–6,9	NR	NR	1,8-15,7 <sup>c</sup>	10 µg/L
Cobre (µg/L)	NR	NR	NR	NR	2,5–13,0	NR	NR	0,5–1,1 <sup>c</sup>	2000 µg/L
Cromo (µg/L)	NR	NR	NR	NR	1,3–4,8	NR	NR	<0,4–0,7 <sup>c</sup>	50 µg/L
Ferro (µg/L)	NR	NR	NR	NR	6–40	NR	NR	5,2–15 <sup>c</sup>	300 µg/L
Cálcio (mg/l)	NR	NR	NR	NR	10,6–19,2	ND	1,1–67,13	NR	
Sódio (mg/L)	NR	NR	0,85	NR	2–11	0–1,84	0,22–20	108–730,3 <sup>c</sup>	200 mg/L
Potássio(mg/L)	NR	NR	0,2	NR	0,7–3,6	0–0,46	0,46–0,65	NR	
Dureza total	NR	NR	13	NR	24–74	NR	NR	NR	500mg/L
Fosfato (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0,01–0,62	NR	NR	NR	-
Magnésio (µg/L)	NR	NR	NR	NR	400–2400	NR	NR	47,9–634 <sup>c</sup>	-
Manganês (µg/L)	NR	NR	NR	NR	0,5–73,0	NR	NR	0,5–18,9 <sup>c</sup>	100 µg/L
Cádmio (µg/L)	NR	NR	NR	NR	0,10–0,19	NR	NR	<0,1–0,3 <sup>c</sup>	5 µg/L

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Andrade, 2013; Xavier, 2010; Naddeo *et al.*, 2013; Sazakli *et al.*, 2007; Beecham; Razzaghmanesh, 2015; Göbel *et al.*, 2007; Wibers *et al.*, 2013; Brasil, 2011.

<sup>a</sup>: mg/L CaCO<sub>3</sub>; <sup>b</sup>: presença, SDT: sólidos dissolvidos totais, COT: carbono orgânico total, CT: coliformes totais, <sup>c</sup>: n=6. NR: não realizado

Os resultados dispostos na Tabela 1 apontam que das variáveis físico-químicas, com exceção do trabalho de Xavier (2009) somente a turbidez esteve acima do padrão de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2011), possivelmente a água precipitada diretamente da atmosfera demandaria tratamentos relativamente simples, como filtração por exemplo, para adequar ao padrão de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2011). As variáveis mais preocupantes são metais como manganês, zinco e chumbo (no Delta do Mekong), considerando os valores limítrofes para os padrões brasileiros. Os valores das variáveis zinco e chumbo apresentados nos trabalhos de Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis (2007) e Wilbers et al (2013) indicam que as mesmas devem ser monitoradas com certa periodicidade pois constituem substâncias potencialmente perigosas a saúde humana, conforme mencionado por Conko et al (2004 apud HUSTON, 2009) e Councell et al (2004 apud HUSTON et al, 2009). Para os demais valores de metais os mesmos estão dentro do limite estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

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), por este ou por aquele motivo, a desinfecção da água de chuva é indispensável uma vez que a contaminação pode ocorrer ainda na fase inicial do aproveitamento.

Para as variáveis físicas, os valores reportados não são por si só preocupantes, no entanto é importante promover a remoção por conta de contaminantes oportunistas e pela aceitação em nível estético da água. 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. O mesmo comportamento foi observado por Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis (2007) na ilha de Kefalonia e por Xavier (2010) em São João do Cariri que obtiveram valores de pH mais próximos da neutralidade.

Para a água da chuva proveniente de áreas urbanas, onde a poluição do ar é significativa, deve-se considerar o impacto da poluição sobre a qualidade da mesma. Apesar do efeito mensurável de atividade urbana sobre o fluxo de contaminantes/poluentes, a qualidade físico-química da água das águas pluviais urbanas ainda pode ser considerada como potencialmente potável, no entanto ao interceptar o telhado, um impacto qualitativo causado pelo contato com a superfície contaminada e/ou poluída, por isso há a necessidade de delineamento de

tratamento da água, assim é indispensável à utilização de dispositivos de tratamento.

### 3.2.2 Superfície de captação de água de chuva

A água interceptada pelo telhado transporta substâncias provenientes do material constituinte, bem como as resultantes do aporte adicional devido às condições ambientais (clima local e variáveis atmosféricas), tipo e idade dos materiais de fabricação (a textura dos diferentes materiais de cobertura podem causar diferentes níveis de retenção de contaminantes e/ou poluentes, e diferentes valores de coeficientes de Runoff), assim como da fauna e flora diretamente influente, isto é presença de voadores, felinos, vegetações, etc. (VAZQUEZ et al, 2003; GÖBEL; DIERKES; COLDEWEY, 2007 apud FARRENY et al, 2011; SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007; HUSTON et al, 2009; FOSTER, 1996 apud LYE, 2009; LEE; BAK; HAN, 2012).

#### 3.2.2.1 Coberturas cerâmicas

Dentre os materiais de fabricação de coberturas, as cerâmicas estão entre as mais utilizadas no estado do Pará, pois segundo Jacome (2007), esta cobertura promove conforto térmico nos dias mais quentes. No entanto esse material tende a ter relativa porosidade (KIURSKI et al, 2005) e irregularidade de superfície importante, decorrente do encaixe das telhas, que pode favorecer o acúmulo de poluentes e contaminantes. Vários trabalhos têm sido realizados no sentido de caracterizar a qualidade da água da chuva oriunda de telhados cerâmicos. Na Tabela 2 é disposta a síntese de dados levantados sobre água de chuva coletada sobre esse tipo de cobertura.

Tabela 2 – Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas cerâmicas, as localidades e seus respectivos autores.

<b>Autores</b>	Lee, Bak e Han (2012)	Zhang <i>et al.</i> (2014)	Santos <i>et al.</i> (2007) **	Anecchini (2005)**	Rocha (2009) **	Andrade (2012)		BRASIL (2011) ***
<b>Locais de pesquisa</b>	Seul, Coréia do Sul	Yubei, Chongqing (China)	João Pessoa - PB	Vitória – ES	Goiás – GO	Região das Ilhas - RMB- Belém -Pará- Brasil		-
<b>Variáveis</b>						Sist.1	Sist.2	
Cor (UC)	NR	NR	0	NR	36,9	1- 92	1-91	15
pH	6- 7,9	6 -9	6,72	6,8	7,18	3,7 -7,2	3,8-6,3	6 -9
Turbidez (UNT)	NR	NR	0,81	10,4	22,15	0 -4,1	0- 3,8	1
Alcalinidade (mg/L)	NR	NR	13,4	18,5	5	NR	NR	-
SST (mg/L)	219,3	<120*	NR	46,7	NR	NR	NR	-
CE (µs/cm)	NR	<225*	25	NR	13,7	NR	NR	-
COT (mg/L)	32,9	<60,3*	NR	NR	NR	NR	NR	
CT (NMP/100 ml)	76	NR	930	1,46x10 <sup>2</sup>	8x10 <sup>1</sup>	100%	100%	0
E.coli (NMP/100 ml)	8	NR	0	10	NR	100%	100%	0
NO <sup>3</sup> (mg/L)	1,89	NR	0	0,34	NR	NR	NR	10
Amônia (mg/L)	NR	NR	0	0,48	NR	NR	NR	1,5
Sulfato(mg/L)	3,1	<250	NR	NR	NR	NR	NR	
Zinco (µg/L)	131	33	NR	NR	NR	NR	NR	5000
Chumbo (µg/L)	11	NR	NR	NR	NR	NR	NR	10
Alumínio (µg/L)	243	NR	NR	NR	NR	NR	NR	200
Cobre (µg/L)	37	3,62	NR	NR	NR	NR	NR	2000
Ferro (µg/L)	155	NR	NR	NR	NR	NR	NR	300
Cálcio (mg/L)	NR	11,2	NR	NR	NR	NR	NR	-
Nitrogênio Total(mg/L)	NR	>1	NR	NR	NR	NR	NR	-

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Zhang et al, 2014; Santos et al, 2007 apud Silva, 2013; Anecchini, 2005; Rocha, 2009; Andrade, 2012; Brasil, 2011.

\*:nível de significância de 5%

\*\*NR: Não realizado, SST: Sólidos em suspensão totais, CE: condutividade elétrica, COT.: carbono orgânico total, ND: Não detectado.

\*\*\* padrão de potabilidade brasileiro.

Os resultados da Tabela 2 apontam que os telhados cerâmicos são propícios para a proliferação de bactérias do grupo coliforme, uma vez que foram positivos em todos os estudos apresentados e podem ser oriundas da vegetação, da fauna adjacente (e dejetos), da interceptação atmosférica, entre outros, no entanto houve exceção para a pesquisa de Santos et al (2007 apud SILVA, 2013). Os valores para a variável cor verdadeira foram dispersos e estiveram entre 1 UC a 92

UC (valores mínimo e máximo) no estudo realizado por Andrade (2012) na região das Ilhas na RMB. No mesmo estudo os valores de pH foram menores (3,7 a 7,2) se comparados com os resultados apresentados por outros autores em centros urbanos, conforme verificado por Lee, Bak e Han (2012), Zhang et al (2014) e Rocha (2009) cujos valores foram 6 a 7,9, 6 a 9 e 7,18 respectivamente.

Em relação a sólidos em suspensão totais, as menores concentrações verificadas por Anecchini (2005) em Vitória, no Espírito Santo (46,7 mg/L) e Rocha (2009) em Goiás (5 mg/L), podem ser atribuídas à porosidade das telhas cerâmicas que propiciam o acúmulo de sólidos (KIURSKI et al, 2005; LEE; BAK; HAN, 2012) e consequente retenção até um nível de saturação tal que marca o desprendimento dos mesmos, propiciando o carreamento para o fluxo de água que escorre sobre a cobertura, o que pode explicar os maiores valores verificados por Lee, Bak e Han (2012) em Seul, Coréia do Sul, Zhang (2014) em Yubei, Chongqing (China), que foram, respectivamente 120 mg/L e 219,3 mg/L. Para a variável turbidez, os valores verificados nos estudos variaram de 0 UNT a 22,15 UNT. Na Região das Ilhas, em Belém do Pará, os valores verificados para turbidez foram relativamente baixos (0 UNT a 4,1 UNT, e 0 UNT a 3,8 UNT).

Os valores de zinco encontrados nas pesquisas remetem a níveis aceitáveis para os padrões brasileiros de potabilidade (BRASIL, 2011). Já para a variável chumbo, os valores verificados por Lee, Bak e Han (2012) de 11 µg/L atingiram níveis preocupantes para os referenciais brasileiros. Na pesquisa conduzida por Zhang et al (2014), as coberturas cerâmicas importam em menores concentrações médias (3,62 µg/L) de cobre (aquoso), se comparadas com os demais materiais de cobertura avaliados por eles. A água de chuva coletada de coberturas cerâmicas, após tratamento simplificado, pode atingir níveis qualitativos satisfatórios (LEE; BAK; HAN, 2012; ZHANG et al, 2014) embora as variáveis físicas, em algum momento, possam não atender o padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Em casos de disposições contrárias, os danos à saúde seriam preocupantes.

### 3.2.2.2 Coberturas metálicas

Os telhados metálicos também são largamente utilizados em sistemas de aproveitamento pluvial por conta da qualidade físico-química da água (LEE; BAK; HAN, 2012), também garantem estanqueidade, baixos rugosidade e peso, comparados com outros materiais. Essa cobertura possui coeficiente de *Runoff*



estimado de 0,92 a 0,95 por Farreny et al (2011), entretanto favorece o aquecimento e propaga os ruídos da chuva. Na Tabela 3 é apresentada a síntese de estudos qualitativos de chuva para coberturas metálicas, seus autores e localidades.

Tabela 3 – Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas metálicas e seus respectivos autores.

<b>Autores</b>	Lee, Bak e Han (2012)	(Razzaghmanesh et al., 2014)	Rocha et al. (2009)	BRASIL (2011)*
<b>Material</b>	Aço galvanizado	Alumínio	Metálico	
<b>Variáveis</b>				
pH	NR	7,6	6,5	6 -9
Turbidez (UNT)	NR	1,26	7,46	1
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	NR	23,00	15,5	-
SST (mg/L)	285,8	NR	NR	-
SDT (mg/L)	NR	31,00	NR	1000
COT (mg/L)	31,8	NR	NR	
CT (NMP/100 ml)	70	NR	112	0
CF (NMP/100 ml)	NR	NR	NR	0
E.coli (NMP/100 ml)	4	NR	NR	0
Nitrato (mg/L)	2,8	1,90	NR	10
Nitrito (mg/L)	NR	ND	NR	1
Zinco ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	428	NR	NR	5000
Chumbo ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	12	NR	NR	10
Alumínio ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	622	NR	NR	200
Cobre ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	59	NR	NR	2000
Ferro ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	302	NR	NR	300

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Razzaghmanesh et al, 2014; Rocha et al, 2009; Brasil, 2011.

\*SST: Sólidos em suspensão totais, CE: condutividade elétrica, COT.: carbono orgânico total, CT: coliformes totais, CF: coliformes fecais, Nr: não realizado; Nd: não detectado.

Os resultados dispostos na Tabela 3 apontam que os valores do pH tenderam a neutralidade e estiveram entre 6,5 e 7,6, o que foi também verificado por Nicholson et al (2009) que concluiu que coberturas metálicas neutralizaram a acidez da água da chuva, contribuindo para o equilíbrio do pH. A condutividade elétrica verificada foi relativamente baixa e variou de 15,5 a 23  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os valores de turbidez e SST (até 7,46 UNT e 285 mg/L) podem ser atribuídos a baixa rugosidade da superfície que favorece o carreamento de partículas da lavagem da superfície da cobertura durante a precipitação, favorecendo a abstração do mesmo.

Para coliformes totais, todos os estudos apontaram valores variando entre 70 e 112 NMP/100 ml. Para coliformes fecais e /ou *E.coli* a mesma tendência

ocorreu, no entanto alguns estudos têm apontado que as coberturas metálicas podem possuir efeito bactericida decorrente da condução térmica e da radiação solar (MENDEZ et al, 2011). No estudo realizado por Lee, Bak e Han (2012) o valor de 4 NMP/100 ml de *E.coli* foi encontrado, o que pode ser considerado relativamente baixo para a água de chuva interceptada pelo telhado.

As concentrações de metais foram expressivas para alumínio (622 µg/L), chumbo (12 µg/L) e ferro (302 µg/L) (LEE; BAK; HAN, 2012), atingindo níveis superiores aos valores máximos quando comparados com os valores limites indicados na portaria de potabilidade brasileira (BRASIL, 2011). Para variáveis zinco (até 428 µg/L) e cobre (59 µg/L), apresentadas no trabalho de Lee, Bak e Han (2012), as concentrações estiveram abaixo do valor máximo de referência (BRASIL, 2011).

### 3.2.2.3 Coberturas em fibrocimento

É uma cobertura largamente utilizada no estado do Pará por possuir uma das melhores relações custo/benefício entre os materiais disponíveis na região. O telhado de fibrocimento pode influenciar nos valores de *Runoff* uma vez que impactam em até 30% de absorção de água precipitada. Alguns resultados de pesquisas qualitativas estão dispostos na Tabela 4 que contém a síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas em fibrocimento e seus respectivos autores.

Tabela 4 – Síntese das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas em fibrocimento e seus respectivos autores.

<b>Autores</b>	Silva (2013)	Arruda (2014) apud Matos (2014)	Rocha et al (2009)	Tamiosso et al (2007)
<b>Variáveis</b>				
Cor aparente (UC)	48,0 ± 43,6	31,6 ± 21,3	21,6	50
pH	5,1 - 7,6	5,2 ± 0,7	7,2	6,72
Turbidez (UNT)	8,2±8,0	1,0 ±0,8	17,64	44
Alcalinidade (mg/L)	26,7±21,4	NR	11,5	10
CE (µS/cm)	99,00 ± 63	NR	32,8	17
SDT (mg/L)	NR	NR	NR	123
CT (NMP/100 ml)	472±358	NR	79	0
<i>E.coli</i> (NMP/100 ml)	20± 21	NR	NR	NR

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Rocha et al, 2009; Tamiosso et al, 2007.

\*NR: Não Realizado.ND: Não Detectado.

Os resultados dispostos na Tabela 4 apontam que os telhados de fibrocimento situaram o pH próximo da faixa da neutralidade, com uma pequena tendência a acidez (5,1 a 7,6 e  $5,23 \pm 0,7$ ) (SILVA, 2013; ARRUDA, 2014 apud MATOS, 2014). Os valores de turbidez se apresentaram relativamente elevados (44 UNT) na pesquisa realizada por Tamiosso et al (2007) o que confere com o concluído por Mendez et al (2011) que verificaram valores de turbidez de até 50 UNT para coberturas em telhas de concreto (material semelhante ao fibrocimento), já no trabalho de Arruda (2014 apud MATOS, 2014), o valor da variável foi menor ( $1,04 \pm 0,88$  UNT).

Os trabalhos apresentam resultados semelhantes para cor:  $48 \pm 43,6$  UC (SILVA, 2013),  $31,6 \pm 21,3$  UC (ARRUDA, 2014 apud MATOS, 2014), 21,6 UC (ROCHA et al, 2009) e 50 UC (TAMIOSSO et al, 2007). Os valores de coliformes totais e *E.coli* verificados no trabalho de Silva *et al.* (2013), ( $472 \pm 358$ ;  $19 \pm 21$  NMP/100 ml) foram maiores se comparados com os trabalhos de Rocha et al (2009) e Tamiosso et al (2007).

Do exposto, pode-se verificar que as variáveis físico-químicas e bacteriológicas variam em função do tipo de material de fabricação da cobertura, assim, na Tabela 5 apresenta-se os valores máximo e mínimo verificados para as amostras coletadas de telhados cerâmicos, metálicos e fibrocimento, de acordo com os vários autores apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 5 – Síntese dos valores máximo e mínimo das variáveis qualitativas de chuva coletada de coberturas em cerâmica, metal e fibrocimento.

Materiais	Cerâmico		Metálico		Fibrocimento	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Cor aparente(UC)	0	92	NR	NR	4,5	91,6
pH	3,7	9	6,5	7,58	4,53	7,6
Turbidez (UNT)	0	22,15	1,26	7,46	0,16	44
Alcalinidade	5	18,5	NR	NR	5,31	11,5
SST (mg/L)	5	219,3	10	285,5	NR	NR
CE (µs/cm)	13,7	<225	15,5	23	NR	NR
COT (mg/L)	NI	<60,3	NI	31,8	NR	NR
CT (NMP/100 ml)	76	930	70	112	0	830
E.coli (NMP/100 ml)	0	10	-	4	0	41
Nitrato (mg/L)	0,34	1,89	1,9	2,8	NR	NR
Amônia (mg/L)	0	0,48	-	-	NR	NR
Sulfato (mg/L)	3,1	<250	NI	2,87	NR	NR
Zinco (µg/L)	33	131	NI	428	NR	NR
Chumbo (µg/L)	NI	11	NI	12	NR	NR
Alumínio (µg/L)	NI	243	NI	622	NR	NR
Cobre (µg/L)	NI	3,62	NI	59	NR	NR
Ferro (µg/L)	NI	155	NI	302	NR	NR
Cálcio (mg/L)	NI	11,2	NR	NR	NR	NR
Nitrogênio Total (mg/L)	NI	1<	NR	NR	NR	NR

Fonte: Adaptado de Lee; Bak; Han, 2012; Zhang et al, 2014; Santos et al, 2007 apud Silva, 2013; Anecchini, 2005; Andrade, 2012; Razzaghmanesh et al, 2014; Reis, 2015; Rocha, 2009 ; Silva, 2011; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Tamiosso et al, 2007; Mendez et al, 2011.

\*SST: Sólidos em suspensão totais, CE: condutividade elétrica, COT.: carbono orgânico total, CT: coliformes totais, CF: coliformes fecais, Nr: não realizado; Nd: não detectado.

Na comparação dos telhados os valores de pH ficaram entre 3,7 e 9, para cobertura cerâmica, o que implicou em menor e maior valores de pH. A cobertura metálica apresentou menores diferenças entre valores mínimo e máximo (6,5 e 7,58). Para a cobertura de fibrocimento é esperada uma tendência alcalina devido a sua parte composta de cimento, que poderia neutralizar o pH, entretanto valores ácidos (4,53) foram verificados para essa cobertura o que pode ocorrer em casos onde a superfície está tomada por poluentes e líquens retidos nos poros. Zhang et al (2014), que avaliaram o feito na qualidade da água de chuva que interceptava diferentes tipos de telhados (concreto, asfáltico, cerâmico e telhados verdes) verificaram em sua pesquisa que os valores de pH ficaram situados entre 6 e 9. Para Farreny et al (2011), que estudaram critérios de seleção das coberturas (cerâmico,

metal, policarbonato, e madeira) objetivando maximizar a disponibilidade e qualidade da água de chuva, as diferenças na qualidade da água em relação ao tipo do telhado, na pesquisa, não foram significativas para a variável pH. A variável alcalinidade teve valores que obedeceram à mesma tendência do pH, isto é houve uma sugestiva proporcionalidade direta, o que coincide com o afirmado por Avila e Alarco'n (1999 apud FARRENY et al, 2011) que explicou que a alcalinidade e cátions básicos típicos nas chuvas da África aumentaram o pH ácido da chuva em seu estudo.

Para a variável cor aparente não foi verificada grandes discrepâncias entre valores máximos e mínimos para as coberturas cerâmicas e fibrocimento (0 UC a 92 UC e 4,5 UC a 91,6 UC respectivamente).

Para a variável turbidez, os menores valores máximo e mínimo foram verificados na cobertura metálica (1,26 e 7,46 UNT), assumindo uma tendência mais homogênea da variável. Para a cobertura cerâmica e fibrocimento a variável apresentou maior dispersão de dados (0 a 22,15 UNT e 0,16 a 44 UNT). Para SST, os telhados cerâmicos apresentaram ligeira tendência a produzir menores valores máximos e mínimos (5 a 219,3 mg/L) que os telhados metálicos (10 a 285,5 mg/L). Farreny et al (2011) não observaram diferenças significativas para as concentrações de SST para os diferentes tipos de telhado. Lee, Bak e Han (2012) verificaram valores medianos superiores em águas oriundas de telhas metálicas quando comparados com os demais materiais (concreto, cerâmica e madeira) para a variável SST.

A condutividade elétrica nos telhados cerâmicos foi maior (13,7 a 225  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) se comparado com a cobertura metálica (15,5 – 23  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), o que é esperado para pois a cobertura cerâmica tende a reter sólidos nos poros das telhas, o que praticamente não ocorre na cobertura metálica.

Os menores valores de coliformes totais e *E. coli* foram verificados na cobertura de fibrocimento, o que pode ser explicado pela propriedade bactericida devido a matriz alcalina desse tipo de telhado (CATÁLOGO..., 2010). Os menores valores máximos ocorreram no telhado metálico (112 NMP/100ml), enquanto que o máximo valor verificado ocorreu na cobertura cerâmica (930 NMP/100ml), possivelmente devido ao acúmulo de matéria orgânica na superfície das telhas que serve de substrato para as bactérias indicadoras.

Os valores de nitrato (0,34 – 1,89 mg/L) estiveram abaixo do limite seguro recomendado pela portaria nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Para os telhados metálicos se verificam valores máximos mais elevados entre os três materiais para zinco (428 µg/L), chumbo (12 µg/L), alumínio (622 µg/L), cobre (59 µg/L), ferro (302 µg/L), o que confere com o estudo de Chang et al (2004) e Lee, Bak e Han (2012) que observaram maiores valores para as concentrações de metais, quando comparados com outros materiais de cobertura.

As superfícies de captação de água de chuva para sistemas domiciliares são considerados importantes marcos qualitativos no sistema, podendo aportar poluentes e contaminantes por constituírem superfície de interceptação e/ou de contato para animais ou ainda pela sua constituição, no entanto cada material apresenta vantagens e desvantagens que devem ser pesadas quando constituírem opção de captação para utilização doméstica para consumo humano. A medida mais importante é minimizar o carreamento de metais potencialmente tóxicos para o intradomicílio, uma vez que sólidos podem ser removidos através de tratamentos relativamente simples como a abstração de primeiros milímetros da chuva e filtração, isto sugere que os telhados cerâmicos podem ser boas opções. De qualquer maneira os sistemas não devem estar próximos de zonas industriais e/ou outros importantes contribuintes de poluentes, pois as unidades de tratamento de água de chuva usualmente são simples e não possuem foco na diminuição/remoção de metais, por isso o distanciamento de prováveis fontes pode ser uma das medidas das potencialidades da área.

### 3.2.3 Abstração dos primeiros milímetros

A água de chuva pode ter boa qualidade físico-química, no entanto pode não cumprir requisitos qualitativos para fins potáveis, sendo a contaminação por microorganismos potencialmente patogênicos um componente principal (VIALLE et al, 2011). Para mitigar os impactos sanitários na água, modelos de captação de água de chuva usualmente possuem uma etapa chamada de “abstração” “autolimpeza” ou “limpeza do telhado” que consiste em desviar os primeiros milímetros de chuva, para “lavar” a superfície de captação e se garantirem o descarte suficiente dos primeiros milímetros de chuva, melhoram significativamente a qualidade da água, remetendo à indispensabilidade do mesmo (ANDRADE NETO, 2012; VIEIRA et al, 2014; LEE; BAK; HAN, 2012).

Os sistemas de abstração constituem-se basicamente de um reservatório ou um *by pass* para desviar os primeiros milímetros de chuva. Estudos apontam que as

capacidades poderão variar de 0,11 a 5 l/m<sup>2</sup> (ANDRADE NETO, 2012; ANDRADE, 2012; GIKAS, TSIHRINTZIS, 2012; KUS et al, 2010). O tipo de material de fabricação das coberturas, o uso proposto para o(s) sistema(s), o tratamento sequencial disponível, proximidade de fontes poluentes, da fauna e da flora são importantes variáveis a serem consideradas no projeto da abstração inicial.

Alguns estudos têm sido conduzidos para avaliar a eficiência de sistemas de abstração, Gikas e Tsihrintzis (2012) estudaram o desvio de 0,11 a 0,13 mm de chuva para posterior armazenamento. Segundo os autores, não houve diferença significativa para as variáveis pH (bem como Mendez et al (2011) em seu estudo), nitrato, nitrito, OD, coliformes totais, isto é a abstração não alterou valores das variáveis, que observaram o mesmo para pH, já para condutividade elétrica, SST, nitrogênio amoniacal, alcalinidade, magnésio, cálcio e potássio houve diferenças significantes. A abstração dimensionada para abster de 0,11 a 0,13 mm reduziu a concentração de SST na abstração de 9,5 a 39,5 mg/L para 1,4 a 4,2 mg/L enquanto que no estudo realizado por Lee, Bak e Han (2012) a abstração, dimensionada para desviar 2mm reduziu a concentração de 219,3 mg/L para 41,6 mg/L nos descartes do tipo fecho hídrico, com melhores resultados foram para a cobertura metálica para variáveis físico-químicas e bacteriológicas. Andrade (2012) estudou o aproveitamento de águas pluviais para consumo humano em duas residências na RMB cobertas por cerâmica, dotado de descarte de 1 mm de água de chuva que se mostrou importante na melhoria qualitativa da água para as variáveis cor e turbidez.

