

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CURITIBA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FELIPE AMARAL SILVA

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA APÓS TRATAMENTO  
POR FILTRAÇÃO ASCENDENTE E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA  
2015

FELIPE AMARAL SILVA

**APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA APÓS TRATAMENTO POR  
FILTRAÇÃO ASCENDENTE E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Saneamento e Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celimar Azambuja Teixeira.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Querne de Carvalho.

CURITIBA

2015

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

S586a Silva, Felipe Amaral  
2015 Aproveitamento da água da chuva após tratamento por  
filtração ascendente e radiação ultravioleta / Felipe  
Amaral Silva.-- 2015.  
123 f.: il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, Curitiba, 2015.  
Bibliografia: p. 109-116.

1. Água - Uso. 2. Água - Qualidade. 3. Água - Aspectos  
econômicos. 4. Águas pluviais - Utilização. 5. Água  
- Purificação - Desinfecção. 6. Engenharia civil -  
Dissertações. I. Teixeira, Celimar Azambuja. II. Carvalho,  
Karina Querne de. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

---

**Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Câmpus Curitiba  
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil



## TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º

### APROVEITAMENTO APÓS TRATAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA ATRAVÉS DE FILTRAÇÃO RÁPIDA E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

POR

**FELIPE AMARAL SILVA**

Esta dissertação foi apresentada às 09:00 do dia 19 de agosto de 2015, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio Ambiente, Linha de pesquisa Saneamento e Recursos Hídricos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.  
(aprovado / reprovado)

\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dr.ª. **Celimar Azambuja Teixeira**  
(Orientadora - UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **Daniel Costa dos Santos**  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dr.ª. **Karina Querne de Carvalho Passig**  
(Co-orientadora - UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **Fernando Hermes Passig**  
(UTFPR)

Visto da Coordenação:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **Ronaldo Luis dos Santos Izzo**  
Coordenador do PPGEC

\_\_\_\_\_  
Avenida Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900  
Curitiba/PR - Sede Ecoville CEP 81280-340  
Fone: (41) 3279-4578  
<http://www.ppgec.dacoc.ct.utfpr.edu.br>

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do programa.

Dedico este trabalho a pessoa mais  
importante da minha vida ...

Minha filha Clara Costa Silva.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, sabedoria e paciência para poder alcançar mais este objetivo em minha vida.

A minha Mãe Gislaíne e meu Pai Jair por ter dedicado as suas vidas a criação de seus filhos com muito amor e carinho, sempre me apoiar em minhas escolhas e serem minha fortaleza e refúgio nas horas mais difíceis. Aos meus irmãos Guilherme e Mayara, meus melhores amigos, pelo apoio e companhia nos estudos.

Aos meus avôs e avós (*in memoriam*), tios e tias, primos e primas por fazer parte de minha vida e sempre torcer pelo meu sucesso.

A minha esposa, Sibeli Cristiane Costa, por me incentivar a continuar os estudos e ter me dado o melhor presente, minha filha Clara a razão do meu viver. Obrigado por toda a sua dedicação e amor.

Ao meu padrinho Henrique, por me ajudar na montagem do reator ultravioleta.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Celimar Azambuja Teixeira, pela oportunidade, confiança e incentivo, pois foi quem abriu as portas para que eu pudesse ingressar no programa de mestrado e me recebeu com todo carinho.

A minha co-orientadora Dr<sup>a</sup>. Karina Querne de Carvalho Passig, pela sua dedicação e atenção ao meu trabalho. Obrigado pelo apoio e incentivo no momento mais difícil que passei em minha pesquisa, quando pensei que nada ia dar certo.

A professora Dr<sup>a</sup>. Lucila Adriani Coral, pela atenção e dedicação em tentar me auxiliar nas análises microbiológicas, pelas palavras de incentivo e sugestões importantes.

Ao meu colega de mestrado Vitor Reinaldo Bordignon, por me auxiliar a realizar os ensaios de granulometria e ajudado na montagem do equipamento de tratamento de água da chuva.

Ao técnico dos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil Gustavo Macioski, pois estava sempre a disposição para auxiliar no que fosse necessário para o andamento da pesquisa.