A Tabela 6 reúne dados de estudos realizados e seus respectivos autores sobre a influência da abstração do telhado na cobertura cerâmica.

Tabela 6 – Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros na cobertura cerâmica e seus autores.

Variável	Lee, Bak e Han (2012)		Xavier (2010).				Andrade (2012)				Brasil (2011)
	Descart e 2mm	Reserv.	Sistema DVC		Sistema DFH		Sistema 1		Sistema 2		
			Descarte	Pós descarte	Descarte	Pós Descarte	Calha	Pós descart e	Calha	Pós descarte	
pH	NI	NI	8,11– 9,31	6,44- 7,34	9,89-10,6	6,33-6,64	NI	NI	NI	NI	5-9
Turbidez	NR	NR	4,8 - 6,7	2,2 – 2,57	2,63–11	1,58-2,73	0- 4,12	0-2,32	0-3,86	0- 1,8	1
CE ( $\mu$ S/cm)	NR	NR	71,9 - 219,1	20,48–77,82	129,1-382,9	84 - 122,35	NR	NR	NR	NR	-
SST (mg/L)	219,3	41,6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	-
SDT (mg/L)	NR	NR	104 - 228	41 – 96	105 - 218	74 – 90					1000
Nitrito (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1
Nitrato (mg/L)	1,89	2,81	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	10
Alcalin.(mg/L)	NR	NR	19,5 - 65	7,5 – 37	37 - 109	5,5– 13,5	NR	NR	NR	NR	-
Sódio (mg/L)	NR	NR	2,14–7,47	1,94-3,36	0 – 7,24	0 – 2,91	NR	NR	NR	NR	200
Potássio(mg/L)	NR	NR	4,61–24,8	1,07–2,51	4,61– 18	1,24– 3,72	NR	NR	NR	NR	-
CT**	76	2	NR	NR	NR	NR	100%	100%	100%	100%	0
<i>E.coli</i> **	8	1	NR	NR	NR	NR	100%	93%	100%	100%	0
Zinco ( $\mu$ g/L)	131	19	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5000
Chumbo( $\mu$ g/L)	11	3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	10
Al ( $\mu$ g/L)	243	36	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	200
Cobre ( $\mu$ g/L)	37	12	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2000
Ferro ( $\mu$ g/L)	155	24	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	300

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Xavier, 2010; Andrade, 2012; Brasil, 2011.

\*diferença estatisticamente significativa ( $p < 0.001$ ).

\*\* : NMP/100ml, Alcalinid.: alcalinidade, CE: condutividade elétrica, SST: sólidos suspensos totais, SDT: sólidos dissolvidos totais, K: Potássio, CT:coliformes totais, Al: alumínio, DVC: desvio vasos comunicantes, DFH: desvio fecho hídrico, NI: não informado,NR: não realizado.



Os dados dispostos na Tabela 6 apontam que no estudo de Lee, Bak e Han (2012) a abstração, dimensionada para desviar 2mm reduziu a concentração de 219,3 mg/L para 41,6 mg/L. No estudo de Andrade (2012) a turbidez foi reduzida nos dois sistemas monitorados de 0 – 4,12 UNT para 0 -2,32 UNT (sistema 1) e 0-3,86 UNT para 0 -1,8 UNT.

No estudo realizado por Xavier et al (2010) a abstração que atendia o princípio do fecho hídrico mostrou-se mais eficiente na melhoria da qualidade da água em relação ao outro princípio exceto para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. O mesmo princípio foi utilizado no estudo de Lee, Bak e Han (2012), que avaliou o descarte de 2mm que verificou diminuição na concentração de SST, COT, nitrato e metais como alumínio, cobre ferro e chumbo (cuja mediana baixou de 11 µg/L no primeiro fluxo para 3 µg/L no pós descarte).

Para a alcalinidade, a eficiência do desvio que atende o princípio do fecho hídrico se mostrou superior, promovendo a diminuição de 37 a 109 para 5,5 a 13,5 mg/L (XAVIER et al, 2010). Comportamento semelhante foi verificado para coliformes totais que, no estudo de Lee, Bak e Han (2012) a variável foi reduzida de 76 para 2 NMP/100 ml. Isto pode sugerir que o fecho hídrico pode minimizar o crescimento bacteriano, se considerar o indicador coliforme.

Já as coberturas metálicas, por possuírem superfície menos rugosa, podem demandar menores volumes de abstração e bem como menores concentrações de bactérias do grupo coliforme já que, diferentemente das coberturas cerâmicas, podem minimizar a formação de líquens e matéria orgânica e são boas condutoras térmicas.

Embora o aproveitamento da água de chuva seja objeto de muitos estudos, não há tantas pesquisas consolidadas referentes a influencia da abstração em coberturas metálicas. Na Tabela 7 é apresentada a síntese das pesquisas realizadas sobre a abstração inicial dos primeiros milímetros de chuva bem como os valores limitrofes estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Tabela 7 – Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros nas coberturas metálicas e seus respectivos autores.

<b>Autores</b>	Lee, Bak e Han (2012)		Mendez et al (2011)		Brasil (2011)
<b>Material</b>	Aço galvanizado		Galvalume		
<b>Variáveis</b>	1 fluxo	Após descarte	Escala piloto*	Escala plena*	
pH	NR	NR	6.0–6.8	5.4–6.3	6 - 9
Turbidez (UNT)	NR	NR	7–30	5–35	1
Alcalinidade (mg/L)	NR	NR	NR	NR	-
CE (µS/cm)	NR	NR	9–56	18–60	-
SST (mg/L)	285,8	15,1	20–87	10–50	-
COT (mg/L)	31,8		NR	NR	-
COD (mg/L)	NR	NR	2–11	4–13	-
CT (NMP/100 ml)	70	1	117–770	64–173	0
CF (NMP/100 ml)	NR	NR	<1–8	37–127	0
<i>E.coli</i> (NMP/100 ml)	4	0	NR	NR	0
Nitrato (mg/L)	2,8	0,02	0.0–2.0	0.4–4.1	10
Nitrito (mg/L)	NR	NR	0.01–0.03	0.01–0.05	1
Sulfato (mg/L)	2,87	0,11	NR	NR	1000
ZINCO (µg/L)	428 µg/L	74	77–362	18–23	5000
CHUMBO (µg/L)	12 µg/L	3	0.3–2.3	2.1–5.8	10
Alumínio (µg/L)	622	33	NR	NR	200
COBRE (µg/L)	59	16	NR	NR	2000

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Mendez et al, 2011; Brasil, 2011.

\*Após abstração, CE: condutividade elétrica, SST: sólidos suspensos totais, COT: carbono orgânico total, COD: carbono orgânico dissolvido, CT: coliformes totais, NR: não realizado.

No estudo realizado por Lee, Bak e Han (2012) foi verificada elevada eficiência na remoção de SST na abstração, o que reduziu o valor das variáveis de 285,8mg/L para 15,1 mg/L, mostrando-se maior que o verificado no estudo de Mendez et al (2011) que verificou concentrações finais variando entre 20 -87 mg/L e 10 – 50 mg/L para coberturas tipo galvalume (chapa revestida com zinco, alumínio e silício) porque a superfície lisa contribui para o descarte dos sólidos, conforme esclarecido por Egodawatta et al (2009 apud MENDEZ et al, 2011).

Para turbidez, o sistema autolimpante proporcionou resultados próximos para os sistemas em escala plena e piloto (7 -30 NTU e 5 -35 NTU) sugerindo que o tamanho da superfície não influenciou na deposição e/ou carreamento em termos de concentração de sólidos (MENDEZ et al, 2011)

As coberturas metálicas apresentaram menores valores de condutividade elétrica (9 - 60) se comparadas com a cobertura cerâmica (20,48  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 382,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Os valores de coliformes totais, após a abstração foram menores que 1 NMP/100 ml (LEE; BAK; HAN, 2012), no entanto em escala piloto foi verificado maiores concentrações (até 770 NMP/100ml) na pesquisa de Mendez et al (2011) para *E. coli*, Lee, Bak e Han (2012) verificou ausência após a abstração inicial.

Considerando os materiais cerâmico e metálico avaliados por Lee, Bak e Han (2012) observa-se que a abstração na cobertura metálica mostrou-se mais eficiente (285,8 mg/L para 15,1 mg/L) se comparado com a cobertura cerâmica (219,3 mg/L para 41,6 mg/L), ocorrendo o mesmo para a variável sulfato, que no metal reduziu de 2,87 mg/L para 0,11mg/L e no cerâmico de 3,1 mg/L para 2,87 mg/L, para nitrato que foi reduzido no metálico de 2,8 mg/L para 0,02 mg/L, entretanto para cerâmico aumentou de 1,89 mg/L para 2,81 mg/L.

Para os casos dos metais, observa-se que somente na cobertura metálica a abstração manteve valores maiores da variável zinco (77 - 362  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) (MENDEZ et al, 2011) se comparados com a cerâmica (131 - 19  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) onde houve redução (LEE; BAK; HAN, 2012), para as variáveis ferro, chumbo e cobre, o descarte na cobertura cerâmica importou em valores sensivelmente menores (respectivamente 24  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 3  $\mu\text{g}/\text{L}$  e 12  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) que a abstração no metal (27  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 3  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 16  $\mu\text{g}/\text{L}$  respectivamente) (LEE; BAK; HAN, 2012),o que esteve dentro dos valores limítrofes (BRASIL, 2011).

Das variáveis da Tabela 7 os valores de turbidez estiveram fora do valor máximo permitido (BRASIL, 2011), o que pode implicar em demanda de maiores quantidades de volume de descarte. Kus et al (2010) mencionaram que, embora o descarte de pelo menos 2 primeiros mm de chuva pudessem impactar positivamente na qualidade da água, a redução dos valores de chumbo e turbidez exigiram aproximadamente os primeiros 5 mm de chuva para atender aos níveis seguros.

Na Tabela 8 é mostrado os volumes de abstrações utilizados nos diversos sistemas, estudados pelos respectivos autores.

Tabela 8 – Resultados do estudo qualitativo de água de chuva após a abstração inicial dos primeiros milímetros na cobertura cerâmica e seus respectivos autores.

Referência	Aplicação	Volume
Lee, Bak e Han (2012)	Utilização doméstica potável	2 mm
Andrade (2012)	Utilização doméstica potável	1 mm
Kus <i>et al.</i> (2010)	Utilização doméstica potável	2 a 5 mm
Gikas e Tsihrintzis (2012)	Utilização doméstica não potável	0,11 a 0,13 mm
Mendez <i>et al.</i> (2011)	Não informado	0,40 mm
ABNT (2007)	Utilização não potável	2 mm

Fonte: Adaptado de Lee, Bak e Han, 2012; Andrade, 2012; Kus et al, 2010; Gikas e Tsihrintzis, 2012; Mendez et al, 2011; ABNT, 2007.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva devem possuir barreiras sanitárias eficientes para minimizar a contaminação e crescimento microbiano. Desta forma, a abstração é uma importante etapa, se não indispensável para sistemas cuja finalidade é garantir segurança alimentar, consequentemente potável e sua utilização melhora consideravelmente a qualidade da água.

O nível de eficiência da abstração pode depender de muitas variáveis tais como tipo do telhado, inclinação da cobertura, intensidade da chuva, proximidade de fontes importantes de poluentes atmosféricos. O dispositivo também pode ser um importante item na definição de etapas imediatamente sequenciais no tratamento bem como seus níveis de eficiência.

### 3.2.4 Reservação

A reservação da água de chuva é uma prática que objetiva o armazenamento para utilizações potáveis ou não e constitui uma forma de utilização racional de água em edificações domésticas, comerciais, industriais, ou ligadas ao setor público, uma vez que podem aliviar o consumo de água potável fornecida por sistemas de abastecimento.

Para atendimento de demandas potáveis, o armazenamento de água pode implicar em alterações qualitativas passíveis de monitoramento, devendo o sistema de aproveitamento pluvial ser cuidadosamente projetado, com o objetivo de minimizar déficits qualitativos. Dessa forma, as etapas anteriores a reservação devem ser operadas em plena eficiência de modo a não favorecer o carreamento de poluentes para o interior do reservatório.

Em lugares com elevada precipitação é possível reduzir o volume do reservatório, o que favorece a elevação dos mesmos sobre estruturas. Isto disponibiliza altura geométrica e carga hidráulica para alimentação de pontos de água no interior do domicílio. Os pontos hidráulicos no interior da edificação proporcionam menores esforços individuais e maior segurança em relação à contaminação no ponto de uso. Em lugares com menores precipitações os reservatórios tendem a ser maiores, logo a elevação dos mesmos pode ser inviável, devendo os mesmos serem apoiados ou semi enterrados, o que implica em maiores custos de implantação, possíveis deslocamentos e esforços ergonômicos maiores se o sistema não possuir conjunto elevatório.

Alguns estudos têm sido conduzidos para caracterizar a qualidade da água da chuva armazenada em reservatórios. Vialle et al (2011) avaliaram a qualidade da água da chuva na França e concluíram que a água aproveitada não atendia padrões de potabilidade franceses para bacteriologia. Wilbers et al (2013) estudaram a qualidade da água de 78 sistemas de aproveitamento de água de chuva no Delta do Mekong, no Vietnã, e concluíram que os maiores contribuintes eram coliformes totais e chumbo. Morrow, Dustan e Coombes (2010) pesquisaram a qualidade da água em 10 sistemas pluviais na Austrália e concluíram que a deterioração da qualidade da água era oriunda de tubulações do sistema, com principais contribuições das variáveis sódio, potássio e magnésio. Para Andrade (2012), que estudou sistemas rurais de aproveitamento pluvial em Belém, a água armazenada não atendia aos padrões de potabilidade (BRASIL, 2011) para variáveis bacteriológicas analisadas após abstração e filtração. Matos (2014) analisou os riscos de três sistemas de aproveitamento de água de chuva e verificou turbidez e bactérias do grupo coliformes acima do limite dos padrões de potabilidade. Na pesquisa realizada por Simmons et al (2001) em 125 sistemas de aproveitamento de água da chuva para utilização doméstica em áreas rurais de Auckland, na Nova Zelândia para zinco, cobre e chumbo e microorganismos patogênicos onde 17,6% excederam a um ou mais dos valores máximos de referência para parâmetros químicos de potabilidade na Nova Zelândia e 70 (56,0%) sistemas excederam os critérios microbiológicos de <1 NMP/100 mL. Na Tabela 9 são mostrados os resultados do estudo qualitativo da reservação da água de chuva e seus autores.

Tabela 9 – Resultados do estudo qualitativo da reservação da água de chuva e seus respectivos autores.

Variável	Vialle et al (2011)			Wilbers et al (2013)	Morrow, Dustan e Coombes (2010)		Andrade (2012)	Andrade Neto (2012)	Matos (2014)		Simmons et al (2001)
	Média	Mediana	DP	Mín.- Máx.	Média	DP	Mín. – Máx.	Mín. – Máx.	Média	DP	
pH	6,5	6,2	1,1	4,3–8,2	NR	NR	3,8 - 6,5	3,9-6,2	6,38	0,78	5,2 – 11,4
CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	56,2	38,2	45,5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
cor (UC)	18*	19*	10*		NR	NR	0,26 – 20	1 a 23	6,19	1,98	NR
turbidez	2,4	2,0	1,4	0–10,1	NR	NR	0 - 1,63	0-1,29	2,84	2,21	0,04 – 4,70
SDT( $\text{mg l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	5,0–113	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
dureza ( $\text{mg/L}$ )	0,16	0,11	0,13	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
alcalinidade total	0,10	<0,20	0,20	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
sulfato ( $\text{mg/L}$ )	1,9	1,8	0,92	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
nitrato ( $\text{mg/L}$ )	2,8	2,4	1,6	0,1–3,9	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
nitrito ( $\text{mg/L}$ )	NR	NR	NR	0,004–0,091	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
chumbo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	<1,0–16,9	0,228	0,228	NR	NR	NR	NR	<3 - 140
zinco ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	0,1–2208	73	16	NR	NR	NR	NR	0,5 -3200
cádmio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	<0,1–1,3	0,01	0,00	NR	NR	NR	NR	NR
cromo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	<0,4–2,4	0,27	0,06	NR	NR	NR	NR	NR
cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	<0,3–8,1	5,11	3,37	NR	NR	NR	NR	<2 - 4500
ferro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	2,3–84,6	0,12	0,12	NR	NR	NR	NR	NR
mercúrio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	<1,2–1,7	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
magnésio( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	270	240	150	28,0–6294,9	387	128	NR	NR	NR	NR	NR
manganes( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	NR	NR	NR	0,1–85,3	16	6,21	NR	NR	NR	NR	NR
cálcio( $\text{mg/L}$ )	4,4	2,9	4,0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
sódio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	1100	930	590	2,5–2693,9	3148	978	NR	NR	NR	NR	NR
Potássio	120	780	1100	NR	178	50	NR	NR	NR	NR	NR
CT (NMP/100 ml)	656	40	2 189	0–102,500	NR	NR	93% <sup>4</sup>	100% <sup>4</sup>	100% <sup>4</sup>	-	1-19000
E.coli(NMP/100ml)	148	2	757	0–4650	NR	NR	40%	80%	NR	NR	1-840
CF(%positivo)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	92%	-	NR

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.

\*:mg Pt.L<sup>-1</sup>, 1: sistema 1, 2: sistema 2, 4: % de valores positivos. CE: condutividade elétrica, SST: sólidos suspensos totais, COT: carbono orgânico total, COD: carbono orgânico dissolvido, CT:coliformes totais, NR: não realizado.

Os valores expressos na Tabela 9 apontam que a turbidez mostrou-se relativamente baixa apresentando valor máximo entre os reportados pelos autores de 10,1 UNT (WILBERS et al, 2013) e os menores verificados por Andrade (2012) e Wilbers et al (2013) no valor de 0 UNT. Os menores valores verificados podem ter sido motivados pelo anterior descarte e filtração. Na pesquisa realizada por Simmons et al (2001), somente 4% da amostragem apresentou turbidez superior ao limite recomendado pelas diretrizes de potabilidade da Nova Zelândia. Para a variável cor aparente os valores de  $18 \pm 10$  UC foram reportados por Vialle et al (2011), e por Andrade (2012), de 0 – 23 UC, foram os maiores em comparação com o informado pelo estudo de Matos (2014) ( $6,19 \pm 1,98$  UC).

Para a variável pH os valores verificados ficaram compreendidos entre 3,8 e 11,4. Os menores valores foram verificados na Região das Ilhas, em Belém do Pará no estudo de Andrade (2012), cujo reservatório era de 500 L. Para um sistema urbano implantado na RMB (MATOS, 2014), o valor de pH de  $6,3 \pm 0,9$  foi sugestivamente maior que o estudo de Andrade (2012) realizado em uma zona rural da RMB, Pará, que ficou entre 3,8 – 6,5, o que pode ser atribuído a rotatividade da água dos sistemas mencionados que pode ter produzido um menor tempo de detenção, assim pode não ter havido tempo hábil para o equilíbrio do pH, ao contrário do que ocorreu em outros sistemas, conforme afirmado por Wilbers *et al.* (2013), onde o valor do pH tendeu a um aumento após a reservação (LEE et al, 2010; AMIN e HAN, 2011; MOON et al, 2012, FARRENY et al, 2011; MATOS, 2014; KINGETT MITCHELL LTD., 2003 apud MENDEZ et al, 2011; GÖBEL; DIERKES; COLDEWEY, 2007; MEERA ANDAHAMMED, 2006 apud FARRENY, 2011). Na pesquisa realizada por Simmons et al (2001), 74% dos sistemas amostrados apresentaram pH alcalino e 41% dos sistemas apresentaram valores de pH fora do intervalo de 6,5 a 8,5, sendo que 32 sistemas (25%) apresentaram pH ácido.

Para a variável zinco Wilbers et al (2013) e Simmons et al (2001), verificaram valores até 2208 e 3200  $\mu\text{g/L}$  respectivamente, sendo esse valor expressivo em relação aos demais estudos, no entanto abaixo do valor de referência para os padrões brasileiros (BRASIL, 2011). Wilbers et al (2013) verificaram também concentrações de até 6,294 mg/L de Magnésio na água armazenada no Delta do Mekong, Vietnã. Os valores de chumbo reportados em tanques de reservação foram inferiores a 16,9  $\mu\text{g/L}$ , entretanto são considerados inadequados pela portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) valores acima de 10  $\mu\text{g/L}$ .

Os indicadores bacteriológicos (bactérias do grupo coliformes) foram positivos em todos os estudos que realizaram pesquisa para contagem ou presença, indicando que o reservatório pode ser ambiente favorável para a proliferação da mesma, o que concorda com os resultados da pesquisa realizada por Ahmed et al (2014) que quantificaram bactérias patogênicas oportunistas em 72 sistemas de aproveitamento de água de chuva residenciais no período entre maio e julho de 2012 em Queensland, Austrália, dos quais 58% destinavam a água para fins potáveis e 42 % para fins não potáveis. Os resultados apontaram que 74% e 94% das amostras estavam contaminadas por *E. coli* e *Enterococcus spp.*, respectivamente, reportaram ainda que 29%, 15%, 13% e 6% dos sistemas também estavam contaminados por *Aeromonas hydrophila*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Legionella pneumophila*, respectivamente. Foi encontrada uma significativa correlação entre *E.coli* e *Enterococcus spp.* nas amostras (AHMED et al, 2014)

A expressiva atividade microbiológica ocorrida no interior dos reservatórios é relatada por diversos autores em um âmbito descritivo, como explicação para o fato, Morrow, Dustan e Coombes (2010) afirmam que vários processos de floculação/coagulação podem resultar na sedimentação de material sólido (bem como do ferro) no fundo do reservatório, e em decorrência disso pode haver crescimento de microrganismos e bactérias presentes em biofilmes formados.

A reservação da água pode resultar em uma série de reações em função do tempo de detenção, da temperatura local, da abstração e captação. Assim, as águas de chuva oriundas de anterior descarte inicial tendem a possuir boa qualidade físico-química, mas apresentam déficit qualitativo para variáveis bacteriológicas (VIALLE et al, 2011; ANDRADE, 2012, WILBERS et al, 2013), o que reforça a necessidade de proceder a desinfecção da mesma.

### 3.2.5 Filtração de água de chuva

A filtração consiste na redução de partículas suspensas e/ou dissolvidas e de microrganismos presentes na água. Isto ocorre através do seu escoamento por um meio poroso (DI BERNANDO; DANTAS, 2005).

A filtração da água de chuva é considerada uma barreira sanitária em sistemas de abastecimento de água. Ainda que os sistemas de aproveitamento pluvial possuam dispositivo de abstração inicial, que é considerado um importante



marco qualitativo, a filtração pode diminuir a concentração de sólidos no ponto de jusante e importar em melhor qualidade. A filtração de água de chuva é potencialmente simples e pode ter fácil manutenção, sendo recomendável sua aplicação após a abstração do telhado ou em ponto de uso.

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 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) que fixa as condições exigíveis para elaboração de Projeto de Estação de Tratamento de água para abastecimento público.

Em nível domiciliar, os filtros em ponto de uso devem atender ao disposto na NBR 16098 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) – Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano – Requisitos e métodos de ensaio. Esses aparelhos devem possuir selo com a aprovação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) em lugar visível onde o consumidor possa visualizar o nível de tratamento da água em níveis de retenção de partículas, cloro livre e eficiência bacteriológica.

A etapa de filtração de um sistema de aproveitamento de águas pluviais deve ser concebida considerando as seguintes condições:

- a) Vazão de atendimento: varia em torno da população atendida e do consumo individual;
- b) Uso proposto: os sistemas de abastecimento de água com aproveitamento pluvial podem ter utilização potável ou não potável e podem demandar tratamento que nivele a qualidade da água aos níveis requeridos, com a finalidade de minimizar a concentração de microorganismos patogênicos, substâncias químicas e sólidos (HELMREICH; HORN, 2009 apud MOREIRA NETO et al, 2012);
- c) Requisitos operacionais e de manutenção: devem ser levados em consideração quando da concepção e projeto dada as condições plenas disponíveis para a boa operação e manutenção do sistema. Pode estar relacionado ao uso proposto, à população atendida, à localização, aos recursos humanos e financeiros disponíveis para implantação e manutenção, assim como a disponibilidade financeira e o apoio técnico podem inferir em simplificações em nível de projeto, sem prejuízo da eficiência mínima requerida para o uso.

Após a análise das condições, a unidade de filtração escolhida deverá ser a mais adequada para atendimento do nível qualitativo requerido. As técnicas de filtração de água de chuva podem ocorrer em leito granular e rígido (cerâmico) entre outros, conforme verificado nos estudos de Moreira Neto et al (2012), Andrade (2012), Naddeo et al (2013), Bielefeldt, Kowalski, Summers (2009).

No que diz respeito aos filtros, as taxas de filtração são importantes parâmetros de projeto para o tratamento de água. Os filtros podem ter baixa taxa filtrante, também denominado de filtro lento ou alta taxa filtrante, que são denominados de filtros rápidos.

As baixas taxas de filtração implicam em menores velocidades, o que favorece a atividade biológica. Esse tipo de filtração viabiliza não somente a remoção de partículas como também a desinfecção por meio da atividade microbiológica (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). Usualmente meios filtrantes com menores granulometrias são utilizados (SUTHERLAND, 2008). A espessura da camada filtrante deve ser de 0,90 m e os diâmetros do material filtrante devem estar entre 0,25 e 0,35 mm. Os filtros lentos devem possuir proteção hídrica e devem possuir pelo menos duas unidades filtrantes funcionando em paralelo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

A filtração lenta pode ter boa eficiência na redução de cor aparente, turbidez e coliformes. Murtha e Heller (2003) avaliaram turbidez e cor aparente, além de microorganismos 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 da camada 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.

Os filtros rápidos são dispositivos de tratamento de água voltados para a remoção de partículas que ocorrem em velocidades de aproximação maiores. Podem ser de camada filtrante simples ou dupla, de fluxo ascendente ou descendente, sendo os de fluxo ascendente sempre de camada simples (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). De acordo com a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), as taxas de filtração em unidades de uma camada estão situadas entre 120 e 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e os filtros de camada dupla entre 240 e 600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Algumas pesquisas foram realizadas para verificar a eficiência da filtração lenta da água de chuva, usualmente como medida complementar ao tratamento. Andrade (2012) estudou a eficiência de filtros de areia (0,25 a 0,35mm), coeficiente de uniformidade: 2 e 3, em taxas de 7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, implantados na Região das Ilhas em Belém. Matos (2014) estudaram um sistema de aproveitamento de água de chuva na RMB e verificaram que a filtração aumentou sensivelmente a turbidez de 2,8± 2,2 UNT para 3,6 ±2,3 UNT, para a cor não indicou, ou mencionou, melhoria significativa da mesma (de 6,2±2 UC para 5,5 ± 3,9 UC), demonstrando que o filtro de areia pode não ter importado melhorias qualitativas para essas variáveis. Moreira Neto et al (2012) avaliaram o desempenho de um filtro lento piloto de água de chuva, com taxas de 1 a 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia, implantado no Aeroporto Internacional de Minas Gerais. Naddeo et al (2013) estudaram um sistema de microfiltração para água de chuva, de dezembro de 2008 a maio de 2009, na Universidade de Salerno, na Itália, composta por unidade de pré-filtração (membrana com diâmetro de 75 µm) e filtração (adsorção em carvão ativado granular seguida de microfiltração de 0,5 µm) e desinfecção UV no mesmo corpo, verificando eficiência satisfatória. A Tabela 10 reúne os resultados da revisão e os respectivos autores.

Tabela 10 – Resultados do estudo qualitativo da filtração da água de chuva e seus respectivos autores.

Variável	Moreira Neto et al (2012)		Andrade (2012)	Andrade Neto (2012)	Matos (2014)	Naddeo et al (2013)				BRASIL (2011)
	Água bruta	Filtro lento	Mínimo - Máximo	Mínimo - Máximo	Média± Desvio Padrão	Microfiltração-Desinfecção		CARVÃO GRANULAR		
						Média±Desvio Padrão	%eficiencia	Média±Desvio Padrão	% eficiência	
pH	7,2	6,8	3,8 - 6,5	3,9-6,2	6,±0,7	NR	NR	NR	NR	6 -9
CE (µs/cm)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Cor (UC)	NR	NR	0,26 - 20	1 a 23	5,5±3,9	NR	NR	NR	NR	15
Turbidez (UNT)	0,79	1,9	0 - 1,63	0-1,29	3,6 ±2,3	0,42 ± 0,06	98.3 ± 1.6	2.13 ± 0.42	59.7 ± 12.7	1
SDT (mg l <sup>-1</sup> )	45	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1000
SST (mg l <sup>-1</sup> )	33	46	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	-
COT (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	3,383 ± 0.43	42,8±6,9	4.278 ± 0.49	27,8±7,1	-
CT(NMP/100 ml)	NR	NR	93%*	100%**	100%*	0 ± 1	99.99 ± 0.0	61 ± 29	59.8 ± 19.1	0
<i>E.coli</i> (NMP/100 ml)	41	NR	40%*	80%**	100%*	0 ± 0	99.99 ± 0.0	108 ± 92	67.9 ± 14.3	0

Fonte: Adaptado de Moreira Neto et al, 2012; Andrade, 2012; Andrade Neto, 2012; Matos, 2014; Naddeo et al, 2013; Brasil, 2011.

\*:% de valores positivos, CE: condutividade elétrica, SST: sólidos suspensos totais, COT: carbono organico total, SDT: sólidos dissolvidos totais, CT:coliformes totais, NR: não realizado.

Para Andrade (2012) a filtração em leito de areia não se mostrou eficiente para redução de coliformes totais e *E.coli*, no entanto a taxa informada não estava dentro do esperado para filtração lenta, o que pode ter comprometido a eficiência bacteriológica do mesmo. No experimento de Matos (2014), os valores de turbidez ( $3,59 \pm 2,36$  UNT) foram os maiores reportados enquanto que o menor intervalo verificado foi apontado por Naddeo et al (2013), cujo valor foi de  $0,42 \pm 0,06$  UNT, isto é, dentro do limite seguro estabelecido pelo padrão de potabilidade brasileiro (até 0,5 ou até 1 UNT). Tal efeito pode ser atribuído à combinação do carvão ativado granular e microfiltração. 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.

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 média 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.

Para os estudos reportados, a microfiltração se mostrou mais eficiente que a filtração em areia, pois os valores de turbidez na saída do sistema filtrante foram menores, atendendo ao padrão de potabilidade de 0,5 a 1 UNT, para filtro lento e rápido respectivamente (BRASIL, 2011).

Outra alternativa potencialmente viável para a filtração de água de chuva, em nível domiciliar, pode ser por meio de leitos rígidos em ponto de uso, geralmente feita em filtros de gravidade. Esses filtros são compostos por reservatórios superior e inferior. Na parte superior onde é despejada a água bruta, está localizada a unidade filtrante (denominada de vela), as velas são feitas através do aquecimento de material argiloso o que vem a calcificar a matéria orgânica presente e na parte inferior do filtro fica armazenada a água filtrada (BIELEFELDT; KOWALSKI; SUMMERS, 2009).

Segundo Laan et al (2014), em 2012, mais de 4 milhões de pessoas utilizaram filtros cerâmicos como parte integrante de sistema de tratamento

domiciliar de água, para suprimento diário. Esses filtros podem ser impregnados com prata coloidal, com o objetivo de otimizar a remoção de bactérias do grupo coliforme (BIELEFELDT; KOWALSKI; SUMMERS, 2009). Podem ter eficiência e viabilidade superiores a outros tratamentos domiciliares no que tange as variáveis microbiológicas quando comparados com o filtro lento de areia e SODIS, especialmente em longo prazo, conforme explanado por Hunter (2009 apud LAAN et al (2014). O referido dispositivo possui além de boa eficiência, a praticidade de limpeza, manutenção e baixo custo de substituição de velas filtrantes.

A filtração de água através de cerâmicas filtrantes tem sido objeto de vários estudos. Pode remover satisfatoriamente sólidos em suspensão e bactérias, conforme Simonis e Basson (2011) que verificou eficiência bacteriológica de 99%, o que converge com os resultados de Laan et al (2014) e Sobsey (2002). A periodicidade máxima de limpeza deve ser quadrimestral, segundo Mellor et al (2014). A adição de camada de prata coloidal às cerâmicas filtrantes pode aumentar expressivamente o efeito bactericida das mesmas (BIELEFELDT; KOWALSKI; SUMMERS, 2009; BIELEFELDT et al, 2010; LAAN, 2014), no entanto, segundo Bielefeldt et al (2010) apud LAAN 2014, o log de remoção de vírus (LRV) esteve entre 0,43 e 2,4 (63 e 99.6% de eficiência, respectivamente) para seis filtros cerâmicos testados com porosidade variando entre 0,6 a 3  $\mu\text{m}$ , 0.02–200  $\mu\text{m}$  e 0,02-15  $\mu\text{m}$ , não sendo considerada segura pois esteve abaixo de 3 (LRV<3 é considerado seguro, segundo WHO (2011 apud LAAN, 2014). Os vírus são menores que as bactérias, o que pode ter proporcionado o livre acesso pelos poros das velas, além do mais são mutáveis e podem ter se tornado resistentes a ação da prata coloidal.

A tecnologia de tratamento de água em ponto-de-uso tem se mostrado promissora na prevenção da diarreia infantil, se corretamente operados (SIMONIS; BASSON, 2012). Dada a possível baixa turbidez da água de chuva, é provável que em algumas ocasiões os filtros em ponto de uso podem ser mais práticos e eficientes que os filtros de areia, exceto quando se tratar de um pequeno aglomerado de pessoas a serem atendidas por um sistema central. Neste caso o filtro de areia pode ter versatilidade no que tange as vazões maiores, o que pode disponibilizar água tratada para uma pequena população multifamiliar. Entretanto cada caso requer uma solução específica, pois a qualidade da água de montante pode demandar um método ou técnica para cada caso.

### 3.2.6 Desinfecção

Segundo Heller e Pádua (2006) a desinfecção é um processo que usa um agente químico ou não químico com o objetivo de inativar os microorganismos patogênicos presentes na água, compreendendo as bactérias, protozoários e vírus, além de algas, por meio da ocorrência de um ou mais dos seguintes mecanismos: destruição da estrutura celular, desestabilização no metabolismo com inativação de enzimas e/ou alteração na biossíntese e no crescimento da célula, inviabilizando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e co-enzimas.

De acordo com o Art. 24 da Portaria 2914 (BRASIL, 2011), toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração, de modo que o teor máximo de cloro residual livre recomendado em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 0,2 - 2 mg/L.

Alguns dos principais métodos de desinfecção mais utilizados em água de chuva são: cloração, radiação ultravioleta e SODIS (*Solar disinfection*).

A cloração é uma das técnicas mais difundidas em nível mundial para a desinfecção de água e é considerada viável pelo baixo custo relativo e a alta eficiência (SOUZA et al, 2012). Segundo Heller e Pádua (2010) a cloração pode ser empregada tanto para fins preventivos quanto corretivos.

A ação desinfetante está diretamente relacionada ao pH do meio, à turbidez, à temperatura, entre outros. Em relação à turbidez, esta variável pode proteger microorganismos da exposição ao cloro e assim pode aumentar o consumo do desinfetante em prol da efetividade da ação (SOUZA; SARTORI; DANIEL, 2000 apud WISBECK et al, 2011). O aumento da temperatura influencia positivamente na cloração, desta forma, em lugares mais frios a ação do cloro pode demorar mais a ocorrer.

Outra tecnologia de desinfecção de água é por meio da radiação ultravioleta que pode ter fonte natural (raios solares) ou industrializada (reatores). Ambas as situações são potencialmente eficientes e possuem vantagens e desvantagens.

Segundo PROSAB 3 (2003 apud PIZZOLATTI, 2007), a desinfecção por radiação ultravioleta ocorre pela exposição dos microorganismos presentes na água à irradiação eletromagnética emitida por raios ultravioleta. A radiação UV atravessa a parede celular dos microorganismos, reagindo com ácidos nucleicos e outros componentes que são vitais às células, ocasionando danos ou morte das mesmas. A dose letal depende de uma série de condições físico-químicas da água, como por

exemplo, turbidez abaixo de 5 UNT, sólidos em suspensão até 10 mg/L, concentração de ferro inferior a 0,3 mg/L e dureza abaixo de 120 mg/L) (WISBECK et al, 2011).

Para Naddeo et al (2013) a radiação UV com lâmpadas despertou interesse maior nos últimos anos devido à sua capacidade de inativação de microorganismos presentes na água com eficiência superior 99%.

A radiação UV pode ser potencialmente viável para aplicação em sistemas de aproveitamento pluviais pela efetividade, entretanto pode ser onerosa (no caso de utilização de equipamentos com lâmpada UV) e não garante a formação de concentrações residuais, o que não assegura o controle do crescimento bacteriano posterior. A técnica pode ocorrer por meio de aparelhos industrializados ou por meio do reaproveitamento de garrafas (Figura 4).

Figura 4 – Alternativas para desinfecção. Legenda: 1) Reator Ultravioleta; 2 e 3) Garrafa exposta ao raio solar para desinfecção (SODIS).



Fonte: Amin e Han, 2009.

A Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011) recomenda a dosagem mínima de 1,5 mJ/cm<sup>2</sup> para 0,5 log. de inativação de cisto de *Giardia* spp.

A radiação UV também pode ser aproveitada de maneira simplificada através da técnica conhecida como desinfecção solar da água (SODIS) que é fundamentada no princípio da ação patogênica da radiação ultravioleta promovida pela radiação solar. Segundo Marques et al (2013) o efeito biocida da luz



solar é devido a processos ópticos e térmicos e seus fortes efeitos sinérgicos sobre o microorganismo, quando a temperatura for superior a 50 °C sendo uma alternativa para redução da morbidade e mortalidade de crianças que vivem em áreas rurais (SOBSEY, 2002; FEWTRELL et al; 2005; HOBBS; MA'USEZAH, 2003 apud AMIN; HAN, 2009).

Para Kehoe et al (2001 apud MARQUES et al, 2013) e Martin-Dominguez et al, (2005 apud MARQUES et al, 2013) a técnica SODIS possui efeito bactericida quando a temperatura supera 30 °C, a turbidez da água não for elevada. Os recipientes transparentes devem ser expostos por um período mínimo de 5 horas de insolação ou 555 W/m<sup>2</sup> (MARTIN-DOMINGUEZ et al, 2005 apud MARQUES et al, 2013). A técnica de desinfecção solar é recomendada para regiões localizadas entre as latitudes de 35° N e 35 °S (ACRA et al,1990 apud MARQUES et al, 2013), o que contempla o estado do Pará, que está localizado na faixa tropical do planeta.

A técnica sodis pode ser otimizada com a utilização de concentrador solar como medida de segurança, após filtração da água e descarte do volume ótimo dos primeiros milímetros de água, nessas condições a técnica possui potencial para ser aplicado no estado do Pará, em especial para o aproveitamento de água de chuva em localidades desprovidas de distribuição de água potável.

Segundo Marques et al (2013), que estudaram a eficiência da técnica SODIS utilizando concentradores solares com bases reflexiva (filme de alumínio) e absorviva (pintada de preto), para águas superficiais, em Minas Gerais, Brasil, bem como a utilização da técnica SODIS com concentrador solar (SOCO-DIS), onde as garrafas foram dispostas no interior de uma caixa revestida de alumínio e resultados seguros foram obtidos mediante a combinação SOCO-DIS, quando comparados com a aplicação simples do SODIS sobre telhados de amianto. Resultados semelhantes foram encontrados por Amin e Han (2009), que compararam a técnica SODIS com a simples disposição de garrafas sobre as coberturas com a técnica SOCO-DIS a utilização de concentradores solares que consistiam de caixas revestidas de alumínio para disposição de garrafas a serem expostas ao sol, proporcionando um incremento de 20 - 30% na técnica se comparados com utilização simples do SODIS, que acrescentaram que a técnica SODIS reduziu a concentração bacteriana, mas não eliminaram completamente após a exposição. Para Amin e Han (2009), medidas como a inclinação dos recipientes e a redução do pH da água da chuva para 5 importou em aumento de 10% - 15% e 10% - 20% respectivamente, entretanto o aumento da turbidez reduziu a eficiência em até 15%

para o sistema SOCO-SODIS. Neste estudo o aumento da temperatura não foi o grande contribuinte para a redução da concentração microbiana, pois resultados importantes foram observados no sistema SOCO-SODIS com base reflexiva (temperaturas menores) em relação ao que possuía base absorviva (temperaturas superiores a 48°), o que pode significar que o reflexo e o retorno dos raios UV podem ser mais eficientes do que o incremento da temperatura em dias com luz solar moderada. Os dois sistemas apresentaram eficiências aproximadas, em dias de fortes radiações solares (AMIN; HAN, 2009; AMIN; HAN, 2011).

Já Amin e Han (2011) verificaram 40 % de melhora no efeito bactericida para a técnica combinando concentrador solar e pH igual a 3 utilizando limão e vinagre (2,5 ml e 1,7 ml respectivamente por litro), no entanto a remoção completa não foi verificada em dias de pouca insolação no experimento realizado na Universidade Nacional da Coreia do Sul, em Seul.

Na Tabela 11 são mostrados os resultados do estudo qualitativo da desinfecção da água de chuva pelas técnicas SODIS e seus respectivos autores.

Tabela 11 – Resultados conclusivos do estudo qualitativo da desinfecção da água de chuva pelas técnicas SODIS e seus respectivos autores.

<b>Técnica</b>	Amin e Han (2009)	Amin e Han (2011)	Marques et al (2013)
SODIS	Sem remoção completa de coliformes	Sem remoção completa de coliformes	NR
Concentrador solar combinado com SODIS	Remoção completa (CT, CF, <i>E.coli</i> ) sob condições de moderada e fortes insolação.	Remoção completa (CT, CF, <i>E.coli</i> ) sob condições de fracas, moderadas e fortes insolação, em pH=3.	Eficiente tanto para base reflexiva, quanto para a combinação da reflexiva com pintura preta até a metade da garrafa.

Fonte: Adaptado de Amin e Han, 2009; Amin e Han, 2011; Marques et al, 2013.

\*NR: Não realizado

Os resultados dispostos na Tabela 11 apontam que a técnica simplificada do concentrador solar se torna mais eficiente se utilizada com concentrador solar que propicie o reflexo dos raios solares, bem como sob baixa turbidez e pH baixo. Para sistemas implantados em lugares remotos, a técnica pode ser uma alternativa quando não houver acesso aos desinfetantes químicos, ou ainda quando a concentração residual for dispensável, devendo ser utilizado sobre os concentradores solares que potencializam a ação bactericida da técnica.

Alguns trabalhos têm sido conduzidos com o objetivo de estudar a desinfecção da água de chuva. Rocha, Reis e Araújo (2011) avaliaram um módulo experimental de tratamento da água da chuva composto por dois filtros tipo membranas de celulose (25 microns) e por unidades de desinfecção por UV e cloração tendo verificado que ambos os métodos são eficazes para o atendimento de padrões microbiológicos. Matos (2014) também monitorou um módulo experimental de tratamento de água de chuva cujo tratamento era abstração inicial, filtração e radiação UV por reator. A autora verificou que a técnica foi satisfatória, pois removeu coliformes totais e *E.coli* presentes na água pós filtração. Wisbeck et al (2011) avaliaram o desempenho da radiação ultravioleta em águas captadas diretamente da atmosfera de telhados de fibrocimento em Joinville (SC), os resultados apontaram a eficiência da desinfecção com a inativação de 100% dos coliformes totais e dos coliformes termotolerantes, bem como o não aparecimento desses micro-organismos em amostras tratadas e estocadas por até 72 horas, entretanto, bactérias heterotróficas foram identificadas em 24, 48 e 72 horas após a dosagem. Pizzolatti (2007) comparou a desinfecção da água da chuva por cloração e radiação ultravioleta, em ambos os métodos não foram verificados patógenos (coliformes totais e *Escherichia coli*) no ponto de utilização da água.

Na Tabela 12 são apresentados resultados de pesquisas de métodos de desinfecção largamente utilizados aplicados ao tratamento de água de chuva.

Tabela 12 – Resultados do estudo qualitativo da desinfecção da água de chuva e seus respectivos autores.

Variáveis	Rocha, Reis e Araújo (2011)			Matos (2014)		Wisbeck <i>et al.</i> (2011)				Pizzolatti(2007)		
	Após filtro	após cloração	após uV	após filtro	após uV	Telhado1	após UV1	Telhado2	após UV2	após filtro	após uV	após cloração
Turbidez (UNT)	1	0,82	0,62	3,6±2,3	3,9±2,5	4,35±3,40	NR	2,99±0,64	NR	0,78±0,86	NR	NR
Cor Aparente (uH)	10,51	5,53	6,07	5,5±3,9	6±3,9	NR	NR	NR	NR	12,24±6,36	NR	NR
pH	7,66	7,92	7,32	6,3±0,7	5,8±0,8	NR	NR	6,24±0,25	6,33±0,29	7,22±0,42	NR	NR
Condutividade (µS/cm)	46,04	37,39	28,63	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	31,11	25,27	19,35	NR	NR	NR	NR	NR	NR	80,16±83,14	NR	NR
Sólidos Totais (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	39,4±21,03	NR	49,25±22,56	NR	NR	NR	NR
Ferro (mg/L)	0,01	0,01	0,01	NR	NR	0,054±0,056	NR	0,065±0,017	NR	NR	NR	NR
Dureza (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	17,20±5,36	NR	21,75±6,85	NR	NR	NR	NR
CT (NMP/ 100 mL)	34,12	0	0	100%	0	100%	0	100%	0	NI	0	0
CF (NMP/100 mL)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NI	0	0
E. coli (NMP/ 100 mL)	<18	0	0	100%	0	100%	0	100%	0	NR	NR	NR
Bactérias heterotróficas(NMP/ 100 mL)	NR	NR	NR	NR	NR	>500	0*	>500	0*	NR	NR	NR

Fonte: Adaptado de Rocha, Reis e Araújo, 2011; Matos, 2014; Wisbeck et al, 2011; Pizzolatti, 2007.

\*Reapareceram após 24 horas de exposição.

Os resultados dispostos na Tabela 12 apontam que tanto a cloração quanto a radiação UV podem ser eficientes na desinfecção da água de chuva para bactérias do grupo coliforme. No estudo de Rocha, Reis e Araújo (2011) a cloração baixou as variáveis cor aparente (10,51 UC para 5,53 UC) e turbidez (1UNT para 0,82 UNT) e estranhamente não diminuiu a concentração de ferro que se manteve em 0,01 mg/L em ambos os tipos de desinfecção, já radiação UV reduziu a turbidez para 0,62 UNT, e reduziu a cor para 6,07. No trabalho de Matos (2014) foi verificado aumento das variáveis turbidez e cor após a dosagem de radiação UV, que foram respectivamente  $3,6 \pm 2,3$  UNT para  $3,8 \pm 2,5$  UNT e  $5,5 \pm 3,9$  UC  $6 \pm 3,9$  UC. Wisbeck et al (2011) reportaram aumento da dureza de  $17,20 \pm 5,36$  mg/L para  $21,75 \pm 6,85$  mg/L após a radiação UV. Todos os autores verificaram resultados adequados para a concentração de bactérias do grupo coliforme tanto para radiação UV quanto para a cloração.

No estudo de Wisbeck et al (2011) foram reportados casos em que 24 horas após a exposição de radiação ultravioleta houve a recontagem de bactérias heterotróficas, o que foi atribuído à possibilidade de que elas estivessem, inicialmente, em baixa quantidade, inviabilizando a contagem, os autores sugeriram também que o substrato poderia estar nos sólidos totais.

Assim, a desinfecção de água de chuva é de extrema importância para a utilização humana ainda que para fins não potáveis, conforme disposto na NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Para ingestão e garantia da segurança alimentar, torna-se indispensável (ANDRADE NETO, 2012; THOMAS et al, 2014; MOREIRA NETO et al, 2012; AHMED et al, 2014; SIMMONS et al, 2001).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de estudo

A pesquisa foi realizada no campus Profissional da Cidade Universitária José Silveira Neto da Universidade Federal do Pará, localizado na Rua Augusto Correa, Nº 1, no município de Belém- PA, Brasil.

A unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC) foi instalada nas proximidades do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, em uma área sob a influência de vegetações (área de sombreamento). A proximidade ao Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) do Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes (GESA) reduziu os custos logísticos para a realização do monitoramento. O sistema experimental serviu ainda a atividades de ensino, como unidade demonstrativa.

Na Figura 5 é mostrada a localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.

Figura 5 – Localização da UETAC, no campus Profissional da Universidade Federal do Pará.



## **4.2 Caracterização da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva (UETAC) e das etapas de tratamento**

A UETAC se constituiu basicamente de uma edificação em madeira de lei, com cobertura em telha cerâmica tipo plan (área de 6m x 4m), reservatório elevado de água com capacidade de 500 litros (polietileno) sobre estrutura de madeira, calhas de PVC, tubulações de diversos diâmetros, filtros de areia e de barro.

A captação de água bruta é realizada no telhado cerâmico e a água encaminhada por calhas de PVC até os dispositivos de lavagem do telhado (descarte inicial da chuva de até 4 mm), reservação de água e filtração em paralelo por meio de 02 meios filtrantes diferentes. Configuração do sistema experimental está apresentada nos Anexos C e D

Após a água ser captada na calha de PVC, é direcionada para os reservatórios de abstração tendo em suas extremidades capes com flanges e torneiras de 20 mm com registro para esvaziamento. Após o preenchimento da abstração, o reservatório de fibra de vidro é alimentado e a água filtrada no filtro de barro (FB) e filtro de areia (FA), meio granular misto (areia e carvão ativado produzido a partir do caroço de açaí) e carvão produzido a partir do caroço de açaí. Para esta pesquisa somente serão estudados os FA e FB.

Esse projeto de pesquisa foi financiado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA) por meio do edital N° 008/2013 – FAPESPA referente ao Programa de Núcleos Emergentes.

Na figura 6 é mostrada a vista da UETAC onde são mostrados os pontos de amostragem de qualidade da água desta pesquisa, a saber: atmosfera, calha, abstração 1 mm, abstração 3 mm, reservatório (abstração 4 mm), FA e FB.

Figura 6 – Fotografia da UETAC com identificação dos pontos de amostragem desta pesquisa: atmosfera, calha, abstração 1 mm, abstração 3 mm, reservatório (abstração 4 mm), FB e FA. Legenda: FA; filtro de areia, FB: filtro de barro.



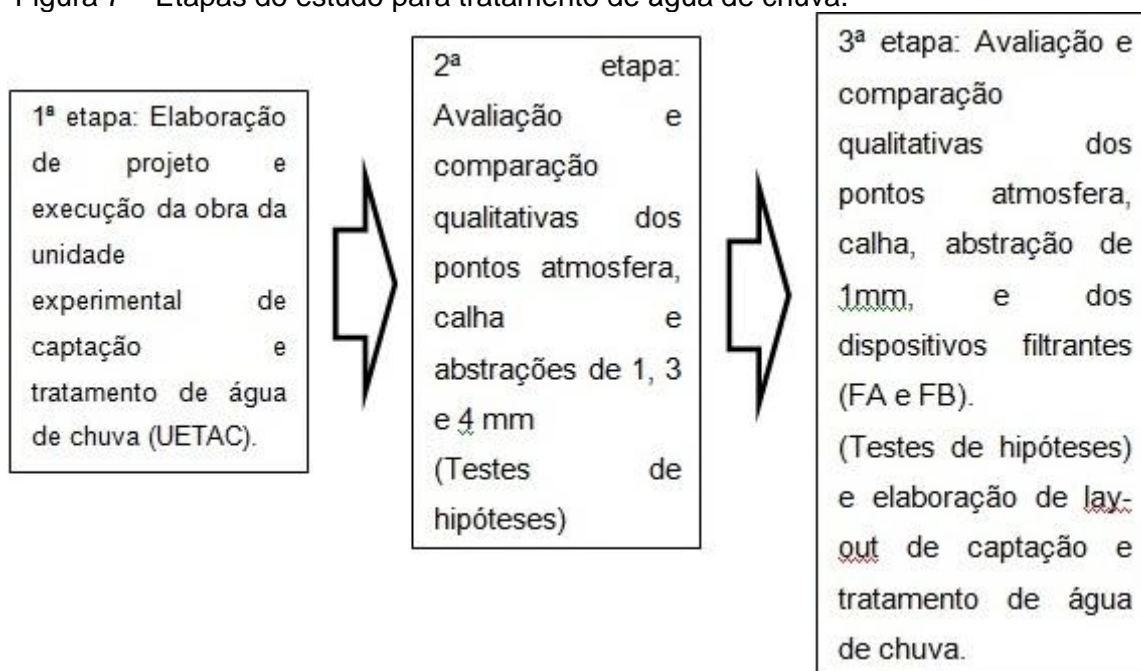
Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

### 4.3 Etapas da pesquisa

A pesquisa foi realizada em três etapas: a primeira consistiu da elaboração dos projetos básico e construção da UETAC na Cidade Universitária José Silveira Neto da Universidade Federal do Pará. A segunda etapa foi o monitoramento e a avaliação dos resultados dos pontos de coleta da atmosfera, calha e dos sistemas de abstração do telhado (1, 3 e 4 mm) em comparação com o padrão de qualidade da água estabelecido pela portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011), bem como a diferença entre esses dispositivos. Na terceira etapa foi feita a avaliação dos pontos atmosfera, calha, abstração de 1mm, da reservação, bem como dos FB e FA, todos em comparação com o padrão de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2011). Na figura 7 são apresentadas as etapas do estudo proposto.