Ao pessoal da manutenção e serviços gerais da UTFPR – Ecoville, pelo auxílio na montagem do equipamento de tratamento de água da chuva.

A todos os meus colegas de laboratório: Aldria Belini, Daiane de Freitas, Débora De Mello, Daniel Ikeno, Ellen Baettker e Jéssica Trevizani. E colegas do mestrado: Barbara Pavani, Andrea Teston e Géssica Bilcati.

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao SENAI – PR por ter realizado as análises microbiológicas.

A todos os funcionários e professores do PPGEC pelo apoio e por todo ensinamento.

E a todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado.

“Não ganhe o mundo e perca sua alma; sabedoria é melhor que prata e ouro. A vida é para quem topa qualquer parada. Não para quem para em qualquer topada.”

Bob Marley



## RESUMO

SILVA, Felipe A. Aproveitamento da água da chuva após tratamento por filtração ascendente e radiação ultravioleta, 2015. 76 f. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

A escassez, deterioração da qualidade dos mananciais e o aumento da demanda por água tem sido problema global. Diante desses problemas o uso de fontes alternativas é citado como solução, com destaque para o aproveitamento de água da chuva. Em alguns locais, a água da chuva escoada de telhados tem sido utilizada para fins potáveis e não potáveis e a água da chuva *in natura* tem qualidade superior ao de águas superficiais e subterrâneas. Embora a água da chuva tenha qualidade físico-química dentro dos padrões de potabilidade, é necessário melhorar sua qualidade para utilizá-la. Assim neste trabalho é avaliado o tratamento da água da chuva por filtro ascendente (volume de 35,4 L) com meio suporte de 0,50 m de seixo rolado e camada filtrante composta de 0,15m de brita, 0,25 m de areia e 0,55 m de carvão ativado e desinfecção por radiação UV. Para melhorar a qualidade da água antes de chegar ao filtro foi instalado um dispositivo de primeiro descarte com volume de 41,4 L. A avaliação do tratamento foi realizada através da análise dos parâmetros pH, temperatura, cor, oxigênio dissolvido, turbidez, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, DQO e coliformes. Os valores médios obtidos para os parâmetros físico-químicos da água após o tratamento foram de 6,7 para o pH, 22,3 °C para a temperatura, 12,5 UPC para cor, 6,7 mg/L para OD, 0,5 UNT para turbidez, 0,2 mg/L para amônia, 0,01 mg/L para nitrito, 1,7 mg/L para nitrato, 0,2 mg/L para fosfato, 0,7 mg/L para sulfato e 1,3 mg/L para DQO. O tratamento proposto obteve resultados de eficiência para remoção de cor de 22,4%, turbidez de 28,6%, amônia de 50,0%, nitrito de 23,1%, nitrato de 37,0%, fosfato de 95,1% sulfato de 41,7% e DQO de 66,7% e reduziu o numero de microrganismos para um valor menor que o limite detectável do método de análise. Todos os valores médios obtidos para os parâmetros físico-químicos atendem aos padrões exigidos pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde para água potável.

**Palavras-chave:** fontes alternativas, desinfecção, utilização, caracterização, qualidade.

## ABSTRACT

SILVA, Felipe A. Rainwater utilization after treatment upflow filtration and ultraviolet radiation, 2015. 76 f. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

The scarcity, quality deterioration of water sources and increasing demand for water has been global problem. Faced with these problems the use of alternative sources is cited as a solution, especially taking advantage of rainwater. In some places, rainwater drained roofs have been used for potable and non-potable purposes and rainwater in nature has superior quality to the surface water and groundwater. Although rainwater has physicochemical quality within the potability standards, it is necessary to improve their quality to use it. Thus this work is evaluated treatment of rainwater by upflow filter (35,4 L volume) with support means of 0,50 m of Boulder and filter layer of 0,15 m of crushed stone, 0,25 m of sand and 0,55 m of activated carbon and UV disinfection. To enhance the water quality before reaching the filter was installed a first-flush device with volume of 41,4 L. The characterization of the water before and after treatment was performed through analysis of parameters pH, temperature, color, dissolved oxygen, turbidity, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, sulphate, COD and coliforms. The mean values obtained for the physicochemical parameters of the water after treatment were 6,7 to pH 22,3 ° C for temperature, 12,5 UPC for color, 6,7 mg/L to OD, 0,5 NTU for turbidity, 0,2 mg/L for ammonia, 0,01 mg/L for nitrite, 1,7 mg/L for nitrate, 0,2 mg/L for phosphate, 0,7 mg/L for sulfate and 1,3 mg/L for COD. The obtained results proposed treatment for color removal efficiency of 22,4%, haze 28,6%, 50,0% ammonia, 23,1% nitrite, nitrate 37,0%, Phosphate 95,1%, sulfate 41,7% and COD of 66,7% and reduced the number of microorganisms to a value less than the detectable limit of the analysis method. All mean values obtained for the physicochemical parameters meet the standards required by the Order 2914/2011 of the Ministry of Health for drinking water.

**Keywords:** alternative sources, disinfection, use, characterization, quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Programa Um Milhão de Cisternas. ....	20
Figura 2: Modelo básico e de baixo custo para coleta de água da chuva. ....	35
Figura 3: Exemplo de solução de água pluvial (Alemanha). ....	36
Figura 4: Coletor de água “ <i>Rain Barrel</i> ”. ....	37
Figura 5: Exemplo de solução brasileira para coletar água pluvial. ....	37
Figura 6: Mecanismos de transporte, aderência e desprendimento durante a filtração. ....	39
Figura 7: Etapas da filtração com taxa constante. ....	44
Figura 8: Curva típica de distribuição granulométrica de materiais filtrantes. ....	45
Figura 9: Localização da faixa de comprimento de onda UV, dentro das radiações eletromagnéticas e espectro visível. ....	54
Figura 10: Localização da UTFPR campus Curitiba sede Ecoville e foto do bloco IJ. .....	59
Figura 11: Gráfico dos valores médios mensais de temperatura média, máxima e mínima dos dados históricos do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. ....	61
Figura 12: Dados pluviométricos de Curitiba do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. ....	62
Figura 13: Médias mensais de umidade relativa de Curitiba para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. ....	62
Figura 14: Horas de insolação média mensal acumulada de Curitiba para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. ....	63
Figura 15: Desenho esquemático do sistema de tratamento de água da chuva desenvolvido. ....	64
Figura 16: Dispositivo de primeiro descarte utilizado no sistema de tratamento – a) Registro de gaveta para esgotamento; b) Cap com redutor para 100 mm; c) Bola de isopor diâmetro = 12 cm; d) Dispositivo de primeiro descarte instalado no sistema de tratamento. ....	65
Figura 17: Cisterna 1 – Armazenamento de água da chuva bruta – a) Cisterna 1; b) Sifão; c) Cisterna fechada. ....	66
Figura 18: Filtro ascendente. ....	69
Figura 19: Materiais filtrantes utilizados na construção do filtro ascendente – a) Seixo rolado; b) Brita; c) Areia; d) Carvão ativado granular. ....	69
Figura 20: Estufa Lucadema N 1040. ....	72
Figura 21: Agitador mecânico de peneiras e balança – a) Agitador mecânico de peneiras Bertel N 1726; b) Balança Lider B 160. ....	73
Figura 22: Balança eletrônica de precisão, marca Precisa. ....	73
Figura 23: Mufla Zezimaq 2000 G. ....	74
Figura 24: Balança Hidrostática Marte 1020. ....	74
Figura 25: Reator ultravioleta – a) Reator UV instalado no sistema de tratamento; b) Lâmpadas fixadas na tampa do reator UV. ....	75
Figura 26: Pluviômetro caseiro. ....	76