Figura 7 – Etapas do estudo para tratamento de água de chuva.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

#### 4.3.1 Primeira Etapa: Elaboração de projeto e execução da obra da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva

Na primeira etapa a UETAC foi concebida de forma a explorar a potencial simplicidade de projeto, de implantação, operação e manutenção do sistema, tendo como provável público-alvo pessoas desatendidas de sistemas de distribuição de água potável, em localidades isoladas. Visou também a descentralização e disponibilização de métodos e técnicas mais simplificadas de tratamento de água, como alternativa complementar para o abastecimento de água.

A construção do módulo ocorreu em aproximadamente 30 dias no mês de novembro de 2014. Iniciou-se pela construção do telhado, paralelamente as tubulações de abstrações, filtros, as calhas, tubulações e conexões foram conectadas à estrutura. Na Figura 8 são mostradas as etapas da construção da edificação utilizada no experimento.

Figura 8 – Fotografias das etapas da construção da UETAC: a) locação de obra e construção de estrutura (pilares); b) construção do madeiramento do telhado; c) construção da cobertura; d) construção da cerca metálica.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Após a construção da edificação, os tubos e conexões foram instalados, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Fotografias das instalações hidráulicas da UETAC: a) montagem das abstrações; b) instalação das abstrações; c) instalação do reservatório de água; d) vista interna do sistema implantado.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

A UETAC foi concebida considerando a existência de 09 pontos de amostragem necessárias às segunda e terceira etapas deste estudo, a saber:

- a) Atmosfera;
- b) Calha;
- c) Abstração 1 mm;
- d) Abstração 3 mm;
- e) Abstração 4 mm;
- f) Filtração em leito de areia;
- g) Filtração em filtro de barro;
- h) Filtração em leito de carvão ativado produzido a partir do caroço do açaí;
- i) Filtração em leito duplo em carvão ativado produzido a partir do caroço do açaí e areia.

Para esse estudo dois filtros foram pesquisados, sendo esses o filtro de areia e o de barro, conforme descrito no item 4.3.3.

#### 4.3.2 Segunda Etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha e abstrações de 1, 3 e 4 mm.

Nessa etapa foram feitas coletas simples para o estudo das variáveis qualitativas físico-químicas do sistema de abstrações, nos eventos de chuva. As metodologias de coleta, preservação e análises atendem o recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992). Foram também analisadas as eficiências em termos de qualidade da água obtida em campanhas realizadas no período de 16 de dezembro de 2014 a 13 de junho de 2015, para as variáveis cor aparente, pH, turbidez e condutividade elétrica, nos pontos atmosfera, calha, abstrações do telhado nas diferentes capacidades (1 mm, 3 mm e 4 mm), para isso foram verificadas a eficiência de cada dispositivo e diferença entre os mesmos, isto é, entre os diferentes volumes. Foi comparado também com o padrão de potabilidade de água para consumo humano (BRASIL, 2011). Na Tabela 13 são mostrados os pontos de coleta de amostras bem como a justificativa e na Tabela 13 é apresentado o número de determinações por pontos de amostragem para a segunda etapa da pesquisa

Tabela 13 – Pontos de coleta de amostras para a segunda etapa e justificativa.

<b>Ponto</b>	<b>Justificativa</b>
Atmosfera	Analisar a água da chuva
Calha	Verificar a influência do telhado na qualidade da água, o quanto pode contribuir para a deterioração da qualidade da água em comparação com valores qualitativos do ponto a montante (ponto 1).
Abstração de 1mm	Verificar a qualidade da água armazenada no reservatório que será produto do descarte de 1 mm.
Abstração de 3mm	Verificar a qualidade da água armazenada no reservatório que será produto do descarte de 3 mm.
Abstração de 4mm	Verificar a qualidade da água armazenada no reservatório que será produto do descarte de 4 mm

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Tabela 14 – Variáveis e número de determinações de amostras por ponto de amostragem para a segunda etapa da pesquisa.

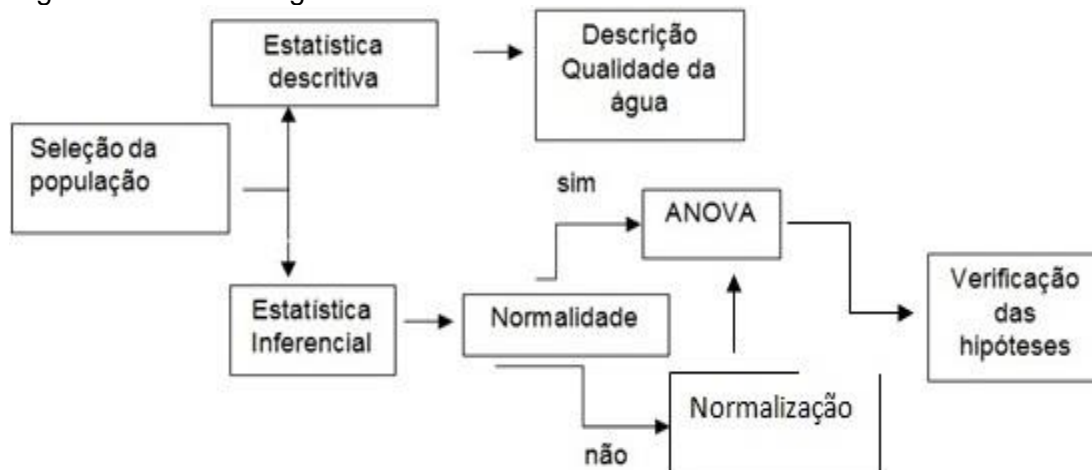
<b>Variável</b>	<b>pontos</b>				
	<b>atmosfera</b>	<b>calha</b>	<b>abstração 1mm</b>	<b>abstração 3mm</b>	<b>Abstração 4mm</b>
cor aparente	25	23	24	22	25
pH	25	16	24	22	25
Turbidez	25	19	24	22	25
condutividade elétrica	25	16	24	22	25

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Após a conclusão das campanhas da segunda etapa, os dispositivos cujos volumes não se mostraram eficientes ou que não proporcionaram diferenças significantes (5%) foram preteridos em favor do melhor volume, sendo este mantido no sistema e aqueles isolados.

Na Figura 10 é apresentado o tratamento estatístico dos dados referentes à qualidade da água do sistema de aproveitamento de água de chuva.

Figura 10 – Metodologia do tratamento estatístico dos dados.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

A população selecionada corresponde aos eventos de precipitação superiores a 4 mm, ocorridos em dias úteis, no período chuvoso iniciado em dezembro de 2014. A altura de precipitação superior a 4mm foi suficiente para abastecer os reservatórios de abstrações de 1, 3 e 4 mm.

Os dados estudados são quantitativos e contínuos e em um nível descritivo serão apresentados em gráficos box plots. Foram utilizados os valores de média, máximo, mínimo, desvio-padrão. Posteriormente foi verificado se as amostragens obedeciam à uma distribuição normal, quando não obtiverem distribuição normal em todos os pontos, estes foram normalizados para comparar com àqueles normais.

Em um nível inferencial foram verificadas as diferenças entre cada ponto (atmosfera, calha e abstrações de 1, 3 e 4 mm) utilizando a Análise de Variância (ANOVA). Quando encontradas diferenças significativas na ANOVA, foi aplicado o teste de Tukey, para tirar conclusões mais específicas (MONTGOMERY, 2012), para todas as variáveis (cor aparente, turbidez, pH e condutividade elétrica)

As variáveis referentes a todos os pontos da amostragem foram quantificadas e expressadas 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 qual foi o volume de abstração que apresentou maior eficiência e viabilidade.

As hipóteses a serem verificadas, com significância de 5%, estão dispostas na Tabela 15.

Tabela 15 – Hipóteses nula e alternativa da 2ª etapa deste trabalho.

Hipótese nula (H0)	Hipótese alternativa (H1)
Não há diferença estatisticamente entre abstrair 1, 3 ou 4mm	Há diferença estatisticamente entre abstrair 1, 3 ou 4mm
A abstração eleita atendeu ao(s) padrão(ões) de potabilidade para as variáveis constantes no item “c” dos objetivos específicos	A abstração eleita não atendeu ao(s) padrão(ões) de potabilidade para as variáveis constantes no item “c” dos objetivos específicos

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

4.3.3 Terceira etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha, abstração de 1mm, e dos dispositivos filtrantes (FA e FB) e proposição de lay-out de tratamento.

Na terceira etapa o desempenho dos pontos de amostragem (atmosfera, calha, abstração de 1mm (melhor resultado obtido na segunda etapa), reservação, FA e FB) foi comparado com o padrão de potabilidade (BRASIL, 2011) e foram verificadas as diferenças entre os pontos.

Na Tabela 16 são mostrados os pontos de coleta de amostras, a etapa correspondente bem como a justificativa:

Tabela 16 – Pontos de coleta de amostras.

Ponto	Justificativa
Atmosfera	Verificar a influência da atmosfera na qualidade da água
Calha	Verificar a influência do telhado na qualidade da água
Abstração 1mm	Verificar a influência da abstração de 1 mm
Reservatório	Verificar a influência da reservação e os efeitos de retenção de água.
FA	Verificar se o FA importou em alteração das variáveis aqui estudadas e se atendem ao padrão de potabilidade (BRASIL,2011; WHO,2011)
FB	Verificar se o FB importou em alteração das variáveis aqui estudadas e se atendem ao padrão de potabilidade ((BRASIL,2011; WHO,2011)

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\* FA: filtro de areia, FB: filtro de barro

O FA é descendente, de gravidade e constituído de tubos e conexões de PVC, corpo com DN 100 mm (Figura 6). Os ensaios de caracterização de areia foram feitos no Laboratório de Construção Civil da UFPA, atendendo ao disposto na norma NBR 11799 (ABNT, 1990) e consistiram de construção de curva granulométrica (peneiramento em peneira elétrica), cálculo do peso específico e

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 meio filtrante granular do FA foi constituído de seixo pequeno, cascalho e areia (Figura 11). A camada de seixo fino (camada suporte), teve granulometria compreendida entre 3 mm e 10 mm e espessura de 10 cm, a camada torpedo teve granulometria compreendida entre 1,2 mm e 3 mm e espessura de 5 cm e a camada filtrante teve possui granulometria de 0,8 a 1,2 mm e possui 0,40 cm de espessura.

Figura 11 – Vista da UETAC com FA- 1) Perfil esquemático do FA, 2) fotografia do FA na UETAC.



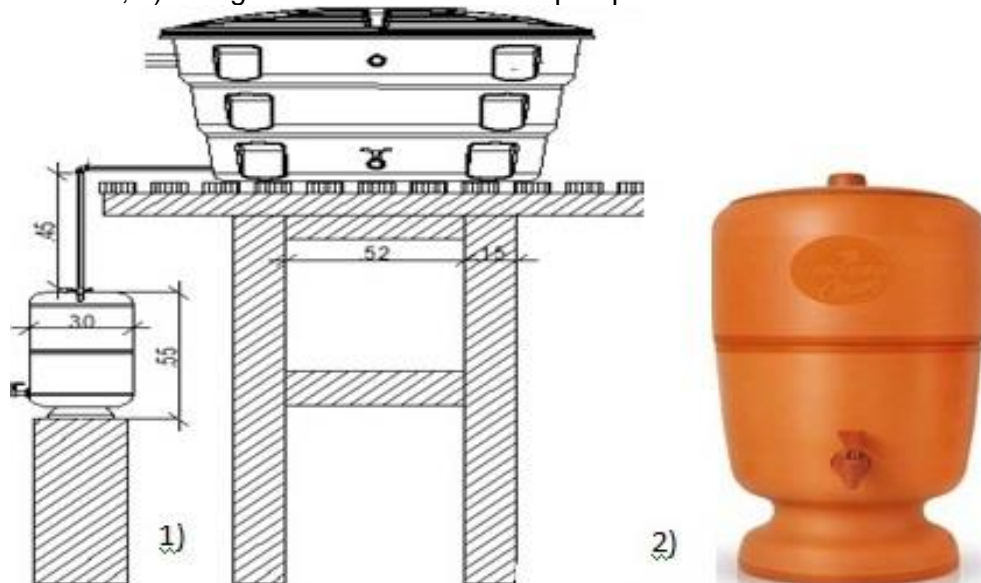
Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

A taxa de aplicação superficial do FA foi  $13,17 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , a espessura do leito de areia foi de 0,40 m e seu diâmetro ficou entre 0,8 a 1,2 mm, com peso específico de  $1,37 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ . O FA possui fluxo descendente e aqui foi comparado com filtro lento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) por conta da taxa de aplicação superficial utilizada mais próxima da filtração lenta que é de 6 a  $8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

O FB é constituído em corpo cerâmico (Figura 12), capacidade de 8 litros com reservatórios superior e inferior de 4 litros cada, com três velas filtrantes com eficiência de retenção de partículas de 5 a 15 micrômetros. A lavagem do filtro foi feita de forma manual, por meio de esponja e foi procedida sempre que as velas

formassem biofilme visível, ou aumento importante na turbidez. A taxa de filtração do FB foi de  $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , estando abaixo do limite de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , por isso foi comparado com filtro lento segundo NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Figura 12 – Vista da UETAC com FB; 1) corte esquemático da UETAC com filtro de barro; 2) Fotografia do FB utilizado na pesquisa.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Nas campanhas de amostragem foram avaliados os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, por variável, conforme apresentado na Tabela 17, para verificação da qualidade da água nos pontos reservatório, FA e FB, haja vista que a coleta nesses pontos era possível, independente de ocorrer chuva. Para bactérias do grupo coliformes, foram realizadas 20 campanhas, em todos os pontos do sistema nos dias em que ocorreram eventos de chuva.



Tabela 17 – Variáveis e número de determinações de amostras por ponto de amostragem.

variável	Ponto					
	Atmosfera	calha	abstração 1mm	reserv.	FA	FB
cor aparente	19	17	18	47	47	47
pH	19	17	18	46	46	46
Turbidez	20	17	18	45	45	45
condutividade elétrica	20	17	19	44	44	44
alcalinidade	21	18	20	44	44	44
coliformes totais*	20	20	20	20	20	20
<i>E. coli</i> *	20	20	20	20	20	20

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\*FA: reserv: reservatório, filtro de areia, FB: filtro de barro.

A coleta de amostras dos pontos atmosfera, calha e abstração inicial de 1mm dependeram da ocorrência de chuvas, por isso a amostragem foi realizada nos dias em que ocorriam precipitações atmosféricas. Nos pontos reserv (reservatório), FA e FB as coletas foram realizadas em dias úteis, ou até 5 dias por semana, pois independeram de chuva.

Na terceira etapa foram realizadas campanhas contemplando variáveis físico-químicas e bacteriológicas para observar a concentração inicial das variáveis na chuva, o impacto qualitativo causado após a interceptação no telhado e abstração inicial definida na primeira etapa, bem como o que ocorre, para esse caso, na reservação e nas filtrações. Assim foram identificados os pontos de déficit e melhorias qualitativas da água no sistema.

As análises e determinações laboratoriais de qualidade da água foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Águas 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 amostras foram coletadas ao longo de um período de 6 meses, abrangendo o período chuvoso.

O tratamento estatístico dos dados referentes à qualidade da água da UETAC na terceira etapa da pesquisa seguiram o mesmo esquema da figura 8. A análise gráfica e apresentação de valores estatísticos foram concordantes com o proposto na segunda etapa deste estudo.

Em um nível inferencial foram verificadas a diferença entre cada ponto utilizando a Análise de Variância (ANOVA) quando a variável a ser analisada

apresentou distribuição normal, caso contrário as variáveis foram normalizadas para proceder a comparação de todos os pontos por meio da ANOVA. Quando encontradas diferenças significativas na ANOVA, foi aplicado o teste de Tukey, para tirar conclusões mais específicas (MONTGOMERY, 2012), para todas as variáveis (cor aparente, turbidez, pH, alcalinidade, condutividade elétrica, coliformes totais e *E.coli*)

As variáveis referentes a todos os pontos da amostragem foram quantificadas e expressadas 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 a serem verificadas, com significância de 5%, estão dispostas na Tabela 18.

Tabela 18 – Hipóteses nula e alternativa da terceira etapas deste trabalho.

Hipótese nula (H0)	Hipótese alternativa (H1)
Não há diferença estatisticamente entre os pontos de amostragem	Há diferença estatisticamente entre os pontos de amostragem
Não há diferenças significantes entre os valores observados e os limites estipulados pelos padrões de potabilidade.	Há diferenças significantes entre os valores observados e os limites estipulados pelos padrões de potabilidade.

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Após a verificação das hipóteses, foram propostas as configurações de lay out e os respectivos custos dos insumos referentes a cada proposta. O lay-out de captação e tratamento de água de chuva foi concebido como uma tecnologia voltada para o desenvolvimento social e por isso, foi considerada utilização de mão de obra local dado o recomendado empoderamento tecnológico do beneficiado pela construção e manutenção do sistema. A proposição de layout combinou as etapas mais viáveis e importantes do trabalho. Não foram consideradas obras de telhado tais como substituição de telhas, retificações, manutenções preventivas/corretivas, lavagens ou construções dado que, na prática, cada caso demanda um serviço diferente, ou ainda a combinação deles.

Para confecção de plantas foram utilizados os softwares Autocad versão 2011 do pacote Autodesk.

No orçamento não foi previsto BDI (bonificação e despesas indiretas) por conta de que é desejável que as tecnologias voltadas para o desenvolvimento social sejam dominadas pelo beneficiado, neste sentido, a idéia é que o morador possa construir seu módulo. Os preços propostos foram consultados na tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), mês de referência março de 2015 e cotação local quando não houve disposição de custo na referida tabela.

## 5 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa estão dispostos a seguir, para as 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> etapas.

### 5.1 Resultados da 1<sup>a</sup> Etapa: Elaboração de projeto e execução da obra da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva

Os resultados da primeira etapa, que foi a elaboração de projeto e execução da obra da unidade experimental de captação e tratamento de água de chuva, constam na metodologia deste trabalho.

O projeto desenvolvido apresentou facilidade de elaboração e adequação às características regionais, utilizando os insumos populares no mercado regional.

A execução da obra apresentou simplicidade e apresenta possibilidade de ser desenvolvida por mão de obra não especializada, entretanto em caso de replicação do sistema, é recomendada a transferência do conhecimento por meio de oficinas que contemplem a importância da utilização racional da água, dos critérios de projetos, de especificações, de montagem e manutenção.

Na fase de operação verificou-se que algumas adaptações devem ser feitas em prol da facilidade operacional, dos quais pontua-se:

- Calha: recomenda-se a instalação de telas sobre as mesmas para minimizar entupimentos;

- Abstração do 1<sup>o</sup> mm: para esta pesquisa a abstração do 1<sup>o</sup> mm foi realizada por meio de três tubulações de PVC DN 75 mm com flanges nos capes de fundo, que apresentaram obstruções. Recomenda-se a adoção de reservatórios mais robustos e registros com maior diâmetro para escoar a água, minimizando as obstruções;

- Reservatório: elevação do reservatório possibilitou carga geométrica, assim a coleta de água para filtração sem o acesso ao reservatório, minimizou aportes contaminantes e poluentes. Esta configuração atendeu a regionalidade do projeto pois a regularidade e maior frequência de chuva favoreceu a redução do volume e a elevação do mesmo.

## 5.2 Resultados da 2ª etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha e abstrações de 1, 3 e 4 mm

Os volumes de abstração de água de chuva podem conferir diferenças qualitativas importantes em prol da simplificação do tratamento da água pluvial. Nesta pesquisa foi avaliado o desempenho qualitativo das abstrações de 1, 3 e 4mm, que atendiam ao princípio dos vasos comunicantes, considerados mais desfavoráveis do ponto de vista qualitativo se comparado com o que atende ao princípio do fecho hídrico. Por outro lado, observa-se que do ponto de vista operacional, o princípio do vaso comunicante pode propiciar menos obstruções.

Como suporte a tomada de decisão para escolha do volume de abstração, foi realizada a análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, para avaliar os pontos: atmosfera; calha; abstrações de 1 mm, 3 mm e 4 mm, com objetivo de verificar a existência de diferença estatisticamente significante entre as variáveis cor aparente; turbidez e condutividade elétrica.

Na Tabela 19 pode-se observar diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variáveis cor aparente; turbidez e condutividade elétrica. A Figura 13 apresenta box plot (mediana) dos valores das variáveis ao longo do sistema na etapa 1.

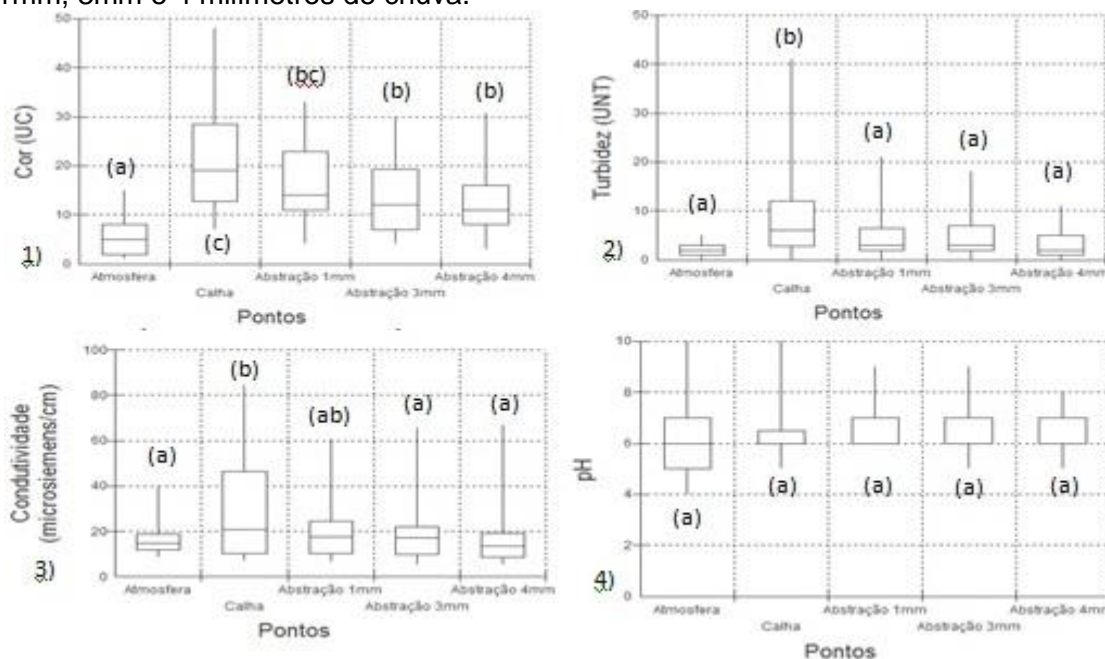
Tabela 19 – Média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos: atmosfera, calha e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva.

variável	atmosfera	calha	abstrações			$p$ – valor
			1 mm	3 mm	4 mm	
cor aparente (UC)	5,7 $\pm$ 4,0 (a)	21,7 $\pm$ 12,4 (c)	16,7 $\pm$ 8,3 (bc)	13,9 $\pm$ 7,6 (b)	13,1 $\pm$ 7,4 (b)	0,000
Turbidez (UNT)	2,4 $\pm$ 1,2 (a)	10,4 $\pm$ 10,2 (b)	5,4 $\pm$ 4,7 (a)	5,2 $\pm$ 4,2 (a)	3,7 $\pm$ 2,7 (a)	0,000
CE ( $\mu$ s/cm)	16,8 $\pm$ 7,1 (a)	31,6 $\pm$ 25,2 (b)	20,7 $\pm$ 13,8 (ab)	19,2 $\pm$ 13,5 (a)	16,8 $\pm$ 13,1 (a)	0,018
pH	6,7 $\pm$ 1,5 (a)	7,0 $\pm$ 1,3 (a)	6,8 $\pm$ 0,7 (a)	7,0 $\pm$ 0,9 (a)	6,8 $\pm$ 0,7 (a)	0,923

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\*Nota: Médias com diferenças estatisticamente significante são seguidas de letras diferentes, na linha (por ponto de amostragem) quando  $p < 0,05$ , pelo teste Tukey.

Figura 13 – Box Plot para medianas das variáveis: 1) cor aparente, 2) turbidez, 3) condutividade elétrica, 4) pH, nos pontos de coleta: atmosfera, calha e abstrações de 1mm, 3mm e 4 milímetros de chuva.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Para a cor aparente, observa-se que a amostra proveniente da atmosfera obteve valores médios de  $5,7 \pm 4,0$  UC e menor mediana (5UC) (Figura 13) em relação aos demais pontos dessa variável. Na calha aumentou para  $21,7 \pm 12,4$  UC, com maior mediana (19 UC) e maior dispersão de dados. Após a abstração de 1 mm houve diminuição da cor aparente com diferença estatisticamente significativa ( $16,7 \pm 8,3$  UC). Após abstrair 3 mm, a média da cor aparente foi de  $13,9 \pm 7,6$  UC e após a abstração dos 4 mm iniciais a média foi  $13,1 \pm 7,4$  UC, não implicando em diferenças significantes entre abstrair 3 e 4 mm. As medianas resultantes da abstração foram menores que o padrão de 15 UC (respectivamente 14 UC, 12 UC e 11 UC para abstrações de 1mm, 3mm, 4mm) (WHO,2011; BRASIL,2011; ABNT,2007), isto é, bem próximas dos valores-limite da Portaria Nº 2914 (BRASIL, 2011), requerendo medidas preventivas para a redução da cor aparente.

As eficiências de remoção ou diminuição da cor aparente para as abstrações de 1mm, 3mm, 4mm foram respectivamente:  $22,70\% \pm 26,80\%$ ;  $32,24\% \pm 60,93\%$ ;  $33,98\% \pm 80,25\%$ .

Na Tabela 20 são apresentados resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e, em seguida, os valores verificados na presente pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstrações de 1mm, 3mm e

4mm) como forma de verificação da convergência com outros estudos que apontam que após a abstração do primeiro milímetro houve redução da cor aparente, como foi verificado por Arruda (2014 apud Matos, 2014).

Tabela 20 – Resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e os valores obtidos na presente pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva).

autor	unidade	pontos		
		atmosfera	calha	abstrações
Silva (2013)	UC	2,9 $\pm$ 1,7	48 $\pm$ 43,6	NR
Andrade (2012)		<15*	1 – 92	2,32 – 37 (1mm)
Rocha (2009)		4,8	36,9	NR
Arruda (2014) apud Matos (2014)		NR	48,1 $\pm$ 43,6	6,2 $\pm$ 2 (1mm)
Brasil (2011)		<15		
<b>Resultado desta pesquisa</b>		<b>5,7<math>\pm</math> 4,0</b>	<b>21,7<math>\pm</math>12,4</b>	<b>16,7<math>\pm</math>8,3 (1mm)</b> <b>13,9<math>\pm</math>7,6 (3mm)</b> <b>13,1<math>\pm</math>7,4 (4mm)</b>

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Andrade, 2012; Rocha, 2009; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Brasil, 2011, autora da pesquisa, 2015.