Figura 27: Pontos de amostragem do sistema de tratamento de água da chuva – a) Ponto de coleta da amostra da chuva <i>in natura</i> ; b) Ponto de coleta da amostra de água do <i>first-flush</i> ; c) Ponto de coleta da amostra da água da chuva bruta; d) Ponto de coleta da amostra da água da chuva após tratamento. ....	78
Figura 28: Fotômetro Multiparâmetro e DQO de bancada HI 83099. ....	81
Figura 29: Frascos esterilizados fornecidos pelo SENAI para coleta das amostras de água da chuva. ....	82
Figura 30: Exemplos de kits utilizados nas análises no equipamento Hanna. ....	82
Figura 31: Equipamentos utilizados para a leitura de pH, oxigênio dissolvido e turbidez – a) pHmetro portátil pH 1700; b) Oxímetro Lutron DO 5519; c) Turbidímetro Policontrol AP 2000. ....	83
Figura 32: Dados pluviométricos da região da UTFPR sede Ecoville do período de junho/2014 a maio/2015. ....	84
Figura 33: Curva granulométrica para a areia. ....	88
Figura 34: Curva granulométrica para brita. ....	88
Figura 35: Gráficos box plot com média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil, dos parâmetros físico-químicos pH, temperatura, cor, OD, turbidez e DQO para os quatro pontos de amostragem de água da chuva. ....	101
Figura 36: Gráficos box plot com média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil, dos parâmetros físico-químicos amônia, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato para os quatro pontos de amostragem de água da chuva. ....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados físico-químicos e microbiológicos encontrados por GIACCHINI (2010) para a água da chuva do reservatório.....	24
Tabela 2: Valores médios das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas por BUDEL (2014) para a água da chuva <i>in natura</i> , água do armazenada do telhado convencional e água armazenada na cisterna superior e enterrada do telhado verde. ....	25
Tabela 3: Valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos estudados por LEE et al., 2010. ....	26
Tabela 4: Valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontrados por SAZAKLI et al. (2007) para água da chuva reservada. .	27
Tabela 5: Valores médios para os parâmetros físico-químicos da água da chuva dos tanques de armazenamento e dos dispositivos first-flush do trabalho de GIKAS e TSIHRINTZIS 2012. ....	29
Tabela 6: Média dos resultados obtidos com a caracterização da água de chuva em diferentes pesquisas.....	30
Tabela 7: Parâmetros de qualidade de água pluvial para fins não potáveis (ABNT, 2007). ....	34
Tabela 8: Características dos materiais filtrantes para filtros de dupla camada segundo critérios descritos na norma NBR 12216/92. ....	42
Tabela 10: Relação entre o tamanho efetivo do material filtrante e o tamanho das partículas removidas. ....	46
Tabela 11: Propriedades típicas de materiais filtrantes utilizados na filtração de águas de abastecimento. ....	48
Tabela 12: Comparação da remoção de poluentes pelo FAD e CAG estudados por NADDEO et al. (2013). ....	49
Tabela 13: Valores médios dos parâmetros físico-químicos estudados por MOREIRA NETO et al. (2009) para água da chuva escoada de telhado de zinco e da drenagem da pista de pouso e para a água da chuva pós filtração. ....	50
Tabela 14: Valores médios dos parâmetros de qualidade da água da chuva armazenada para alimentação dos filtros estudada por Bastos (2007)..	51
Tabela 15: Eficiências de remoção dos filtros lentos estudados por BASTOS (2007). ....	51
Tabela 16: Comparação dos valores médios da qualidade da água da chuva não tratada estudada por BASTOS (2007) e as classes d'água estabelecidas pelo CONAMA 357/05, os tipos d'água estabelecidos pela ABNT na NBR 12 216/92. ....	52
Tabela 17: Principais parâmetros estudados para radiação UV.....	57
Tabela 18: Massas dos materiais filtrantes utilizados para a construção do filtro. ....	68
Tabela 19: Parâmetros e metodologias utilizadas na caracterização dos materiais filtrantes.....	71
Tabela 20: Equipamentos utilizados na caracterização dos materiais filtrantes.....	72

Tabela 21: Métodos e equipamentos utilizados nas análises físico-químicas e microbiológicas.....	79
Tabela 22: Metodologia e precisão dos parâmetros analisados no equipamento Hanna HI 83099. ....	81
Tabela 23: Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da caracterização físico-química da areia, brita e CAG. ....	85
Tabela 24: Valores de massa específica, massa unitária e índice de vazios da areia e brita, obtidos por diferentes autores. ....	85
Tabela 25: Dados granulométricos da areia e da brita. ....	89
Tabela 26: Características granulométricas de materiais filtrantes obtidas por outros autores. ....	90
Tabela 27: Resultados das análises físico-químicas da água da chuva nos 4 pontos de amostragem. ....	92
Tabela 28: Valores médios dos parâmetros físico-químicos obtidos para os pontos de amostragem da chuva <i>in natura</i> e do <i>first-flush</i> .....	94
Tabela 29: Valores médios dos parâmetros físico-químicos obtidos para os pontos de amostragem dispositivo first-flush e cisterna 1. ....	95
Tabela 30: Valores médios dos parâmetros físico-químicos analisados para a cisterna 1 e 2 e os valores médios da eficiência de remoção do tratamento por filtração e radiação UV. ....	98
Tabela 31: Resultados das análises microbiológicas para água da chuva bruta e após o tratamento. ....	99
Tabela 32: Demanda de água diária da residência de uma família padrão (um casal e dois filhos). ....	104
Tabela 33: Dados de eficiência para a substituição da água potável pela utilização da água da chuva em descarga de vaso sanitário, banho e lavagem de roupas e calçadas em uma residência padrão. ....	106

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

ASA – Articulação do Semiárido Brasileiro.

ASTM – Associação Americana de Testes e Materiais.

AWWA – American Water and Wastewater Association.

C1- Cisterna 1.

C2 – Cisterna 2.

CAG – Carvão Ativado Granular

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CIC – Cidade Industrial de Curitiba.

Cl<sub>2</sub> – Gás cloro.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CU – Coeficiente de Uniformidade.

D – Dose de irradiação ultravioleta de comprimento de onda de 254 nm (mWs/cm<sup>2</sup>).

d – Massa específica (g/cm<sup>3</sup>).

D<sub>10</sub> – Tamanho Efetivo.

D<sub>60</sub> – Tamanho equivalente a 60% (em peso), do material que passa pela peneira.

Desv. P. – Desvio Padrão.

Diam. – Diâmetro.

D<sub>máx</sub> – Diâmetro máximo.

D<sub>min</sub> – Diâmetro mínimo.

DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg/L).

*E. coli* – *Escherichia Coli*.

EU – União Européia.

EUA – Estados Unidos da América.

FAD – Filtração – Adsorção – Desinfecção.

FF – *First-flush*.

I – Intensidade de radiação (mW/cm<sup>2</sup>).

IN – *In Natura*.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Iv – Índice de Vazios (%).

MS – Ministério da Saúde.  
NBR – Norma Brasileira.  
NH<sub>3</sub> – Amônia.  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amônio.  
NMP – Número Mais Provável.  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato.  
OD – Oxigênio Dissolvido (mg/L).  
ONU – Organização das Nações Unidas.  
P – Quantidade de Precipitação (mm).  
P1MC – Programa Um Milhão de Cisternas.  
pa – Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>).  
PET – Politereftalato de Etileno.  
pH – Potencial hidrogeniônico.  
PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - Fosfato.  
PURAE – Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações.  
PVC – Policloreto de Vinila.  
pw – Massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>).  
*S. cerevisiae* - *Saccharomyces cerevisiae*  
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L).  
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.  
SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná.  
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - Sulfato.  
SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L).  
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica (min).  
TU – Teor de Umidade (%).  
uC – Unidade de Cor  
UFC – Unidades Formadoras de Colônias.  
uH – Unidade de Hazen.  
UNICAMP – Universidade de Campinas.  
UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez.  
UPC – Unidade Padrão de Cor.  
USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.



UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

UV – Ultravioleta.

V – Volume do dispositivo *first-flush* (L).

VM – Teor de Material Volátil (%).

X/M – Número de lodo sem o fator de correção da normalidade do filtrado residual (mg/g).