Legenda: \*: em 92% das amostras

A turbidez na atmosfera (2,4  $\pm$  1,2 UNT), com menor mediana, foi significativamente alterada na calha (10,4  $\pm$  10,2 UNT) e após as abstrações de 1 mm (5,4  $\pm$  4,7 UNT), 3 mm (5,2  $\pm$  4,2 UNT) ou 4 mm (3,7  $\pm$  2,7 UNT), não foi verificada diferença significativa. As eficiências na redução da turbidez nas abstrações de 1, 3 e 4 milímetros de chuva foram respectivamente 33  $\pm$  31%, 35  $\pm$  32% e 44  $\pm$  32% em relação à calha.

Na Tabela 21 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e os observados neste trabalho. Foi verificado que a turbidez aumentou na calha, em relação a atmosfera e observa-se a recuperação na abstração, conforme Annecchini, 2005; Rocha, 2009; Santos et al. (2007) Silva, 2013; Andrade, 2012; Xavier, 2010; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Wilbers et al, 2013; Beecham, Razzaghmanesh, 2015. Entende-se que a porosidade da cobertura cerâmica contribuiu para retenção de sólidos, aliado ao fato da precipitação típica não ser das mais elevadas (segunda etapa da pesquisa) em janeiro/2015 (503,2 mm) e fevereiro/2015 (414,3 mm), se comparada com o pico anual (terceira etapa) ocorrido nos meses de março/2015 (540 mm) e abril/2015 (604,9 mm) (estação Belém 82191), pode ter contribuído para a retenção de sólidos.

Isso pode ter comprometido a lavagem do telhado (ocasionando retenção de partículas no telhado) e o depósito na abstração.

Tabela 21 – Resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e os valores obtidos na presente pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva).

autor	unidade	pontos		
		atmosfera	calha	abstrações
Anecchini (2005) <sup>(1)</sup>	UNT	0,9	10,4	NR
Rocha (2009) <sup>(1)</sup>		1,34	22,15	NR
Santos et al. (2007) <sup>(1)</sup>		0,34	0,81	NR
Silva (2013)		2,9 $\pm$ 2,5	8,2 $\pm$ 8,0	NR
Andrade (2012)		0 - 3,2	0-4,1	0 - 2,32 (1mm)
Xavier (2010)		0,92	4,8-6,7	2,2-2,57 (1mm)
Naddeo; Scannapieco; Belgiorno (2013)		25,88 $\pm$ 3,62	NR	NR
Wibers <i>et al.</i> (2013)		NR	NR	NR
Beecham, Razzaghmanesh (2015)		1,3–1,35	NR	NR
Arruda (2014) apud Matos(2014)		NR	4,7 $\pm$ 8,03	2,84 $\pm$ 2,21 (1mm)
Brasil (2011)		1 <sup>(2)</sup>		
WHO (2011)		<5 <sup>(3)</sup>		
<b>Resultado desta pesquisa</b>		<b>2,4 <math>\pm</math> 1,2</b>	<b>10,4 <math>\pm</math> 10,2</b>	<b>5,4 <math>\pm</math> 4,7 (1mm)</b> <b>5,3 <math>\pm</math> 4,2 (3mm)</b> <b>3,7 <math>\pm</math> 2,7 (4mm)</b>

Fonte: Adaptado de Anecchini, 2005; Rocha, 2009; Santos et al. (2007) Silva, 2013; Andrade, 2012; Xavier, 2010; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Wibers et al, 2013; Beecham, Razzaghmanesh, 2015; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Brasil, 2011; WHO, 2011; autora da pesquisa, 2016.

\*<sup>(1)</sup>apud Silva (2013), NR: não realizado, <sup>(2)</sup>após filtração lenta, <sup>(3)</sup>quando não for viável o atendimento de 0,5 ou 1 UNT e em sistemas localizados em áreas remotas.

Para a condutividade elétrica houve diferença significativa entre a atmosfera, calha e abstração inicial de 1 mm (respectivamente  $16,8 \pm 7,1 \mu\text{s/cm}$ ,  $31,6 \pm 25,2 \mu\text{s/cm}$  e  $20,7 \pm 13,8 \mu\text{s/cm}$ ). Na calha houve maior dispersão dos dados, com mediana sensivelmente maior que as demais. Para a abstração dos 3 mm houve uma diminuição na condutividade elétrica para  $19,2 \pm 13,5 \mu\text{s/cm}$  e para 4 mm,  $16,8 \pm 13,1 \mu\text{s/cm}$ , não havendo diferença significativa em relação ao terceiro milímetro. Em valores percentuais, as eficiências da redução da condutividade elétrica para as



abstrações de 1mm, 3mm, 4 mm foram respectivamente:  $28\% \pm 31,50\%$ ,  $36\% \pm 30,6\%$ ,  $47\% \pm 29,6\%$ .

Na Tabela 22 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para a condutividade elétrica e os valores verificados neste estudo (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstrações de 1mm, 3mm e 4mm, por variáveis) que apontam comportamento semelhante nas amostras da atmosfera, calha (aumento) e abstração (diminuição), conforme pesquisa de Xavier (2010), Pode-se inferir que as condições de limpeza do telhado podem contribuir para o aumento da condutividade elétrica dado que os poluentes podem aumentar a concentração da variável.

Tabela 22 – Resultados verificados em outras pesquisas para a condutividade elétrica e os valores obtidos na presente pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva).

autores	unidade	ponto		
		atmosfera	calha	abstrações
Silva (2013)	$\mu\text{s/cm}$	$28,5 \pm 35,97$	NR	NR
Xavier (2010)		12,1	71,9 - 219,1	20,4–77,8 (1mm)
Naddeo; Scannapieco; Belgiorno (2013)		41	NR	NR
Sazakli; Alexopoulos; Leotsinidis (2007)		56–220	NR	NR
Göbel <i>et al.</i> (2007)		28-223	25 – 269	NR
Santos <i>et al.</i> , 2007 <sup>(1)</sup>			25	
Zhang <i>et al.</i> (2014)		NR	<225 <sup>(2)</sup>	NR
Rocha (2009)**		NR	23	NR
<b>Resultado desta pesquisa</b>			<b><math>16,8 \pm 7,1</math></b>	<b><math>31,7 \pm 25,2</math></b>

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Xavier, 2010; 2012; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis, 2007; Göbel *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2014; Rocha, 2009; autora da pesquisa, 2016.

\*<sup>(1)</sup> apud Silva (2013). <sup>(2)</sup>: água de chuva misturada com água subterrânea,

Para o pH não houve alteração significativa ao longo do tratamento ( $p=0,923$ ). A amostra da atmosfera ( $6,7 \pm 1,5$ ), não foi alterada pela calha ( $7,0 \pm 1,3$ ), nem pelas abstrações dos primeiro, terceiro e quarto milímetro (respectivamente:  $6,8 \pm 0,7$ ;  $7,0 \pm 1$  e  $6,9 \pm 0,7$ ).

Na Tabela 23 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para o pH e os valores obtidos na pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstrações de 1mm, 3mm e 4mm, por variáveis). A sugestiva inalteração do pH foi uma tendência verificada por Silva, 2013; Andrade, 2012; Xavier, 2010; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis, 2007; Göbel et al, 2007.

Tabela 23 – Resultados verificados em outras pesquisas para o pH e os valores obtidos na presente pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; e abstrações de 1mm, 3mm e 4 mm de chuva).

autores	ponto		
	atmosfera	calha	abstração
Silva (2013)	5,5 a 8,1	5,1 - 7,6	NR
Andrade (2012)	3,9 a 6,6	3,7 a 7,2	NI
Xavier (2010)	6,22	8,11– 9,31	6,44- 7,34 (1mm)
Arruda (2014) apud Matos (2014)	NR	6,3 $\pm$ 0,9	NR
Sazakli; Alexopoulos; Leotsinidis (2007)	7,63–8,80	NR	NR
Göbel <i>et al.</i> (2007)	3,9–7,5	4,7 - 6,8	NR
Moreira Neto <i>et al</i> (2012)	7.2	NR	NR
Brasil (2011)	6 -9,5		
<b>Resultado desta pesquisa</b>	<b>6,7 <math>\pm</math> 1,5</b>	<b>7,0<math>\pm</math>1,3</b>	<b>6,8<math>\pm</math>0,7 (1mm)</b>
			<b>7<math>\pm</math>1 (3mm)</b>
			<b>6,9<math>\pm</math>0,7 (4mm)</b>

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Andrade, 2012; Xavier, 2010; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis, 2007; Göbel et al, 2007; Moreira Neto et al, 2012; Brasil, 2011; autora da pesquisa, 2016.

\*NI: não informado, NR: não realizado.

O teste de hipóteses relacionado ao atendimento ao padrão de potabilidade (BRASIL, 2011) para as variáveis cor aparente, pH e turbidez foi realizado supondo as seguintes inferências, considerando 5% de significância:

Hipótese nula ( $H_0$ ): Não há diferença entre as médias verificadas para as variáveis amostradas e os padrões de potabilidade (BRASIL, 2011; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011) para as variáveis cor, pH e turbidez (quando o valor “p” for maior que o nível de significância).

Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): Há diferença entre as médias verificadas para as variáveis amostradas e os padrões de potabilidade (BRASIL, 2011; WORLD

HEALTH ORGANIZATION, 2011) para as variáveis cor, pH e turbidez (quando o valor “p” for menor que o nível de significância).

Na Tabela 24 pode-se observar os Intervalos de confiança, com 5% de significância, das variáveis cor aparente, turbidez e pH, nos pontos atmosfera, calha, nas abstrações 1, 3 e 4 mm, bem como a verificação da hipótese de atendimento ao padrão de potabilidade (BRASIL,2011; WORD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

Tabela 24 – Intervalo de confiança com 5% de significância das variáveis cor aparente, turbidez e pH, nos pontos atmosfera, calha, abstrações de 1, 3 e 4 mm.

Variável	atmosfera	calha	Abstração			Brasil (2011)	WHO (2011)
			1mm	3mm	4mm		
cor aparente (UC)	4,1;7,3 p=0,00	16,7;26,7 <sup>a,c</sup> p=0,008	13,2;20,1 p=0,331	10,8;16,9 p=0,495	10,2;16 p=0,192	15 UC	15 UC
turbidez (UNT)	1,9;2,8 <sup>a</sup> p=0,00	5,8;15,0 <sup>a,c</sup> p=0,00	3,4; 7,4 <sup>a,c</sup> p=0,00	3,5; 6,9 <sup>a,c</sup> p=0,00	2,6; 4,8 <sup>a</sup> p=0,00	1 UNT*	5 UNT**
pH	6,2;7,3 p=0,467	6,3;7,7 p=0,926	6,5; 7,1 p=0,222	6,6; 7,4 p=0,967	6,6; 7,1 p=0,411	6 a 9	6 -8,5

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\* IC=  $y \pm t_{(2)} \cdot s_{y/\sqrt{2}}$ , onde y= média e  $\mu$ = média populacional , a= acima do valor de 1UNT para filtro lento (BRASIL,2011), c=acima de 5 UNT (WHO,2011);

\*\*após filtração em sistemas localizados em lugares remotos, onde não for viável o atendimento de 0,5 UNT ou 1 UNT.

Para a cor aparente, na atmosfera, os resultados ficaram abaixo do padrão de potabilidade (BRASIL, 2011) de 15 UC (4,1;7,3,  $p=0,00$ ). Na calha a cor aparente ficou entre 16,7;26,7 ( $p=0,008$ ) acima do padrão (BRASIL, 2011), após a abstração do primeiro milímetro o IC-95 ficou entre 13,2; 20,1 UC ( $p=0,331$ ) atendendo ao padrão, mas ainda assim muito próximo do limite (BRASIL, 2011; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011), para o terceiro milímetro foi verificado que a variável (10,8; 16,9) ficou estatisticamente abaixo do valor limítrofe ( $p=0,495$ ), após o quarto milímetro, a cor aparente (10,2; 16 UC,  $p=0,192$ ), foi estatisticamente concordante com padrão de 15 UC.

A turbidez, na atmosfera (1,9; 2,8 UNT,  $p=00$ ), esteve abaixo do valor de referência OMS de até 5 UNT (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011) para sistemas remotos. Na calha houve aumento da turbidez (5,8;15,0;  $p=0,00$ ) e esteve acima de 5 UNT ( $p=0,009$ ) (BRASIL, 2011; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Nas abstrações de 1 mm, 3 mm e 4 mm não houve atendimento ao padrão brasileiro sendo respectivamente: 3,4; 7,4 ( $p=0,00$ ), 3,5; 7,0 ( $p=0,00$ ), 2,6; 4,8

( $p=0,00$ ), justificando a necessidade de filtração, já que a turbidez é um importante indicador desta unidade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

Os intervalos de confiança do pH para todos os pontos do sistema apontaram atendimento aos níveis de referências (BRASIL, 2011; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011), estando dentro do intervalo 6,2 - 7,7. Isto significa que a cobertura cerâmica não alterou significativamente o pH da água de chuva conforme verificado no trabalho de Lee, Bak e Han (2012).

Conforme disposto na Tabela 24, a calha é um importante marco no déficit qualitativo da água na UETAC, para essa etapa do trabalho, implicando em alterações significativas para todas as variáveis, exceto para o pH. Assim a abstração é um dispositivo indispensável para a melhoria da qualidade da água de chuva, uma vez que no primeiro milímetro apontou diferenças significativas (letras diferentes na Tabela 24) e importantes reduções dos indicadores aqui estudados. Portanto, a abstração escolhida para a continuidade da pesquisa foi 1mm por conferir melhorias na qualidade da água e descartar o menor volume possível neste estudo.

O volume de abstração pode ser aproveitado para outras utilizações menos nobres, como por exemplo, rega de plantas, jardins, lavagem de pisos etc, contribuindo ainda mais para a tendência sustentável do ponto de vista ambiental.

### **5.3 Terceira etapa: Avaliação e comparação qualitativas dos pontos atmosfera, calha, abstração de 1mm, e dos dispositivos filtrantes (FA e FB) e proposição de lay-out de tratamento**

Após a conclusão da segunda etapa, foi iniciada a terceira etapa (de 23 de março de 2015 até 16 de junho de 2015) onde foram avaliadas a qualidade da água nos pontos: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservação, FA e FB. Nesta etapa, a UETAC foi monitorada e se mostrou adequada do ponto de vista operacional, apresentando viabilidade para complementação do abastecimento de água unifamiliar. Ressalta-se que as rotinas de manutenção e limpeza são providenciais para manutenção da qualidade da água, desta forma a lavagem da UETAC foi procedida uma vez ao semestre, do FB a periodicidade foi quinzenal e do FA não foi realizada pelo não encerramento da carreira filtrante.

Na Tabela 25 observam-se diferenças significantes para as variáveis cor aparente, turbidez, condutividade, pH, alcalinidade, coliformes totais e *E.coli* ( $p < 0,05$ ). As Figuras 14, 15 e 16 apresentam box plots (mediana) das variáveis na 3ª etapa.

Tabela 25 – Média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos: atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB para a 3ª etapa da pesquisa.

Variável	pontos						<i>p</i> valor
	atmosfera	calha	abstração 1 mm	reserv.	FA	FB	
cor aparente (UC)	11,0 $\pm$ 8,4 (a)	10,6 $\pm$ 2,9 (a)	11,7 $\pm$ 3,2 (a)	9,6 $\pm$ 2,9 (a)	9,7 $\pm$ 3,3 (a)	8,9 $\pm$ 5,4 (a)	0,216
turbidez (UNT)	2,8 $\pm$ 2,0 (a)	1,8 $\pm$ 0,9 (b)	2,1 $\pm$ 1,4 (ab)	1,5 $\pm$ 0,8 (b)	1,5 $\pm$ 0,8 (b)	0,7 $\pm$ 0,5 (c)	0,000
CE ( $\mu$ s/cm)	26,2 $\pm$ 38,9 (a)	14,3 $\pm$ 6,9 (a)	17,9 $\pm$ 9,2 (a)	12,9 $\pm$ 7,8 (a)	13,7 $\pm$ 10, 5 (a)	62 $\pm$ 24,2 (b)	0,0001
pH	6,4 $\pm$ 0,8 (a)	5,6 $\pm$ 0,1 (b)	5,7 $\pm$ 0,2 (b)	6,5 $\pm$ 0,8 (a)	5,9 $\pm$ 0,3 (a)	7,9 $\pm$ 1,1 (c)	0,000
alcalinidade*	16,3 $\pm$ 9,3 (a)	15,9 $\pm$ 5,5 (a)	15,7 $\pm$ 6,7 (a)	20,1 $\pm$ 13,1 (a)	17,8 $\pm$ 12 (a)	36,9 $\pm$ 14,2 (b)	0,000
CT (NMP/ 100ml)	1638 $\pm$ 940 (ac)	963 $\pm$ 1092 (ab)	2059 $\pm$ 754 (c)	1925 $\pm$ 795 (c)	2239 $\pm$ 49 5 (c)	371 $\pm$ 735 (b)	0,000
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	225 $\pm$ 547 (ab)	433 $\pm$ 859 (abc)	1147 $\pm$ 1008 (c)	1000 $\pm$ 969 (c)	926 $\pm$ 980 (bc)	76,6 $\pm$ 140 (a)	0,000

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

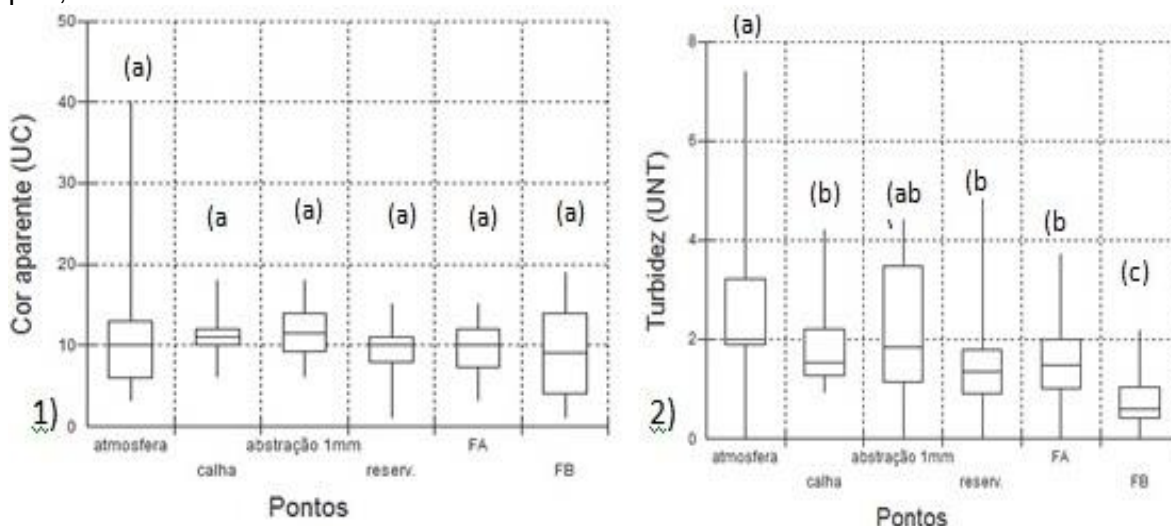
CE: condutividade elétrica, reserv: reservatório; FA: Filtro de areia; FB: Filtro de barro. As letras diferentes na linha representam diferenças estatisticamente significantes ( $\alpha=0,05$ ), \*: mgCaCO<sub>3</sub>/L, reserv.: reservatório.

Para a 3ª etapa do trabalho, os resultados dispostos na tabela 25 não apontam diferenças significativas entre as médias dos pontos amostrados para a cor aparente ( $p=0,216$ ). As medianas resultantes da abstração foram menores que o padrão de 15 UC (WHO, 2011; BRASIL, 2011; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). A menor dispersão de dados foi verificada na calha (Figura 3.1), entretanto a menor mediana (9 UC) foi verificada no ponto FB, enquanto que a maior foi verificada na abstração de 1mm (11,5 UC) (Figura 14.1).

Observa-se na Figura 14 e na Tabela 25 que a turbidez na calha foi significativamente diferente em relação à atmosfera, com redução da variável.

Possivelmente a maior frequência de chuvas, típicas do período chuvoso compreendido entre março/2015 (540 mm) e abril/2015 (604,9 mm) (estação Belém 82191), pode ter potencializado o efeito de limpeza do telhado, não havendo tempo hábil de adesão de sólidos aos poros da telha por conta da saturação da mesma. Assim, os sólidos superficialmente depositados no telhado podem ter sido encaminhados e retidos na abstração inicial de 1 mm, daí o aumento da variável nesse ponto e a imediata redução no reservatório, o que pode também ter ocorrido com a cor aparente

Figura 14 – Box plot da mediana para 1) cor aparente e 2) turbidez, ambos para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB. As letras diferentes representam as diferenças significantes entre os pontos de coleta, quando  $p < 0,05$ .



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\* reserv: reservatório, FA: Filtro de areia, FB: Filtro de barro.

Na Tabela 26 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e, em seguida, os valores obtidos na pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstração 1mm; reservatório, FA e FB) como forma de verificação da convergência com outros estudos.

Na terceira etapa a média da cor aparente não apresentou diferença estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ), indicando a pouca influência do tratamento da água na variável, para o período estudado. Na atmosfera a média de  $11,0 \pm 8,4$  UC foi maior que a verificada na segunda etapa de  $(5,7 \pm 4,0)$  UC, por outro lado, após a interceptação na calha, a cor aparente teve média de  $10,6 \pm 2,9$  UC na terceira etapa, enquanto que na segunda etapa a média foi de  $21,7 \pm 12,4$  UC. Na abstração de 1 mm a cor aparente apresentou média de  $11,7 \pm 3,2$  UC na terceira etapa, (na

segunda etapa  $16,7 \pm 8,3$  UC), na reservação  $9,6 \pm 2,9$  UC, no FA  $9,7 \pm 3,3$  UC, no FB  $8,9 \pm 5,4$  UC, conferindo uma eficiência de até 46% na remoção de cor aparente (FB). A ausência de diferenças significativas entre os pontos não foi reportada pelos demais autores aqui apresentados, conforme Arruda (2014 apud MATOS, 2014).

No que tange a eficiência de filtração para o FB, tendo como indicador a cor aparente, foi observado que os valores percentuais de remoção foram de  $25\% \pm 27\%$  em relação a atmosfera e  $27\% \pm 32\%$  em relação ao reservatório. Para a turbidez os percentuais de eficiência de filtração do FB, em relação a atmosfera e reservatório, foram respectivamente  $58\% \pm 33\%$  e  $54\% \pm 31\%$ . Já no FA a remoção de cor aparente foi de  $5\% \pm 13\%$  e  $12\% \pm 20\%$  em relação a atmosfera e ao reservatório respectivamente, já para turbidez os percentuais de remoção no FA foram de  $34\% \pm 31\%$  e  $31\% \pm 36\%$ .

Tabela 26 – Resultados verificados em outras pesquisas para a cor aparente e os valores verificados neste estudo (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).

autor	unidade	pontos				
		Atmosfera	Calha	abstração 1mm	reserv.	filtração
Silva (2013)	UC	$2,90 \pm 1,70$	$48 \pm 43,6$	NR	NR	NR
Andrade (2012)		$<15^{(1)}$	1 a 92	2,32 -37	0,2-20	NR
Rocha (2009) <sup>(3)</sup>		4,8	36,9	NR	NR	NR
Arruda (2014) apud Matos (2014)		NR	$48 \pm 43,6$	NR	$6,2 \pm 1,9$	$5,5 \pm 3,9$ (FA)
Vialle <i>et al.</i> (2011)		NR	NR	NR	$19 \pm 10^{(2)}$	NR
Brasil (2011); WHO (2011)		$<15$				
<b>Resultado desta pesquisa</b>		<b><math>11,0 \pm 8,4</math></b>	<b><math>10,6 \pm 2,9</math></b>	<b><math>11,7 \pm 3,2</math></b>	<b><math>9,6 \pm 2,9</math></b>	<b><math>9,7 \pm 3,3</math> (FA) <math>8,9 \pm 5,4</math> (FB)</b>

Fonte: Adaptado de Silva, 2013; Andrade, 2012; Rocha, 2009; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Vialle et al, 2011; Brasil, 2011, autora da pesquisa, 2016.

\* reserv: reservatório, FA: Filtro de areia, FB: filtro de barro, <sup>(1)</sup>: Em 92% das amostras; <sup>(2)</sup>: mg Pt Co.L-1; <sup>(3)</sup>: apud Silva (2013), NR.: Não realizado.

Para a turbidez, a amostra da atmosfera apresentou a maior média ( $2,8 \pm 2$  UNT) e maior mediana (2 UNT) e foi significativamente alterada na calha ( $1,8 \pm 0,9$

UNT, mediana 1,6 UNT) e após a abstração de 1 mm ( $2,1 \pm 1,4$  UNT, mediana 1,8 UNT), foi novamente alterada (aumento) e apresentou semelhanças com o grupo da atmosfera (grupo a) e calha (grupo b). O aumento da variável na abstração de 1mm, em relação a calha, remete ao fato do dispositivo ter funcionado como um acumulador de sólidos. Cabe ressaltar que a coleta das amostras da abstração foi feita pelo fundo, possibilitando o carregamento do sedimento. Corroborando para a possibilidade o fato de que na fase da reservação também foi verificado um dos menores valores da turbidez ( $1,5 \pm 0,8$  UNT), indicando que os sólidos foram retidos na abstração de 1 mm e não foram encaminhados para a reservação. Do ponto de vista construtivo, pode ser que, se a abstração fosse dotada de um fecho hídrico, possivelmente os resultados seriam potencializados.

Na reservação foi observada a redução da média da turbidez ( $1,5 \pm 0,8$  UNT e mediana de 1,3 UNT), efeito este esperado pela ação sedimentadora do reservatório no ciclo de tratamento (MORROW et al, 2010) e pela ação retentora da abstração. A filtração em leito de areia (ponto FA) não apresentou diferenças significantes (média de  $1,5 \pm 0,8$  UNT, mediana de 1,5 UNT), entretanto após o FB a turbidez (oriunda da reservação) foi significativamente reduzida (média de  $0,7 \pm 0,5$  UNT), representando a menor mediana (0,6 UNT) para turbidez verificada no sistema. Resultados melhores poderiam ter sido percebidos ao minimizar a turbulência no reservatório quando da alimentação do mesmo.

Na Tabela 27 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e, em seguida, os valores obtidos nesta pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstração 1mm; reservatório, FA e FB) como forma de verificação da convergência com outros estudos.

A filtração de areia não importou em diferenças significantes em relação a reservação (ambos  $1,5 \pm 0,8$  UNT) revelando que, para turbidez menor, o FA não se mostrou eficiente. Nas pesquisas de Arruda (2014 apud MATOS, 2014) e Andrade (2012) os resultados não sugerem diferenças significantes, no trabalho de Moreira Neto (2012) foi verificado um aumento da turbidez após o filtro de areia.

Em relação à média da turbidez no ponto FB ( $0,7 \pm 0,5$  UNT) foi verificada diferença estatisticamente significativa em relação a reservação e observou-se também maior eficiência ( $54\% \pm 31\%$ ) em relação ao FA. Resultado semelhante foi observado por Naddeo, Scannapieco e Belgiorio (2013) que obteve valores de turbidez da ordem de  $0,42 \pm 0,06$  UNT após microfiltração antecedida de filtração em



carvão ativado granular, corroborando sugestivamente para o reconhecimento da eficiência da microfiltração para os casos onde a turbidez é menor, que requerem filtros mais exigentes.