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
3.1 ESCASSEZ E ÁGUA DA CHUVA .....	17
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA ESCOADA DE TELHADOS .....	21
3.3 NORMAS, LEIS E DECRETOS SOBRE O TEMA ÁGUA DE CHUVA .....	31
3.4 SISTEMAS DE COLETA DE ÁGUA DA CHUVA.....	34
3.5 FILTRAÇÃO .....	38
3.6 DESINFECÇÃO ULTRAVIOLETA.....	52
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>58</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE CURITIBA.....	59
4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	63
4.2.1 Dispositivo de primeiro descarte (first – flush).....	65
4.2.2 Filtro ascendente .....	67
4.2.3 Caracterização dos materiais filtrantes .....	70
4.2.4 Reator ultravioleta.....	74
4.3 ACOMPANHAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	76
4.4 PONTOS DE AMOSTRAGEM .....	77
4.5 PARÂMETROS QUALITATIVOS DE ANÁLISE .....	78
4.6 MÉTODOS DE ANÁLISE .....	81
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>83</b>
5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	83
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES.....	84
5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA DA CHUVA. ....	90
<b>6 EFICIÊNCIAS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL EM UMA RESIDÊNCIA DE UMA FAMÍLIA PADRÃO</b> .....	<b>104</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>107</b>
<b>8 RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>109</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>116</b>
APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES. ....	116

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento das atividades agrícolas e industriais aumentaram a demanda por água e ao mesmo tempo, a deterioração da qualidade dos recursos hídricos. A demanda de água na zona urbana aumentará drasticamente no mundo, passando de 3,3 bilhões habitantes em 2007 para 6,4 bilhões em 2050 (ONU, 2008).

Entre tanto, a deterioração dos recursos hídricos seguida da escassez de água e a dificuldade de tratamento, dentre outros fatores, são causas do comprometimento da qualidade da água fornecida para a população. As condições de saúde e longevidade da população estão intimamente ligadas ao acesso à água de qualidade segura. A água contaminada exerce papel importante sobre a mortalidade infantil mundial (BRAGA, 2005). As doenças de veiculação hídrica são contraídas através da ingestão da água ou higiene pessoal e atividades de lazer por contato com a água contaminada.

Por sua vez, as principais causas da degradação do meio ambiente mundial são os padrões insustentáveis de consumo, principalmente em países industrializados. Então se deve dar atenção à demanda de recursos naturais gerada pelo consumo insustentável, bem como ao uso eficiente desses recursos, com intenção de reduzir ao mínimo o esgotamento desses recursos e reduzir a poluição (AGENDA 21, 2001). Ou seja, deve-se promover o uso racional e sustentável da água antes da utilização de fontes alternativas como forma de preservar a água potável.

Para um consumo consciente e racional da água, e evitar a escassez deste recurso, a população deveria utilizar a água potável somente para beber e cozinhar, enquanto que a água da chuva seria utilizada para outras atividades como tomar banho, ser usada em lavanderias, lavagem de pisos e automóveis, rega de jardim e em vasos sanitários.

Então, o uso de fontes alternativas é apontado como parte importante da solução do problema da escassez de água com qualidade. Dentre estas fontes destacam-se o aproveitamento de água da chuva, reuso das águas servidas e dessalinização da água do mar, tendo a utilização da água da chuva maior destaque por ser uma solução simples e barata para produzir água potável (BASTOS, 2007).

As vantagens de se utilizar a água da chuva são redução do consumo de água da rede pública e do custo de fornecimento, evita a utilização de água potável onde não há necessidade, como por exemplo, na descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagem de pisos, os investimentos de tempo, atenção e dinheiro são mínimos para adotar a captação de água de chuva na grande maioria dos telhados, o retorno do investimento é positivo, auxilia na contenção de enchentes represando parte da água que teria de ser drenada para galerias e rios e incentiva a conservação de água (CETESB, 2015; VELOSO E MENDES, 2013).