Tabela 27 – Resultados verificados em outras pesquisas para a turbidez e os valores verificados nesta pesquisa (média ± desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).

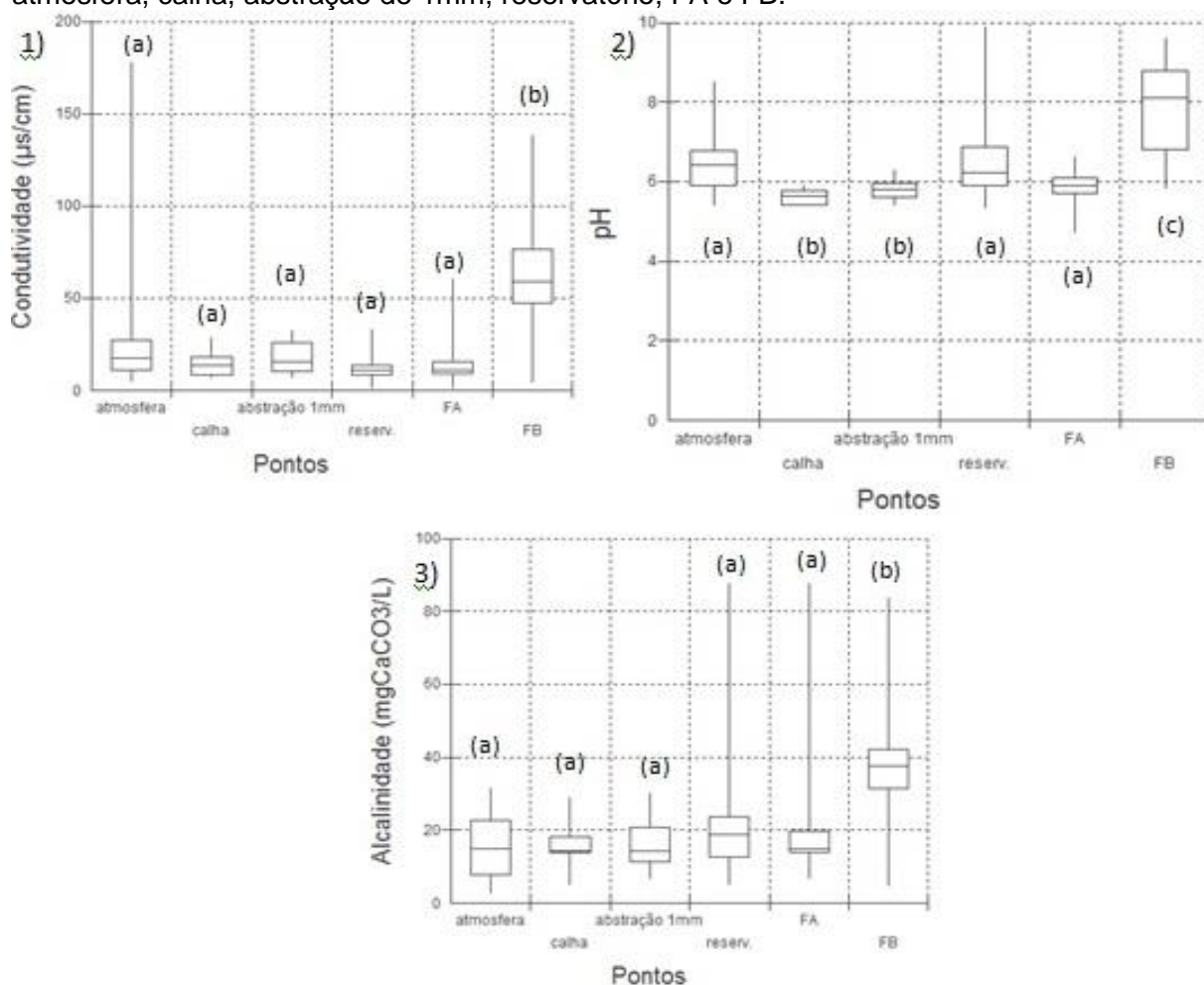
autor	unidade	pontos				
		atmosfera	calha	abstração 1mm	reserv.	Filtração
Moreira Neto (2012)	UNT	0,79	NR	NR	NR	1,9 (FA)
Naddeo; Scannapieco; Belgiorno . (2013)		25,88± 3,62	NR	NR	NR	0,42 ± 0,06 <sup>(1)</sup>
Andrade (2012)		0 - 3,26	0-4,12	0 - 2,32	0-1,63	NR
Xavier (2010)		0,92	4,8-6,7	2,2-2,57	NR	NR
Arruda (2014) apud Matos(2014)		NR	4,7±8,0	NR	2,8±2,2	3,59 ±2,36 (FA)
Brasil (2011)		$<1^{(2)}$				
WHO (2011)		$<5^{(3)}$				
<b>Resultado desta pesquisa</b>		<b>2,8±2</b>	<b>1,8±0,9</b>	<b>2,1±1,4</b>	<b>1,5±0,8</b>	<b>1,5±0,8 (FA) 0,7±0,5 (FB)</b>

Fonte: Moreira Neto, 2013; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Andrade, 2012; Xavier, 2010; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Brasil, 2011; WHO, 2011, autora da pesquisa, 2016

\*<sup>(1)</sup>: microfiltração antecedida de filtração em meio granular; <sup>(2)</sup>: para filtração lenta, <sup>(3)</sup> para filtração em sistemas remotos, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro, NR.: Não realizado.

Os dados obtidos para as variáveis pH, condutividade elétrica e alcalinidade, bem como as diferenças estatisticamente significantes foram plotadas na Figura 15, utilizando letras diferentes nos box-plots, para apontar as diferenças entre as médias, nos pontos de amostragem. Observa-se que a alcalinidade e condutividade elétrica só apresentaram diferenças estatísticas no ponto FB.

Figura 15 – Box plot da mediana para 1) CE, 2) pH 3) alcalinidade para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB.



\*reserv: reservatório, FA: Filtro de areia, FB: filtro de barro.

\*\*Nota: As letras diferentes representam as diferenças significantes entre os pontos de coleta, para a média, quando  $p < 0,05$ .

Para a condutividade elétrica, que não apresentou diferença estatisticamente significativa ao longo da UETAC, a média atmosfera foi de  $26,2 \pm 38,9$  µs/cm. Na calha a média foi de  $14,3 \pm 6,9$  µs/cm e após a abstração de 1mm  $17,9 \pm 9,2$  µs/cm. Na reservação a média da variável foi  $12,9 \pm 7,8$  µs/cm. No FA a média foi de  $13,7 \pm 10,5$  µs/cm (mediana de  $10,7$  µs/cm). Após o FB a média foi de  $62 \pm 24,2$  µs/cm, verificando um importante aumento na variável, ainda neste ponto foi verificada a maior mediana ( $58,9$  µs/cm). É possível que a vela filtrante do FB tenha aumentado a condutividade elétrica devido a adição de íons à água.

Na Tabela 28 são apresentados os resultados verificados em outros trabalhos para a condutividade elétrica e, em seguida, os valores obtidos nesta pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstração 1mm;

reservatório; FA e FB) para verificação da convergência com outros estudos, que verificaram aumento da variável na abstração e redução na reservação (TAMIOSSO et al, 2007; XAVIER, 2010). Foi observado que o FA não importou em aumento expressivo da variável, por outro lado o FB provocou aumento da condutividade elétrica, atingindo o maior valor verificado no sistema ( $62 \pm 24,2 \mu\text{s/cm}$ ).

Tabela 28 – Resultados verificados em outras pesquisas para a condutividade elétrica e os valores obtidos na pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; atmosfera, abstração de 1mm, FA e FB).

autor	unid.	pontos				
		atmosfera	Calha	abstração 1mm	reserv.	Filtração
Vialle <i>et al.</i> (2011)	$\mu\text{s/cm}$	NR	NR	NR	$56,2 \pm 45,5$	NR
Naddeo; Scannapieco; Belgiorno (2013)		41	NR	NR	NR	NR
Santos <i>et al.</i> (2007)*		24	25	NR	NR	NR
Rocha (2009)*		NR	23	NR	NR	NR
Tamiosso <i>et al.</i> (2007)		$6 \pm 2$	$17 \pm 2,5$	NR	NR	NR
Xavier (2010)		12,1	NR	71,9-219	20,4-77,8	NR
<b>Resultado desta pesquisa</b>		<b><math>26,2 \pm 38,9</math></b>	<b><math>14,3 \pm 6,9</math></b>	<b><math>17,9 \pm 9,2</math></b>	<b><math>12,9 \pm 7,8</math></b>	<b><math>13,7 \pm 10,5(\text{FA})</math> <math>62 \pm 24,2(\text{FB})</math></b>

Fonte: Adaptado de Vialle et al, 2011; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Santos et al, 2007; Rocha, 2009; Tamiosso et al, 2007; Xavier, 2010, autora da pesquisa, 2016.

Legenda: \*: apud Silva (2013), FA: filtro de areia; FB: filtro de barro, Unid.: Unidade, NR.: Não realizado.

Para o pH foi observado que a atmosfera apresentou valores médios de  $6,4 \pm 0,8$ , que foi significativamente alterado ao interceptar a calha ( $5,6 \pm 0,1$ ;  $p < 0,05$ ). A abstração de 1mm não conferiu diferenças significativas ( $5,7 \pm 0,2$ ) em relação à calha, já na reservação ( $6,5 \pm 0,8$ ) o pH apresentou diferenças estatisticamente significantes em relação a abstração de 1 mm. Não houve diferença entre a atmosfera e o FA onde a média verificada foi de  $5,9 \pm 0,3$ . O FB apresentou maior média ( $7,9 \pm 1,1$ ). Na primeira etapa da pesquisa o pH não apresentou diferenças significantes entre os pontos ( $p > 0,05$ ), possivelmente devido a sazonalidade.

Na Tabela 29 são apresentados os resultados de outros estudos para o pH e, em seguida, os valores obtidos nesta pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos

pontos atmosfera; calha; abstração 1mm; reservatório, FA e FB) como verificação da convergência com outros estudos,

O aumento significativo do pH na reservação é compatível com outros estudos), onde o valor do pH tendeu a um aumento na reservação (LEE et al, 2010; AMIN e HAN, 2011; MOON et al, 2012, FARRENY et al, 2011; MATOS, 2014; KINGETT MITCHELL LTD., 2003 apud MENDEZ et al, 2011; GÖBEL; DIERKES; COLDEWEY, 2007; MEERA ANDAHAMMED, 2006 apud FARRENY, 2011.

Nesta pesquisa também foi percebido que o FA não alterou significativamente o pH, a mesma tendência foi verificada em outros estudos (ARRUDA 2014 apud MATOS, 2014; MOREIRA NETO et al, 2012). Já no FB, o aumento do pH pode ser explicado pelo contato com a vela filtrante, que aumentou a condutividade elétrica, podendo ter como causa o contato com a cerâmica branca da vela, cuja base é caulínica ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), segundo Bellingieri (2004 apud SCALIZE; TEIXEIRA, 2013).

Tabela 29 – Resultados verificados em outros estudos para o pH e os valores verificados nesta pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).

autor	pontos				
	Atmosfera	Calha	abstração 1mm	reserv.	Filtração
Moreira Neto <i>et al.</i> (2012)	7,2	NR	NR	NR	6,8 (FA)
Andrade (2012)	3,9 - 6,6	3,7 - 7,2	NI	3,8-6,5	NR
Arruda (2014) apud Matos (2014)	NR	6,3 $\pm$ 0,9	NR	6,3 $\pm$ 0,8	6 $\pm$ 0,7(FA)
Sazakli; Alexopoulos; Leotsinidis, (2007)	7,63–8,80	NR	NR	7,36–8,60	NR
Wibers <i>et al.</i> (2013)	NR	NR	NR	4,3-8,2	NR
Brasil (2011)	6 - 9,5				
WHO (2011)	6,5 – 8,5				
<b>Resultado desta pesquisa</b>	<b>6,4 <math>\pm</math> 0,8</b>	<b>5,6<math>\pm</math>0,1</b>	<b>5,7<math>\pm</math>0,2</b>	<b>6,5<math>\pm</math>0,8</b>	<b>5,9<math>\pm</math>0,3(FA) 7,9<math>\pm</math>1,1 (FB)</b>

Fonte: Adaptado de Moreira Neto et al, 2012; Andrade, 2012; Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis, 2007; Wibers et al, 2013, Brasil, 2011; WHO, 2011.

\*reserv.: reservatório, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro.

O aumento do pH foi coincidente com o aumento da alcalinidade na reservação cujas média e mediana foram superadas apenas no FB. Possivelmente o

contato com o reservatório de PVC, bem como a retenção de sólidos suspensos na abstração (que possivelmente aumentaram a variável pH) podem ter contribuído para o equilíbrio do pH, além do efeito sedimentador observado na reservação também podem ter exercido efeito sobre a variável pH.

Para a alcalinidade, ao longo do sistema, a variável não apresentou diferenças estatisticamente significantes ( $p > 0,05$ ) para os pontos, exceto para o FB, possivelmente devido aos mesmos fatores que alteraram o pH.

Na Tabela 30 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para a alcalinidade e, em seguida, os valores obtidos nesta pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstração 1mm; reservatório, FA e FB) como forma de verificação da convergência com outros estudos.

A média da variável alcalinidade na atmosfera foi  $16,3 \pm 9,3$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , após a abstração inicial o resultado verificado na pesquisa ( $15,7 \pm 6,7$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) foi menor que o verificado na reservação ( $20,1 \pm 13,1$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) onde houve um aumento na alcalinidade total, o que diverge do resultado verificado por Xavier (2010). Para o presente estudo, a reservação funcionou como um ponto de depósito da alcalinidade total, apontando que o volume de abstração não foi suficiente para reduzir a variável. Na filtração de areia (FA) ( $17,8 \pm 11,9$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), a alcalinidade foi significativamente menor que o verificado no FB ( $36,9 \pm 14,2$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), possivelmente devido a dissolução de íons oriundos da vela filtrante, que podem ter contribuído também para o aumento desta e de outras variáveis tais como a condutividade elétrica e pH.

Tabela 30 – Resultados verificados em outras pesquisas para a alcalinidade e os valores verificados neste estudo (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).

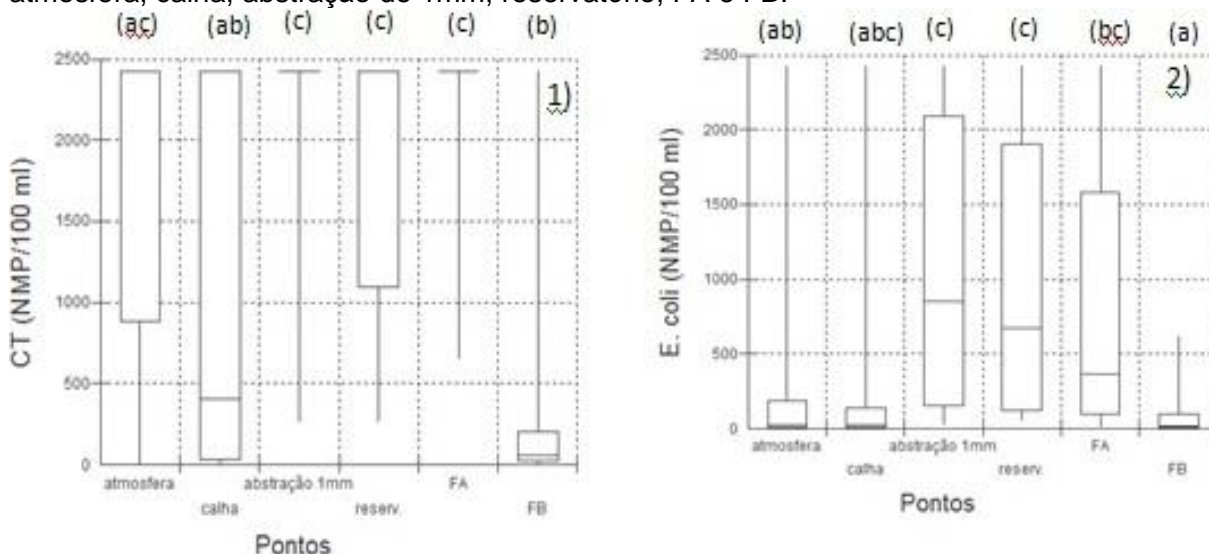
autor	unid.	pontos				
		atmosfera	calha	abstração 1mm	reserv.	filtração
Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis et al. (2007)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	6-48	NR	NR	NR	NR
Silva (2013)		14,2 $\pm$ 4,9		NR	NR	NR
Anneccchini et al.(2005)		NR	18,5	NR	NR	NR
Rocha (2009)		NR	5	NR	NR	NR
Xavier (2010)		NR	NR	19,5-65	7,5-37	NR
Resultado		16,3 $\pm$ 9,3	15,9 $\pm$ 5,5	15,7 $\pm$ 6,7	20,1 $\pm$ 13,1	17,8 $\pm$ 11,9 (FA) 36,9 $\pm$ 14,2 (FB)

Fonte: Adaptado de Sazakli, Alexopoulos e Leotsinidis, 2007, Silva, 2013; Anneccchini et al. 2005; Rocha, 2009, Xavier, 2010, autora da pesquisa, 2016.

\*Unid.: unidade, Reserv.: reservatório, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva são propícios para o crescimento bacteriano, sendo verificado em todos os pontos a presença até a filtração. Observa-se que todos os autores apontaram positividade para as pesquisas com destaque para a reservação, onde os sólidos presentes podem atuar como substrato para os microorganismos (WISBECK et al, 2011). Para as variáveis coliformes totais e *E.coli* foram plotadas as diferenças estatisticamente significantes em cada box plot, para cada ponto de amostragem, conforme disposto na Figura 16. Observa-se que o ponto FB apresentou menores médias e medianas para ambas as variáveis, sendo um ponto de importante déficit bacteriano do sistema.

Figura 16 – Box plot da mediana para 1) coliformes totais 2) *E. coli*, para os pontos de coleta: atmosfera, calha, abstração de 1mm, reservatório, FA e FB.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\*reserv: reservatório, FA: Filtro de areia, FB: Filtro de barro.

\*\*Nota: As letras diferentes representam as diferenças significantes entre os pontos de coleta, para a média, quando  $p < 0,05$ .

Para coliformes totais a média da atmosfera ( $1638 \pm 940$  NMP/100 ml) foi estatisticamente diferente ( $p < 0,05$ ) da água na calha ( $963 \pm 1092$  NMP/100 ml). A abstração de 1mm caracterizou diferenças estatisticamente significantes ( $2059 \pm 754$  NMP/100 ml) em relação a calha e atmosfera. Na reservação a média de coliformes totais ( $1925 \pm 795$  NMP/100 ml) não importou em diferenças significantes em relação a abstração de 1mm, nem em relação ao FA ( $2239 \pm 495$  NMP/100 ml) ( $p = 0,201$ ). Para o FB a média de coliformes foi a menor verificada no sistema  $371 \pm 735$  NMP/100 ml, com diferenças estatisticamente significantes entre os demais pontos.

Na Tabela 31 são apresentados os resultados verificados em outras pesquisas para os coliformes totais e, em seguida, os valores obtidos na pesquisa (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera; calha; abstração 1mm; reservatório, FA e FB) como forma de verificação da convergência com outros estudos.

Em relação a atmosfera, observa-se que em outros estudos houve presença de bactérias do grupo coliforme, segundo reportado por Silva (2013), Andrade (2012), Naddeo, Scannapieco e Belgiorno (2013), Sazakli et al (2007), Wilbers et al (2013), conforme verificado nesta pesquisa ( $1638 \pm 940$  NMP/100 ml). Isto pode ser devido a suspensão de bactérias no ar e/ou à contaminação do recipiente de coleta que ficou exposto.

Na calha, o valor obtido para coliformes totais, para essa pesquisa, de  $963 \pm 1092$  NMP/100 ml foi significativamente reduzido em relação à atmosfera (significância de 5%). A UETAC estava sob influência da sombra de uma árvore frutífera, assim é esperado o sobrevoo e contato de voadores, que podem ter depositado fezes, mas a redução bacteriológica pode ter ocorrido por conta da radiação solar e seus efeitos sinérgicos sobre a estrutura bacteriana.

A abstração de 1 mm, que atende ao princípio dos vasos comunicantes, promoveu o aumento significativo ( $2059 \pm 754$  NMP/100 ml) em relação à calha ( $963 \pm 1092$  NMP/100 ml), demonstrando que este ponto funciona como um ponto de crescimento bacteriano, possivelmente associado ao acúmulo de sólidos (substrato para bactérias). Outras pesquisas apontam para a presença de coliformes na abstração, conforme verificado por Andrade (2012) e Lee, Bak e Han (2012) e pode estar associada ao efeito retentor da turbidez.

O reservatório não implicou em diferenças estatisticamente significantes ( $1925 \pm 795$  NMP/100 ml) em relação a abstração inicial de 1mm, mostrando este ser um ponto propício ao crescimento bacteriano, outros estudos ratificaram a hipótese (ARRUDA, 2014 apud MATOS 2014; WILBERS et al, 2013; VIALLE et al, 2011; SIMMONS et al, 2001), isto porque os sólidos remanescentes podem ter servido de substrato para as bactérias.

Para esta pesquisa foi percebido que 100% de valores positivos para o FA e 90% para o FB). A média de coliformes totais do FB ( $371 \pm 735$  NMP/100ml) foi a menor verificada na UETAC, importando este ser um ponto no déficit de coliformes totais. Possivelmente a porosidade da vela filtrante (5 e 15 micrômetros) pode ter retido bactérias agregadas a turbidez, aliado ao incremento do pH e alcalinidade, que foram significativamente maiores neste ponto.



Tabela 31 – Resultados verificados em outras pesquisas para positividade em percentuais (%) e contagem em número mais provável de coliformes totais (NMP/100 ml) e os valores verificados neste estudo (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).

autor	pontos				
	atmosfera	calha	Abstração 1mm	reserv.	filtração
Arruda (2014) <i>apud</i> Matos(2014)	NR	100% <sup>1</sup>	NR	100% <sup>1</sup>	100% <sup>1</sup> (FA)
Wilbers <i>et al.</i> (2013)	1950 -65700	NR	NR	0 -102500	NR
Vialle <i>et al.</i> (2011)	NR	NR	NR	656 $\pm$ 2189	NR
Santos <i>et al.</i> (2007)	NR	930	NR	NR	NR
Rocha (2009)	NR	810	NR	NR	NR
Lee, Bak e Han (2012)	NR	76	2	NR	NR
Andrade (2012)	NR	100% <sup>1</sup>	100% <sup>1</sup>	93% <sup>1</sup>	NR
Simmons <i>et al.</i> (2001)	NR	NR	NR	1-19000	NR
Naddeo; Scannapieco; Belgiorno (2013).	328 $\pm$ 126	NR	NR	NR	0,01% <sup>2</sup> (FA)
Simonis e Basson (2011)	NR	NR	NR	NR	1% <sup>2</sup> (FB)
<b>Resultado desta pesquisa</b>	<b>1638<math>\pm</math>940</b>	<b>963<math>\pm</math>1092</b>	<b>2059<math>\pm</math>754</b>	<b>1925<math>\pm</math>795</b>	<b>2239<math>\pm</math>495 (FA) 371<math>\pm</math>735 (FB)</b>

Fonte: Adaptado de Arruda, 2014 *apud* Matos, 2014; Wilbers *et al.*, 2013; Vialle *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2007; Rocha, 2009; Lee, Bak e Han, 2012; Andrade, 2012; Simmons *et al.*, 2001; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013; Simonis e Basson, 2011, autora da pesquisa, 2016.

\*<sup>1</sup>: percentuais positivos, <sup>2</sup> percentual de contagem remanescente; Reserv.: reservatório, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro, NR.: não realizado.

Para bactérias *E.coli*, este estudo apontou diferença estatisticamente significativa entre os pontos. Na atmosfera foi observada média de 225 $\pm$ 547 NMP/100 ml. Na calha a variável aumentou para 433 $\pm$ 859 NMP/100 ml importando em diferenças significantes ( $p < 0,05$ ), após a abstração de 1mm (1147 $\pm$ 1008 NMP/100ml) houve diferenças significantes ( $p < 0,05$ ) em relação a calha. Na reservação não foi verificada diferença (1000 $\pm$ 969 NMP/100ml) em relação a abstração inicial. Após o FA, uma sensível diferença foi observada (926 $\pm$ 980 NMP/100 ml). Após o FB, observou-se diferença significativa (média 77 $\pm$ 140,2 NMP/100 ml) e menor mediana (15 NMP/100ml) ao longo da UETAC. A Tabela 32

apresenta os resultados verificados por este trabalho e outros autores, onde foi verificada positividade em todas as pesquisas, conforme Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Wilbers et al, 2013; Vialle et al, 2011; Andrade, 2012; Simmons et al, 2001; Naddeo, Scannapieco, Belgiorno, 2013.

Tabela 32 – Resultados verificados em outras pesquisas para positividade de *E.coli* (%) e os valores verificados neste estudo (média  $\pm$  desvio-padrão dos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB).

autor	pontos				
	Atmosfera	calha	abstração 1mm	reserv.	Filtração
Arruda (2014) <i>apud</i> Matos(2014)	NR	80% <sup>1</sup>	NR	93% <sup>1</sup>	100% <sup>1</sup> (FA)
Wilbers <i>et al.</i> (2013)	1950- 65'700	NR	NR	0–4650	NR
Vialle <i>et al.</i> (2011)	NR	NR	NR	148 $\pm$ 757	NR
Andrade (2012)	NR	100%	100%	66,7%	NR
Simmons <i>et al.</i> (2001)	NR	NR	NR	1-840	NR
Naddeo, Scannapieco, Belgiorno (2013)	NR	NR	NR	NR	0,01% <sup>2</sup> (FA)
<b>Resultado desta pesquisa</b>	<b>225<math>\pm</math>547</b>	<b>433<math>\pm</math>859</b>	<b>1147<math>\pm</math>1008</b>	<b>1000<math>\pm</math>969</b>	<b>926<math>\pm</math>980</b> <b>(FA)</b> <b>77<math>\pm</math>140</b> <b>(FB)</b>

Fonte: Adaptado de Arruda, 2014 apud Matos, 2014; Wilbers et al, 2013; Vialle et al, 2011; Andrade, 2012; Simmons et al, 2001; Naddeo, Scannapieco e Belgiorno, 2013, autora da pesquisa, 2016.

\*<sup>1</sup>: percentuais positivos, <sup>2</sup> percentual remanescente, Reserv.: reservatório, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro, NR.: não realizado.

Para coliformes totais, no FB, a eficiência foi de 93%  $\pm$  10,5% em relação a atmosfera e 93%  $\pm$  10% em relação a reservação. No FA as eficiências foram de 4,6%  $\pm$  16,6% e 0,5%  $\pm$  2,4%, respectivamente para a atmosfera e reservação. Para *E.coli*, a eficiência no FB foi de 48%  $\pm$  45% em relação a atmosfera e 89%  $\pm$  15 em relação a reservação. No FA as eficiências em relação a atmosfera e reservatório foram, respectivamente 8,1%  $\pm$  25% e 28,5%  $\pm$  31,4%. O FB obteve eficiência de 84,4%  $\pm$  30,2% superior ao FA na redução de coliformes totais. O teste de hipóteses relacionado ao atendimento ao padrão de potabilidade (BRASIL, 2011) e o intervalo de confiança (5%) para as variáveis cor aparente, turbidez, pH, coliformes totais e *E.coli*, estão dispostos na tabela 33.

Tabela 33 – Intervalo de confiança com 5% de significância das variáveis cor aparente, turbidez, pH, coliformes totais e fecais nos pontos atmosfera, calha e abstração 1 mm, reservação, FA e FB.

Variável	valor de referência	pontos					
		atmosfera	calha	abstração 1mm	reserv.	FA	FB
cor aparente (UC)	15	(7,00;15,1) p=0,033	(10,4;13,1) p=0,00	(10,1;13,3) p=0,00	(8,8; 10,5) p=0,00	(8,7;10,6) (p=0,000)	(7,4;10,5) p=0,000
turbidez (UNT)	0,5 ou 1	(1,8;3,8) b; p=0,000	(1,4;2,3) b; p=0,001	(1,4;2,8) b; p=0,002	(1,3;1,7) b; p=0,003	(1,3;1,7) b; p=0,004	(0,5;0,8) p=0,09
pH	5 a 9	(6,0;6,8) p=0,005	(5,5;5,7) p=0,00	(5,6;5,9) p=0,00	(6,2;6,7) p=0,00	(5,8;6) p=0,00	(7,6;8,2) p=0,00
CT (NMP/100 ml)	0	(1226;2051) p=0,00	(459;1468) p=0,00	(1729;2390) p=0,00	(1577;2274) p=0,00	(2023;2457) p=0,00	(50;694) P=0,024
<i>E.coli</i> (NMP/100 ml)	0	(0,00;464) p=0,066	(36;830) p=0,033	(706;1590) p=0,00	(576;1425) p=0,00	(496;1355) p=0,00	(0;501) P=0,724

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

\*IC=  $y \pm t_{\alpha/2} \cdot s_{yt/2} < \mu < y + t_{\alpha/2} \cdot s_{yt/2}$ , onde y= média e  $\mu$ = média populacional, a= acima do valor de referência brasileiro de 0,5 UNT (BRASIL, 2011), b= acima de 1 UNT para filtro lento (BRASIL,2011), c=acima de 5 UNT (WHO,2011). Reserv.: reservatório, FA: filtro de areia; FB: filtro de barro.

Em todos os pontos de amostragem do sistema, na terceira etapa, a cor aparente esteve abaixo do valor de 15 UC ( $p < 0,05$ ) que indica atendimento da meta proposta pelos níveis de referência (BRASIL, 2011; WHO, 2011).

Para a turbidez o IC95% na atmosfera (1,8;3,8 UNT), na calha (1,4;2,3 UNT), na abstração de 1mm (1,4;2,8 UNT), no reservatório e no FA (1,3;1,7 UNT) foram menores que o padrão de 5 UNT,  $p=0,00$ ), já no FB (0,5;0,8 UNT) onde foi estatisticamente menor que 1 UNT ( $p=0,09$ ), sendo verificado apenas neste ponto o atendimento da referida meta (BRASIL, 2011).

Os intervalos de confiança do pH para todas as etapas da coleta e tratamento apontaram valores mínimos bem próximos do atendimento a ambos os níveis de referências abordados (BRASIL, 2011; WHO, 2011), estando dentro do intervalo 5,5 - 8,2. Em todos os pontos foi considerado que o pH esteve estatisticamente abaixo de 7 ( $p < 0,05$ ), exceto o ponto FB onde o pH ficou acima de 7 (IC95% 7,6;8,2)

Para coliformes totais observa-se que não houve atendimento ao padrão de ausência (BRASIL, 2011) para todos os pontos ( $p=0,00$ ). No ponto FB, com menor concentração ao longo do sistema, o IC95% foi 50;694 NMP/100ml ( $p=0,024$ , ou seja, representando desatendimento ao padrão de ausência).

Para *E.coli*, na atmosfera, observa-se que a variável foi estatisticamente maior que 0 ( $p=0,066$ ). Na calha observa-se que a variável (36;830 NMP/100 ml) não atendeu ao padrão (BRASIL, 2011) assumindo  $p=0,033$ . Na abstração, houve um visível aumento da variável (706;1590 NMP/100 ml,  $p=0,00$ ), na reservação foi observada permanência da vida bacteriana (576;1425 NMP/100 ml,  $p=0,00$ ), bem como no FA (496;1355 NMP/100ml,  $p=0,00$ ), entretanto após o FB houve significativa redução da variável (0;501,  $p=0,724$ ).

Os resultados dispostos na tabela 25 apontam que a superfície de captação do presente estudo é um importante marco qualitativo do ciclo da água do sistema de captação e tratamento de água de chuva na redução de turbidez, pH e coliformes totais em relação a atmosfera, para as variáveis cor aparente, condutividade elétrica e alcalinidade não houve diferença estatisticamente significativa (em relação a atmosfera). Para *E.coli* houve aumento significativo da média da calha em relação a atmosfera.

Em relação a filtração, o desempenho do FB foi melhor que o FA em relação as variáveis turbidez, coliformes totais e *E.coli*. As taxas de operação dos filtros podem ter influenciado no desempenho, isto é a taxa do FB, que foi 0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia foi menor que o do filtro de areia, que foi 13,16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia, bem como a porosidade dos filtros (FB, 5 – 15 micrometros).

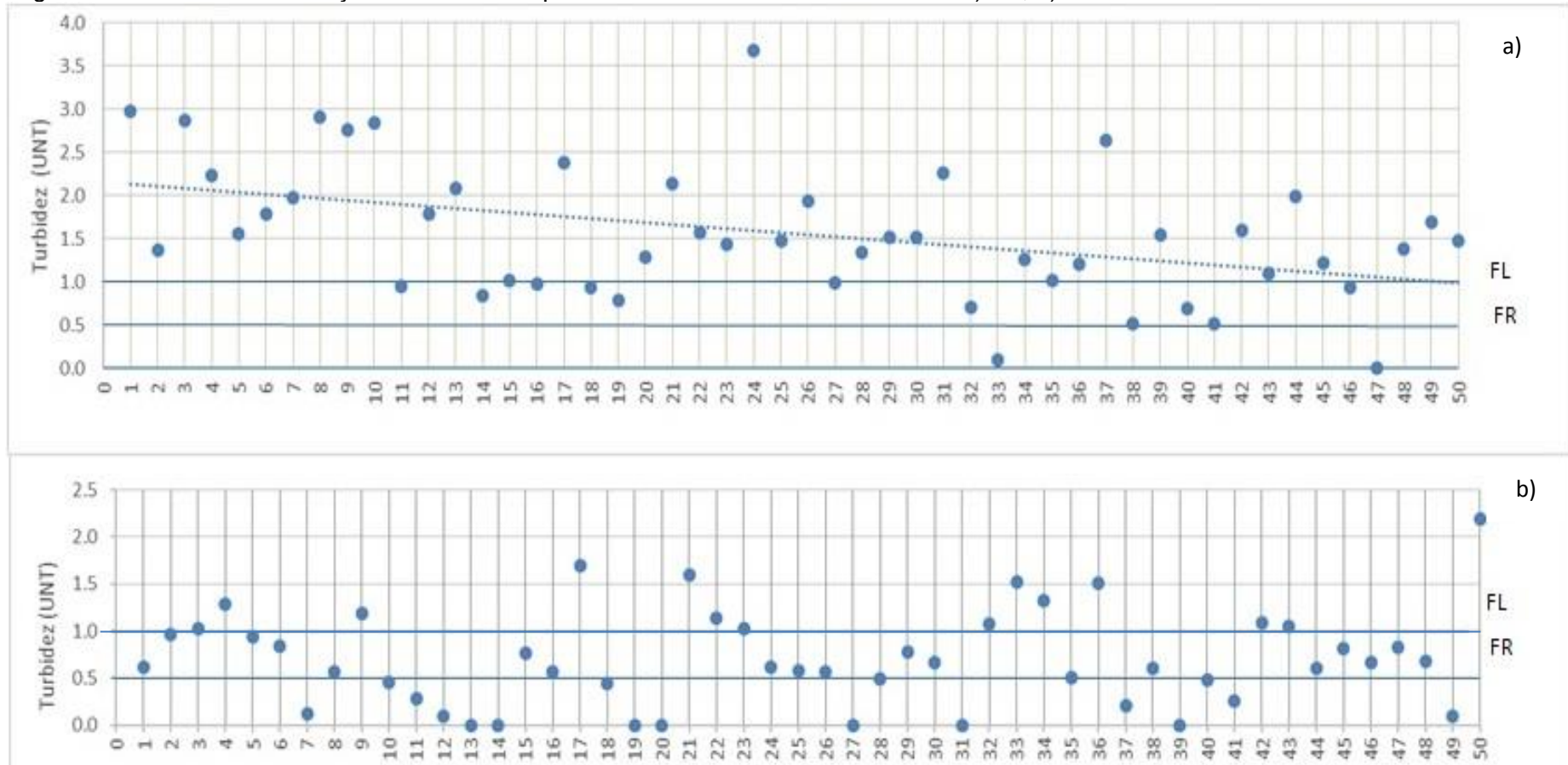
Em relação à carreira de filtração, os FA e FB apresentaram desempenhos diferentes em relação à redução da turbidez. A figura 17 ilustra as carreiras de filtração para os filtros FA e FB respectivamente.

A lavagem da vela do FB foi realizada quinzenalmente, enquanto que para o filtro de areia não foi realizada por não observar aumento na turbidez caracterizante de fim de carreira de filtração.

O FA obteve média de turbidez de 1,6 UNT, entretanto observa-se que 30% dos valores foram iguais ou menores a 1 UNT (filtração lenta) e somente 5% das amostras foram menores ou iguais a 0,5 UNT (filtração rápida) (BRASIL, 2011). Entretanto todas as amostras provenientes do filtro de areia ficaram abaixo de 5 UNT (WHO, 2011).

A linha de tendência aponta para um decréscimo na turbidez, decréscimo este que sugere que a carreira de filtração ainda estava hábil, haja vista que as outliers se apresentam em diminuição (valores máximos nos dias 30/04/2015 e 21/05/2015). Verifica-se que a partir do dia 26 de maio de 2015, 70% das amostras estavam abaixo de 1,5 UNT, que 40% já estavam iguais ou menores que 1 UNT, entretanto somente 10% estavam iguais ou menores que 0,5 UNT.

Figura 17 – Carreiras de filtração observada no período de 23/03/2015 a 16/06/2015: a) FA, b) FB.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

FL: Filtro lento, FR: Filtro Rápido, FA: Filtro de Areia, FB: Filtro de Barro.

O filtro de barro apresentou um desempenho superior ao filtro de areia. Verifica-se que 84% das amostras estiveram iguais ou menores que 1 UNT, 35% abaixo de 0,5 UNT e que a média da coleta diária em dia útil apontou que a variável turbidez obteve valor de 0,7 UNT.

As lavagens das velas, procedidas sempre que as mesmas escureciam, foram realizadas em três momentos: nos dias 08 e 22 de maio de 2015 e em 12 de junho de 2015. Nos dois primeiros eventos foi possível observar que os valores da turbidez após as limpezas foram aproximadamente 0,5 UNT. Após a primeira limpeza verifica-se que 85% das amostras estiveram abaixo de 1 UNT e 35% abaixo de 0,5 UNT, Após a segunda limpeza (dia 22 de maio de 2015) observa-se que 100% dos valores de turbidez estiveram abaixo de 1,5 UNT e 70% dos valores estiveram abaixo de 1 UNT e 40% abaixo de 0,5 UNT e 20% abaixo de 0,2 UNT. Após a terceira limpeza, observou-se que 90% dos valores estiveram abaixo de 1 UNT e 27% igual ou abaixo de 0,5 UNT.

Ao longo da utilização do FB observou-se que o valor máximo para a turbidez foi de 2,2 UNT. Supondo o limite máximo de 5 UNT para sistemas de abastecimento de água em localidades remotas (WHO, 2011), pode-se afirmar que o FB atendeu aos limites.

As velas filtrantes aqui estudadas atingiram taxa filtrante de 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia cada uma e possuíam eficiência de retenção de partículas de 5 - 15 micrometros sendo enquadrada como vela de camada simples, tipo P-III (ABNT, 2012).

A eficiência na remoção de sólidos, sobretudo suspensos, também foi verificada na redução de bactérias do grupo coliforme, entretanto a desinfecção deve ser procedida, seja ela para fins corretivos ou preventivos.

Os resultados deste trabalho apontam que, após a pesquisa desenvolvida em ambos os filtros, observou-se que a desinfecção era necessária, tanto para fins corretivos quanto preventivos. Para tanto, a partir da 13<sup>o</sup> campanha de amostragem completa, passou-se a adicionar hipoclorito de sódio (NaOCl) à 1% nas amostras após a filtração, na dosagem de 2 gotas por litro. Na Tabela 34 são apresentados o número de determinações realizadas, a média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e a eficiência de remoção dos filtros para coliformes totais e *E. coli* antes e depois da adição de hipoclorito de sódio.

Tabela 34 – Descrição estatística das variáveis analisadas e número de determinações antes e depois da desinfecção.

filtro	variáveis estatísticas	coliformes totais (NMP/100ml)		ef. remoção (%)	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)		ef. remoção (%)
		antes	depois		antes	depois	
FA	n	20	7	-	20	7	-
	média	2230	1	100,0	964	0	100,0
	mediana	2420	0	100,0	387	0	100,0
	mínimo	649	0	100,0	11	0	100,0
	máximo	2420	6	99,8	2420	0	100,0
	desvio padrão	507	2	99,6	991	0	100,0
FB	n	20	7	-	20	7	-
	média	385	0	100,0	75	0	100,0
	mediana	41	0	100,0	15	0	100,0
	mínimo	0	0	100,0	0	0	100,0
	máximo	2420	0	100,0	613	0	100,0
	desvio padrão	752	0	100,0	144	0	100,0

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

Com base nos resultados da eficiência de remoção apresentados na Tabela 34, observa-se cerca de 100% de eficiência média de remoção de coliformes em todos os filtros. Os resultados dispostos na tabela 33 apontam convergência com os valores obtidos em outras pesquisas (ROCHA; REIS; ARAÚJO, 2007; PIZZOLATTI, 2011), o que vem a ratificar a eficiência da desinfecção por hipoclorito de sódio (NaClO) à 1%.

Em relação à proposição de lay out de tratamento, verifica-se que o sistema com FB apresentou melhor desempenho para as variáveis analisadas. Para verificar qual alternativa é mais viável do ponto de vista econômico foram avaliados os custos de implantação de cada sistema, considerando a abstração de 1 mm. As planilhas detalhadas encontram-se nos Anexos A e B e o resumo dos valores obtidos para cada configuração testada neste trabalho estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 – Comparação de custo de implantação dos 2 filtros separadamente.

SISTEMA	VALOR
Sistema 1- com filtro de areia	R\$ 1.877,05
Sistema 2- com filtro de barro	R\$ 1.857,37

Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

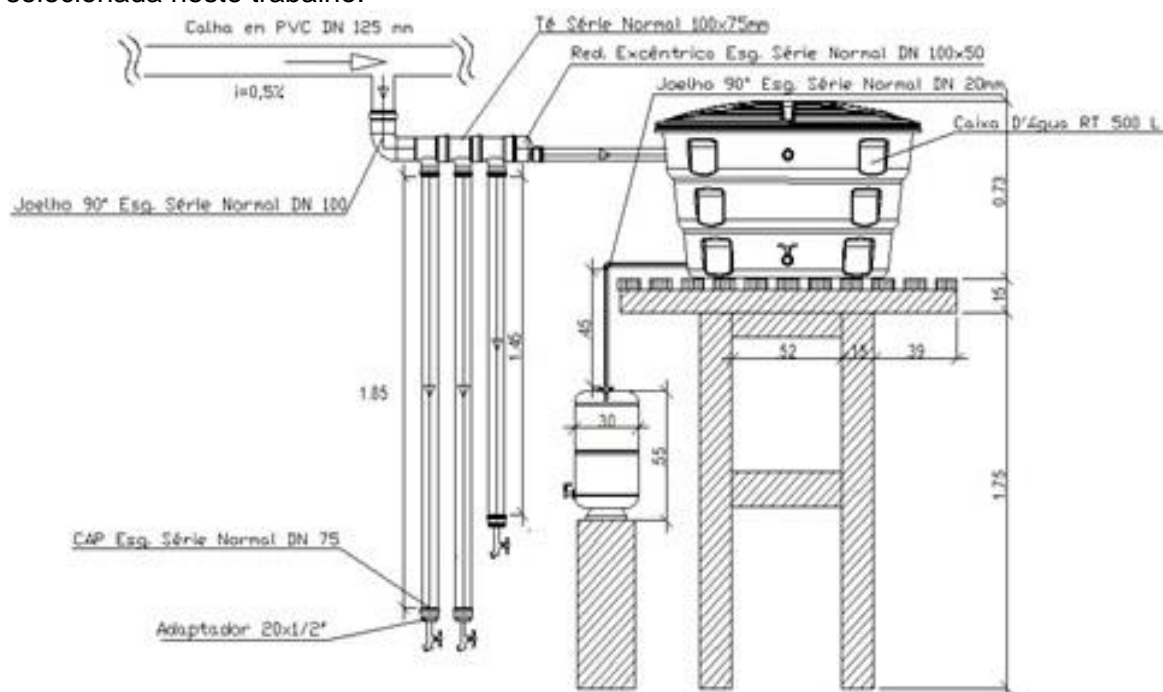
\*Base: tabela SINAPI, mês de referência de março 2015.



Percebe-se que o FB apresentou maior simplicidade operacional, a limpeza é realizada com esponja e água potável, enquanto que no FA a retrolavagem está em estudo com proposta inicial de contra-corrente..

Na Figura 18 é apresentada a configuração do sistema com FB e nos anexos C e D a vista dos sistemas (FA e FB).

Figura 18 – Sistema de captação e tratamento de água de chuva com FB – opção selecionada neste trabalho.



Fonte: A autora da pesquisa, 2015.

## 6 CONCLUSÕES

O projeto foi concebido e projetado em conformidade com as diretrizes das tecnologias voltadas para o desenvolvimento social e a obra apresentou facilidade de construção, de manutenção e de operação.

O volume de abstração inicial escolhido foi de 1 mm por conferir diferenças significantes em relação a calha para cor aparente (eficiência de  $22,70\% \pm 26,80\%$ ), turbidez (eficiência de  $33 \pm 31\%$ ) e condutividade elétrica (eficiência de  $28 \pm 31,50\%$ ). Entre 1 e 3 mm só houve diferença para a cor aparente e para os volumes de 3 e 4 mm não foi verificada diferença entre os mesmos para todas as variáveis, assim o primeiro milímetro foi considerado o primeiro ponto de impacto qualitativo positivo além de abstrair o menor volume possível.

Em relação ao atendimento do padrão de potabilidade, observou-se que a média da variável turbidez ( $5,4 \pm 4,7$  UNT), após a abstração de 1 mm, foi maior que o padrão de 1 UNT para filtros lentos (BRASIL, 2011), bem como do padrão de 5 UNT (OMS, 2011), por isso optou-se por prosseguir com a filtração e desinfecção.

Na terceira etapa da pesquisa, observou-se que a calha foi um importante marco qualitativo no sistema, onde as variáveis turbidez, pH e coliformes totais foram significativamente reduzidas ao interceptar a referida superfície, entretanto não houve redução significativa para cor aparente, condutividade elétrica, alcalinidade, para *E.coli* houve aumento. Possivelmente o telhado cerâmico novo, em tempos chuvosos, pode ter contribuído para a melhoria da qualidade da água, por conta das repetidas lavagens de telhado ocasionadas pelas chuvas típicas do período.

Na abstração de 1 mm verificou-se um aumento significativo, em relação à calha, para turbidez e coliformes totais e *E.coli* o que pode ser devido ao acúmulo de sólidos que não foram retidos no telhado e foram depositados na abstração de 1 mm. O efeito retentor de sólidos da abstração fica confirmado com a redução da turbidez na reservação, recuperando a qualidade verificada na calha. Para cor aparente, condutividade elétrica, alcalinidade, coliformes totais e *E.coli* a reservação não importou em diferenças estatisticamente significantes em relação à calha.

Em relação à eficiência da filtração, para cor aparente, observa-se que o FB obteve redução de  $25\% \pm 27\%$  em relação à atmosfera e  $27\% \pm 32\%$  em relação à reservação. Para a turbidez a eficiência foi de  $61\% \pm 30\%$  em relação a atmosfera e  $58\% \pm 33\%$  em relação a reservação. Para coliformes totais e *E.coli* a remoção foi

de  $93\% \pm 10,5\%$  e  $48\% \pm 45\%$  em relação a atmosfera e  $93\% \pm 10\%$  e  $89\% \pm 15$  em relação a reservação. Assim o FB obteve eficiência superior ao FA de  $54\% \pm 31\%$  para turbidez,  $25\% \pm 30\%$  para cor aparente,  $84,4\% \pm 30,2\%$  para coliformes totais e  $83\% \pm 26\%$  para *E.coli*. O FB atendeu aos padrões de potabilidade de 1 UNT para o filtro lento, de 15 UC e de 6 – 9,5 para o pH, entretanto foi verificada o não atendimento de padrões microbiológicos para consumo humano.

Este estudo confirma a eficiência desinfetante do hipoclorito de sódio a 1% onde verificou-se que o mesmo apresentou eficiência de 100% na redução de bactérias do grupo coliforme nas águas provenientes do FA e FB, uma vez que a necessidade de desinfecção foi observada no efluente dos dois filtros testados.

Os custos de implantação do sistema com FB, que foi mais eficiente, foi contabilizado em R\$ 1.857,37, já o FA custou R\$ 1.877,05. Verifica-se que há pouca diferença em termos financeiros. Em termos operacionais o FB foi mais viável pela facilidade de aquisição, reposição de insumos, e de limpeza em relação ao FA.

Como recomendações, tem-se que a limpeza de todas as etapas do módulo (inclusive do telhado) deve ser procedida no mínimo a cada seis meses, exceto o FB que deve ser lavado a cada 15 dias, quando a vela cerâmica torna-se visualmente suja. A abstração pode atender ao princípio do fecho hídrico com vistas à potencialização da eficiência do dispositivo. O reservatório deve possuir superfície lisa, ser estanque e com encaixe perfeito da tampa. A desinfecção deve ser procedida por questões preventivas e/ou corretivas para garantia da segurança bacteriológica da água.

Como contribuições futuras recomenda-se que outros estudos sejam realizados, envolvendo mais variáveis, bem como o desenvolvimento de outras alternativas simplificadas e eficientes de filtração, se o público alvo for habitante de comunidade remota, uma vez que o FA confere a desvantagem de demandar areia previamente selecionada através de ensaios granulométricos que podem não estar ao alcance do usuário. Houve também dificuldade de limpezas do meio filtrante, cabendo estudos de higienização do mesmo, bem como do acompanhamento da carreira de filtração, não encerrada até a conclusão do trabalho.

A baixa eficiência do FA em relação ao FB pode ser devido à granulometria da areia, assim ao reduzir a mesma, melhores resultados podem ser obtidos, cabendo outras pesquisas qualitativas como forma de oportunidade e descentralização técnica de tratamento de água.

## REFERÊNCIAS

ABDULLA, Fayez 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, jul. 2009.

AHMED, W. et al. Opportunistic pathogens in roof-captured rainwater samples, determined using quantitative PCR. **Water Research**, New Zealand, v. 53, p. 361-369, Apr. 2014.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 18th ed. Washington: APHA, 1992.

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

\_\_\_\_\_. Roof-harvested rainwater for potable purposes: Application of solar collector disinfection (SOCO-DIS). **Water Research**, New Zealand, v. 43, n. 20, p. 5225-5235, Dec. 2009.

ANDRADE, Antônio Luiz Menezes de. Avaliação da potabilidade das águas pluviais utilizadas para o consumo humano na comunidade nossa senhora de Fátima do Jandira, iranduba-am. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Acquacon, 2009.

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, Cícero Onofre. O descarte das primeiras águas e a qualidade da água de chuva. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, 2012.

ANNESCCHINI, Karla Ponzio Vaccari. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 2005, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Água de chuva - Instalações prediais de águas pluviais – Requisitos. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 11799**: Material filtrante – areia, antracito e pedregulho. Rio de Janeiro, 1990.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 16098**: aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano — Requisitos e métodos de ensaio. São Paulo, 2012.

BARBOSA, Antonio C.; DÓREA, José G. Indices of mercury contamination during breast feeding in the Amazon Basin. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, Estados Unidos, v. 6, n. 2, p. 71-79, Oct. 1998.

BIAZIN, Birhanu et al. Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa: a review. **Physics and Chemistry of the Earth**, United States, v. 47-48, p. 139-151, 2012.

BIELEFELDT, Angela R. et al. Removal of virus to protozoan sized particles in point-of-use ceramic water filters. **Water Research**, New Zealand, v. 44, n. 5, p. 1482-1488, Mar. 2010.

BIELEFELDT, Angela R.; KOWALSKI, Kate; SUMMERS, R. Scott. Bacterial treatment effectiveness of point-of-use ceramic water filters. **Water Research**, New Zealand, v. 43, n. 14, p. 3559-3565, 2009.

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. **Editais de chamamento público para a implementação de tecnologias sociais de acesso à água para o consumo humano na região norte**. Brasília, DF, 2012.

CATÁLOGO TÉCNICO. **Tecnologia crfs**: cimento reforçado com fio sintético.a alternativa segurada brasilit para a substituição definitivo amianto. Recife: Sain-Gobain, 2010.

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.

DAHAL, Rosan et al. **Rainwater Harvesting (RWH) in Nepal**: a case study on social acceptability and performance evaluation of RWH schemes implemented in Syangja and Tanahun districts. Pokhara: Institute of Engineering, 2010.

DI BERNARDO, Luiz; BRANDÃO, Cristina Celia Silveira; HELLER, Leo. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RIMA. 2005.

DOMÈNECH, Laia; SAURÍ, David. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, United States, v. 19, n. 6–7, p. 598-608, 2011.

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, Raphael Bragança Alves et al. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 245-257, mar./abr. 2004.

FEWTRELL, L. et al. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Infectious Diseases**, London, v. 5, n. 1, p. 42–52, Jan. 2005.

GIKAS, Georgios D.; TSIHRINTZIS, Vassilios A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology**, United States, v. 466, p. 115-126, 2012.

GÖBEL, P.; DIERKES, C.; COLDEWEY, W. G. Stormwater runoff concentration matrix for urban areas. **Journal of Contaminant Hydrology**, United States, v. 91, n. 1-2, p. 26-42, Apr. 2007.

GURUNG, Thulo Ram; SHARMA, Ashok. Communal rainwater tank systems design and economies of scale. **Journal of Cleaner Production**, United States, v. 67, p. 26-36, 2014.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Minas Gerais: UFMG, 2006.

\_\_\_\_\_. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Minas Gerais: UFMG, 2010.

HOU, H. et al. Trace metals in bulk precipitation and throughfall in a suburban area of Japan. **Atmospheric Environment**, United States, v. 39, n. 20, p. 3583-3595, Jun. 2005.

HUSTON, R. et al. Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks. **Water Research**, New Zealand, v. 43, n. 6, p. 1630-1640, 2009.

JACOME, Iânglio M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, out. 2007.

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. Mwenge; TAIGBENU, A. E. Rainwater harvesting in South Africa: challenges and opportunities. **Physics and Chemistry of the Earth**, United States, v. 36, n. 14-15, p. 968-976, 2011.

KAHINDA; Jean-marc Mwenge; TAIGBENU, Akpofure E.; BOROTO, Jean R. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, United States, v. 32, n. 15-18, p. 1050-1057, Aug. 2007.

KALIAN, Ray (Org.). **Book 2: beneficiaries e capacity builders**. Nairobi: UN- Habitat. 2012.

KIURSKI, J. et al. Evaluation of the effect of lichens on ceramic roofing tiles by scanning electron microscopy and energy-dispersive spectroscopy analyses. **Scanning**, United States, v. 27, p. 113 -119, 2005.

KUS, B. et al. Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks. **Water Science and Technology**, London, v. 61, n. 2, p. 421-428, Jan. 2010.

LAAN, H. van der et al. Bacteria and virus removal effectiveness of ceramic pot filters with different silver applications in a long term experiment. **Water Research**, New Zealand, v. 51, p. 47-54, Mar. 2014.

LEE, J. Y.; BAK, G.; HAN, M. Quality of roof-harvested rainwater e comparison of different roofing materials. **Environmental Pollution**, United States, v. 162, p. 422-429, Dec. 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.

LEMIRE Mélanie et al. Elevated levels of selenium in the typical diet of Amazonian riverside populations. **Science of The Total Environment**, Spain, v. 408, n. 19, p. 4076-4084, Sept. 2010.

LIMA, Jeferson Alberto de et al. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, jul./set. 2011.

LYE, Dennis J. Rooftop runoff as a source of contamination: a review. **Science of The Total Environment**, Spain, v. 407, n. 21, p. 5429-5434, Jul. 2009.

MAHMOUD, Wifag Hassan. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. **Conservation and Recycling**, United States, v. 91, p. 89-99, Sept. 2014.

MALM, Olaf. Sequential hair mercury in mothers and children from a traditional riverine population of the Rio Tapajós, Amazonia: seasonal changes. **Environmental Research**, United States, v. 110, n. 7, p. 705-709, Oct. 2010.

MARQUES, Andréa Rodrigues *et al.* Efficiency of PET reactors in solar water disinfection for use in southeastern Brazil. **Solar Energy**, Florida, v. 87, p.158-167, Jan. 2013.

MATOS, C. *et al.* Rainwater storage tank sizing: case study of a commercial building. **International Journal of Sustainable Built Environment**, United States, v. 2, n. 2, p. 109-118, Dez. 2014.

MATOS, Márcia Uchoa. **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, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELLOR, Jonathan *et al.* Modeling the sustainability of a ceramic water filter intervention. **Water Research**, New Zealand, v. 49, p. 286-299, Feb. 2014.

MENDEZ, Carolina B. *et al.* The effect of roofing material on the quality of harvested Rainwater. **Water Research**, New Zealand, v. 45, n. 5, p. 2049-2059, Feb. 2011.

MENEZES, Rafael; SOUZA, Bartolomeu Israel. Manejo sustentável dos recursos naturais em uma comunidade rural do semiárido nordestino. **Cadernos do Logepa**, João Pessoa, v. 6, n. 1, p. 41-57, jan./jun. 2011.

MOGES, Girma; HENGSDIJK, H.; JANSEN, H. C. Review and quantitative assessment of ex situ household rainwater harvesting systems in Ethiopia. **Agricultural Water Management**, United States, v. 98, n. 8, p. 1215-1227, May. 2011.

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

MORAES, Bergson Cavalcanti de *et al.* Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 207-214, abr./jun. 2005.

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.



MORROW, A. C.; DUNSTAN, R. H.; COOMBES, P. J. Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. **Science of The Total Environment**, United States, v. 408, n. 20, p. 4542-4548, Sep. 2010.

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, 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.

NICHOLSON, Natasha T. et al. Rainwater Harvesting for Landscape Irrigation: The Good, the Bad, and the Ugly side of Roof Runoff. In: WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS, 2009. **Proceedings...** Missouri, 2009.

NOXON, J. F. Atmospheric nitrogen fixation by lightning. **Geophysical Research Letters**, Florida, v. 3, n. 8, p. 463-465, Aug. 1976.

PINHEIRO, M. C. N. Mercury pollution and childhood in Amazon riverside villages. **Environment International**, United States, v. 33, n. 1, p. 56-61, Jan. 2007.

PIZZOLATTI, Bruno Segalla. **Avaliação dos métodos de desinfecção**: cloração e radiação ultravioleta, com a finalidade de utilização da água de chuva em escala residencial. 2007. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM S.; BRIEN, C. J. Developing resilient green roofs in a dry climate. **Sci. Total Environ**, United States, v. 490, p. 579–589, Aug. 2014.

ROCHA, Bárbara Cristina Castro de Melo; REIS, Ricardo Prado Abreu; ARAÚJO, José Vicente Granato de. Avaliação de sistema de tratamento de águas de chuva coletadas em telhado de cimento amianto, utilizando filtração e desinfecção por UV e Cloro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 3, n. 1, p. 12-18, nov. 2011.

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.

RYAN, Anthony M.; SPASH, Clive L.; MEASHAM, Thomas G. Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and rainwater collection: evidence from Australia. **Journal of Hydrology**, United States, v. 379, p.164-171, Dec. 2009.

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.

SILVA, A. E. P. et al. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. **Acta amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 733-742, dez. 2008.

SILVA, D. Sampaio da et al. Influence of ecological factors and of land use on mercury levels in fish in the Tapajós River basin, Amazon. **Environmental Research**, United States, v. 109, n. 4, p. 432-446, May. 2009.

SILVA, Priscila Souza e. **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.

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.

SIMONIS, Jean Jacques; BASSON, Albertus Koetzee. Evaluation of a low-cost ceramic micro-porous filter for elimination of common disease microorganisms. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Bristol, v. 36, n. 14-15, p. 1129-1134, 2011.

\_\_\_\_\_. Manufacturing a low-cost ceramic water filter and filter system for the elimination of common pathogenic bacteria. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 50, p. 269-276, 2012.

SOBSEY, M. D. (Org.). **Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply**. Geneva: WHO, 2002.

SOUZA, Igor de. 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, Everaldo B. de et al. Rede estadual de Previsão Climática e hidrometeorológica do Pará. **Boletim do Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 2-3, p. 6-13, ago./dez. 2007.

SOUZA, M. C. et al. Quality indicators and potential of rain water harvesting on paved roads in semiarid Bahia. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n.1, p. 71-80, 2012.

SUTHERLAND, Kenneth. **Filters and Filtration Handbook**. 5th ed. São Paulo: Elsevier, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Year Book 2012: emerging Issues in our Global Environment**. Nairóbi, 2013.

TAMIOSSO, Camila Ferreira et al. Captação da Água da chuva no laboratório de Engenharia Ambiental. **Disciplinarum Scientia: Série Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 25-37, 2007.

THOMAS, Russell B. et al. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, United States, v. 75, p. 166-173, Apr. 2014.

VAZQUEZ, A. et al. A rainwater quality monitoring network: a preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). **Chemosphere**, United States, v. 51, n. 5, p. 375-86, May. 2003.

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: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Paraíba. **Anais...** Paraíba: Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, 2012.

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.

VIEIRA, A. S. et al. Energy intensity of rainwater harvesting systems: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 34, p. 225-242, Jun. 2014.

WATER SAVING WANES IN THE GARDEN. **Australian Bureau of Statistics**. Austrália, 2013. Disponível em: <<http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/products/629A13C5A1CFAC3CCA2577DF00155272?OpenDocument>>. Acesso em: 6 set. 2014.

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.

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.

WISBECK, Elisabeth et al. Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 337-342, out./dez. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4th ed. Switzerland, 2011.

XAVIER, Rogério Pereira. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

YUAN, Tian; FENGMIN, Li; PUHAI, Liu. Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. **Agricultural Water Management**, United States, v. 60, n. 3, p. 217-226, May. 2003.

ZENG, Bing; TAN, Hai-qiao; WU, Li-juan. A New Approach to Urban Rainwater Management. **Journal of China University of Mining and Technology**, China, v. 17, n. 1, p. 82-84, Mar. 2007.

ZHANG, Qianqian et al. Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China. **Journal of Environmental Management**, China, v. 132, p. 178-187, Jan. 2014.

ZHAO, Zhiqing; XU, Han. Study on the Supplying System of Cooling Water of Air Conditioner based on the Urban Street Rainwater. **Energy Procedia**, v. 16, p. 8-13, Jan. 2012.

**ANEXO A – PLANILHA DE CUSTO DE INSUMOS: ABSTRAÇÃO DE 1MM E  
FILTRO DE AREIA**

BASE: SINAPI- março/2015

Item	Descrição	Unid.	Qtde.	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
<b>1</b>	<b>CALHA</b>				
1.1	Suporte sincado dobrado Aquapluv (PVC)	und	7	R\$ 15,70	R\$ 109,90
1.2	Cabeceira direita PVC Aquapluv D= 125 MM	und	1	R\$ 10,70	R\$ 10,70
1.3	Cabeceira esquerda PVC Aquapluv D= 125 MM	und	1	R\$ 10,90	R\$ 10,90
1.4	Calha PVC Aquapluv DN= 125 MM C/ 3,00 MM de comprimento	und	2	R\$ 60,90	R\$ 121,80
1.5	Emenda MR PVC Aquapluv D = 125 MM	und	1	R\$ 28,00	R\$ 28,00
1.6	Bocal MR PVC Aquapluv D= 125 X 88 MM	und	1	R\$ 32,80	R\$ 32,80
	Total item				R\$ 314,10
<b>2</b>	<b>Abstração</b>				
2.1	Curva 90°	und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
2.2	Cap de 75 MM	und	3	R\$ 4,10	R\$ 12,30
2.3	Adaptador 20 X 1/2 MM	und	3	R\$ 8,10	R\$ 24,30
2.4	Torneira 1/2 MM	und	3	R\$ 2,10	R\$ 6,30
2.5	Anel de vedação esgot DN 75 MM	und	6	R\$ 1,00	R\$ 6,00
2.6	Anel de vedação esgot DN 100 MM	und	6	R\$ 1,20	R\$ 7,20
2.7	Redução exc. Esg. DN 100 X 50	und	1	R\$ 4,70	R\$ 4,70
2.8	Te insp. Esg. SN 100 X 75	und	3	R\$ 21,10	R\$ 63,30
2.9	Tubo esgoto PVC série normal DN 75 MM	und	1	R\$ 33,90	R\$ 33,90
	Total item				R\$ 161,19
<b>3</b>	<b>FILTRO EM PVC (AREIA)</b>				
3.1	Adaptador curto para caixa d'água solda -rosca DN 50 X1/2	Und	1	R\$ 23,50	R\$ 23,50
3.2	Joelho 90° PVC agua fria DN 50	Und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
3.3	Registro esfera DN 50 mm	Und	1	R\$ 12,20	R\$ 12,20
3.4	Redução excentrica DN100 X 50 MM	Und	1	R\$ 4,70	R\$ 4,70

Item	Descrição	Unid.	Qtde.	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
3.5	Anel de vedação esgoto DN 100 MM	Und	5	R\$ 1,20	R\$ 6,00
3.6	Tubo esgoto PVC série normal DN 100 MM	Vara	0.33	R\$ 54,90	R\$ 18,12
3.7	Joelho 90° esgot série normal DN 100 MM	Und	1	R\$ 5,70	R\$ 5,70
3.8	Cap esgoto série normal DN 100 MM	Und	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
3.9	União PVC DN 50 MM	Und	1	R\$ 20,90	R\$ 20,90
3.10	Adaptador curto para caixa d'água soldavel DN 20 X1/2	Und	2	R\$ 8,10	R\$ 16,20
3.11	União PVC DN 50 MM	Und	1	R\$ 20,90	R\$ 20,90
3.12	Tee PVC esgoto DN 100	Und	1	R\$ 9,70	R\$ 9,70
3.13	Torneira plástica 1/2	Und	2	R\$ 2,10	R\$ 4,20
3.14	Tubo PVC DN 50 MM	Vara	0.33	R\$ 66,00	R\$ 21,78
3.15	Areia - meio filtrante	m3	0.0033	R\$ 573,13	R\$ 1,89
	Total item				R\$ 180,98
<b>4</b>	<b>RESERVATÓRIO</b>				
4.1	Adaptador Soldavel Flanges livres p/ caixa d'água 50 MM X 1/2 "	Und	3	R\$ 23,50	R\$ 70,50
4.2	Caixa dágua em fibra de vidro para 500 litros	Und	1	R\$ 199,80	R\$ 199,80
4.3	Resgistro PVC esfera VS soldavel DN 50 MM	Und	1	R\$ 12,20	R\$ 12,20
4.4	Joelho 90° PVC agua fria DN 50	Und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
4.5	Joelho 45° PVC agua fria DN 50	Und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
4.6	Fita veda rosca em rolos 18 MM X 25 M	Und	2	R\$ 8,10	R\$ 16,20
4.7	Solução limpadora frascos plasticos c/ 1000 cm³	Und	1	R\$ 26,90	R\$ 26,90
4.8	Adesivo PVC frasco c/ 850 G	Und	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90
4.9	Tubo PVC soldavel EB-892 p/ água fria redial DN 50 MM	Vara	1	R\$ 66,00	R\$ 66,00
	Total item				R\$ 427,88

Item	Descrição	Unid.	Qtde.	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
5	SUPORTE PARA O RESERVATORIO, ESTRUTURA MADEIRA DE LEI APARELHADA 1° QUALIDADE				
5.1	Peça de madeira de lei, primeira qualidade, seção 10 cm x10 cm, L= 4m	Und	8	R\$ 58,00	R\$ 464,00
5.2	Peça de madeira de lei, primeira qualidade, seção 20 cm x 20 cm, L= 4m	Und	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00
5.3	Prego 1 1/2 X 13	Kg	1	R\$ 8,90	R\$ 8,90
	Total item				R\$ 792,90
TOTAL GERAL					R\$ 1.877,05

**ANEXO B – PLANILHA DE CUSTO DE INSUMOS: ABSTRAÇÃO DE 1MM E  
FILTRO DE BARRO**

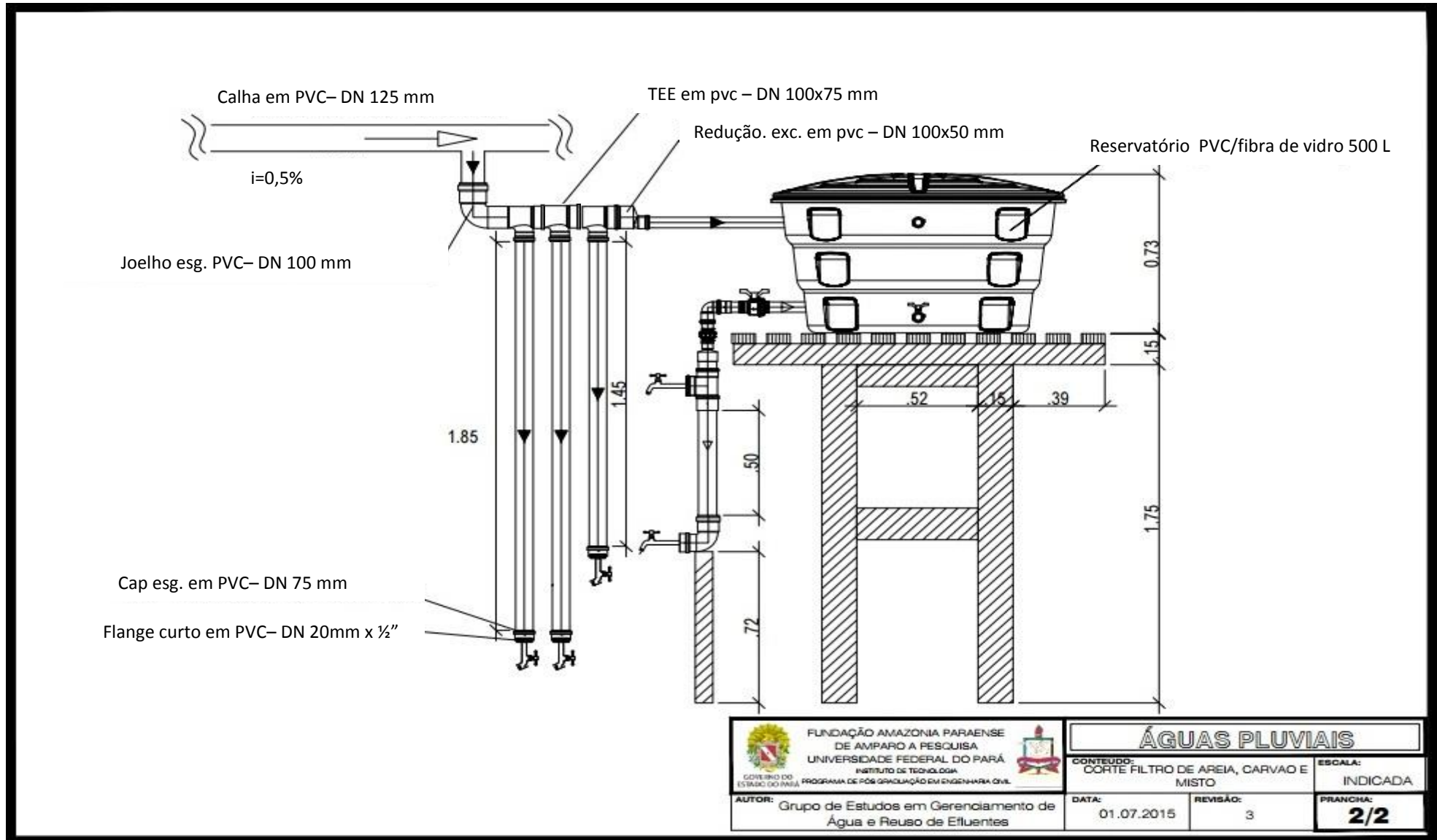
BASE: SINAPI- março/2015

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
<b>1</b>	<b>CALHA</b>				
1.1	Suporte sincado dobrado Aquapluv (PVC)	und	7	R\$ 15,70	R\$ 109,90
1.2	Cabeceira direita PVC Aquapluv D= 125 MM	und	1	R\$ 10,70	R\$ 10,70
1.3	Cabeceira esquerda PVC Aquapluv D= 125 MM	und	1	R\$ 10,90	R\$ 10,90
1.4	Calha PVC Aquapluv DN= 125 MM C/ 3,00 MM de comprimento	und	2	R\$ 60,90	R\$ 121,80
1.5	Emenda MR PVC Aquapluv D = 125 MM	und	1	R\$ 28,00	R\$ 28,00
1.6	Bocal MR PVC Aquapluv D= 125 X 88 MM	und	1	R\$ 32,80	R\$ 32,80
	Total item				R\$ 314,10
<b>2</b>	<b>AUTO LIMPEZA</b>				
2.1	Curva 90°	und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
2.2	Cap de 75 MM	und	3	R\$ 4,10	R\$ 12,30
2.3	Adaptador 20 X 1/2 MM	und	3	R\$ 8,10	R\$ 24,30
2.4	Torneira 1/2 MM	und	3	R\$ 2,10	R\$ 6,30
2.5	Anel de vedação esgot DN 75 MM	und	6	R\$ 1,00	R\$ 6,00
2.6	Anel de vedação esgot DN 100 MM	und	6	R\$ 1,20	R\$ 7,20
2.7	Redução exc. Esg. DN 100 X 50	und	1	R\$ 4,70	R\$ 4,70
2.8	Te insp. Esg. SN 100 X 75	und	3	R\$ 21,10	R\$ 63,30
2.9	Tubo esgoto PVC série normal DN 75 MM	und	1	R\$ 33,90	R\$ 33,90
	Total item				R\$ 161,19
<b>3</b>	<b>FILTRO DE BARRO</b>				
3.1	Torneira plástica 1/2"	und	1	R\$ 2,10	R\$ 2,10
3.2	Joelho solda rosca 20mm X 1/2"	und	1	R\$ 1,10	R\$ 1,10
3.3	Joelho 90° 20mm	und	1	R\$ 1,10	R\$ 1,10
3.4	Adaptador Soldavel Flanges livres p/ caixa d'água 50 MM X 1/2 "	und	1	R\$ 23,50	R\$ 23,50

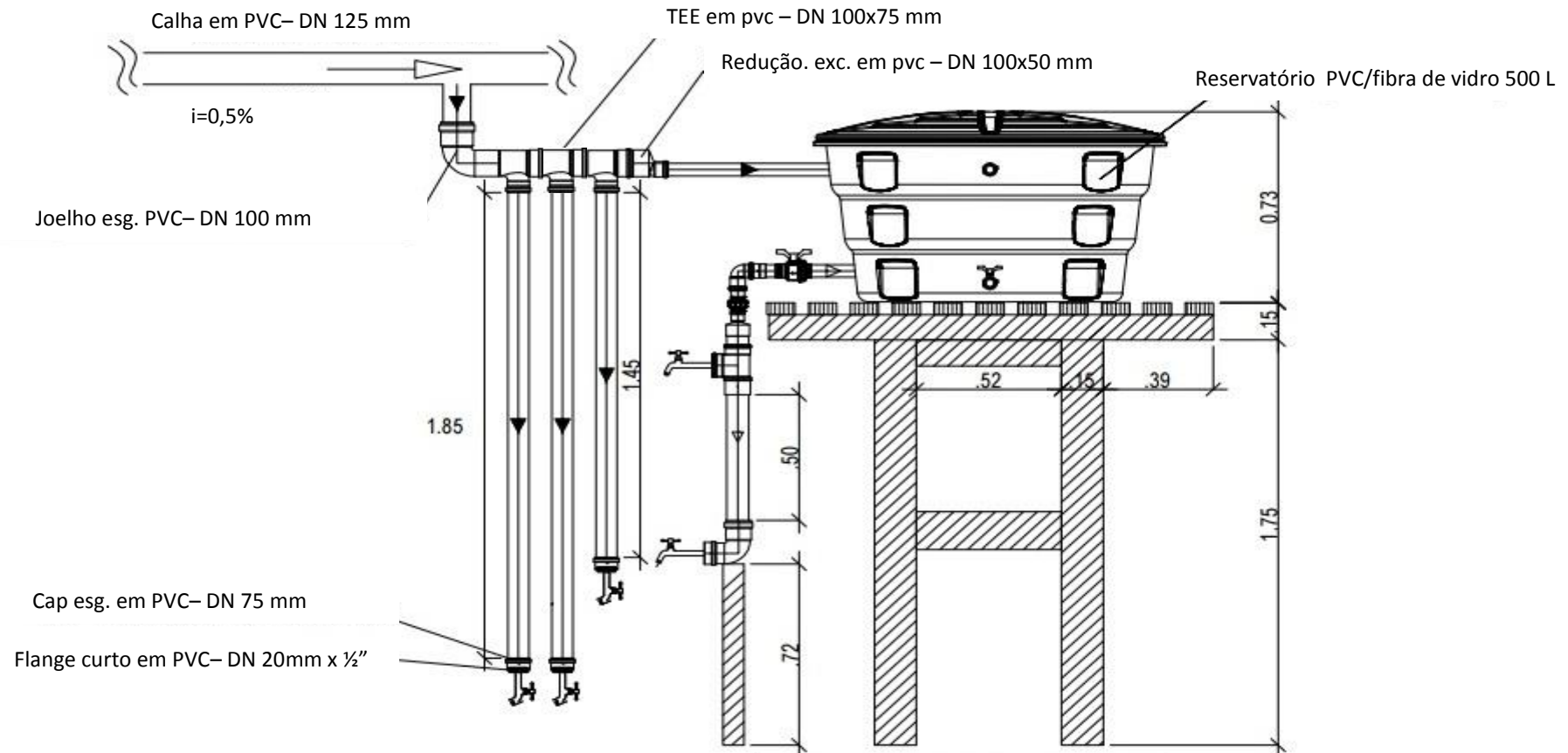


Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
3.5	Tubo PVC soldavel EB-892 p/ água fria redial DN 20 MM	und	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
3.6	Filtro de Barro com capacidade para 6 litros e 3 velas	und	1	R\$ 123,50	R\$ 123,50
	Total item				R\$ 161,30
4	<b>RESERVATÓRIO</b>				
4.1	Adaptador Soldavel Flanges livres p/ caixa d'água 50 MM X 1/2 "	Und	3	R\$ 23,50	R\$ 70,50
4.2	Caixa d'água em fibra de vidro para 500 litros	Und	1	R\$ 199,80	R\$ 199,80
4.3	Resgistro PVC esfera VS soldavel DN 50 MM	Und	1	R\$ 12,20	R\$ 12,20
4.4	Joelho 90° PVC agua fria DN 50	Und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
4.5	Joelho 45° PVC agua fria DN 50	Und	1	R\$ 3,19	R\$ 3,19
4.6	Fita veda rosca em rolos 18 MM X 25 M	Und	2	R\$ 8,10	R\$ 16,20
4.7	Solução limpadora frascos plasticos c/ 1000 cm <sup>3</sup>	Und	1	R\$ 26,90	R\$ 26,90
4.8	Adesivo PVC frasco c/ 850 G	Und	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90
4.9	Tubo PVC soldavel EB-892 p/ água fria redial DN 50 MM	vara	1	R\$ 66,00	R\$ 66,00
	Total item				R\$ 427,88
5	<b>SUPORTE PARA O RESERVATORIO, ESTRUTURA MADEIRA DE LEI APARELHADA 1° QUALIDADE</b>				
5.1	Peça de madeira de lei, primeira qualidade, seção 10 cm x10 cm, L= 4m	Und	8	R\$ 58,00	R\$ 464,00
5.2	Peça de madeira de lei, primeira qualidade, seção 20 cm x 20 cm, L= 4m	Und	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00
5.3	Prego 1 1/2 X 13	Kg	1	R\$ 8,90	R\$ 8,90
	Total item				R\$ 792,90
<b>TOTAL GERAL</b>					<b>R\$1.857,4</b>

**ANEXO C – PLANTA CORTE PARA FILTRO DE BARRO**



## ANEXO D – PLANTA CORTE FILTRO DE AREIA



 FUNDAÇÃO AMAZÔNIA PARAENSE DE AMPARO À PESQUISA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL	<b>ÁGUAS PLUVIAIS</b>		ESCALA:
	CONTEÚDO: CORTE FILTRO DE AREIA, CARVÃO E MISTO		INDICADA
	AUTOR: Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes	DATA: 01.07.2015	REVISÃO: 3