Por outro lado as desvantagens são variação na intensidade pluviométrica, não é um sistema auto-suficiente pois depende da pluviosidade, necessidade de manutenção periódica do sistema de coleta da água da chuva para evitar o surgimento de riscos sanitários, risco de acidentes para crianças quando não é projetado adequadamente, a manutenção fica a cargo do usuário, falta de normatização e informações no código de obras e falta de legislação para utilização da água da chuva (BERTOLO, 2006; NASCIMENTO E DOMINGOS, 2007).

Além das desvantagens já citadas, deve-se levar em conta uma possível interferência no ciclo hidrológico da água que o aproveitamento de água da chuva nas edificações poderia causar. Segundo FENDRICH (2009), a retenção de grandes volumes por períodos prolongados de tempo pode interferir no processo de realimentação dos escoamentos nos períodos de estiagem.

Apesar das desvantagens, a utilização da água da chuva tem despertado grande interesse e em alguns locais a água coletada dos telhados de edifícios residenciais ou comerciais tem sido uma maneira prática de fornecimento de água para rega de jardins e lavagem de pisos e atendimento parcial da demanda de água potável (MEHRABADI et al., 2013). O aproveitamento de água da chuva é um método econômico, sustentável e ambientalmente amigável. (ASSAYED et al., 2013; GIKAS e TSIHRINTZIS, 2012).

Diante da necessidade e do crescente interesse pelo aproveitamento da água da chuva, é conveniente ter atenção para aspectos fundamentais como a qualidade da água. A precipitação em forma de chuva carrega os elementos presentes na atmosfera e no telhado incorporando poluentes que interferem na qualidade da água a ser aproveitada. Isso acarreta na necessidade de tratamento da água para torná-la com qualidade compatível ao uso.

GIKAS et al., (2012), LEE et al., (2010) e SAZAKLI et al., (2007) estudaram a qualidade da água da chuva em dispositivos de descarte dos primeiros momentos, *in*

*natura* (sem contato com qualquer superfície de coleta) e nos reservatórios e concluíram que a qualidade físico-química da água da chuva atende aos padrões de potabilidade das diretrizes estudadas em seus trabalhos, mas a qualidade microbiológica não atende aos padrões.

SOUZA, (2011) avaliou a qualidade da água de chuva captada em telhado com telhas cerâmicas, armazenada em reservatório de fibra de vidro, na cidade de Maceió/AL, e concluiu que alguns parâmetros físico-químicos e todos os microbiológicos não se enquadravam nos limites estabelecidos pela antiga Portaria do Ministério da Saúde 518/2004.

Para minimizar o problema da escassez e abastecer a população com água de qualidade, neste trabalho é avaliada a eficiência do tratamento da água da chuva por filtração ascendente seguida de desinfecção por radiação ultravioleta.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a eficiência do tratamento da água da chuva de um protótipo composto por filtração ascendente em tripla camada seguido de desinfecção por radiação ultravioleta.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificar a pluviosidade (quantidade de chuva em milímetros ao final de cada evento de chuva) durante o período de estudo na região da UTFPR Campus Ecoville;
- Desenvolver um protótipo do equipamento;
- Avaliar a qualidade da chuva *in natura*, antes e após o tratamento;
- Identificar os usos mais convenientes, considerando a qualidade e a quantidade da água da chuva.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ESCASSEZ E ÁGUA DA CHUVA

A escassez está fortemente ligada à qualidade dos mananciais e a deterioração da qualidade da água se deve ao desenvolvimento urbano, atividades humanas e industrialização. E em alguns casos, torna-a inadequada para o consumo (SAZAKLI et al., 2007).

Porém, uma preocupação emergente é o impacto de produtos e medicamentos de cuidados pessoais, como anticoncepcionais, analgésicos e antibióticos nos ecossistemas aquáticos, o que afeta a qualidade da água. Pouco se sabe dos seus impactos sobre os seres humanos ou no ecossistema a longo prazo (ONU, 2008).

Para minimizar o problema da escassez deve-se fazer o uso sustentável da água, mas o uso da água pela sociedade presente está longe de ser sustentável. Muita água de elevada qualidade é retirada do ecossistema enquanto que muita água poluída é descarregada (SAZAKLI et al., 2007).

Devido à piora da qualidade da água dos mananciais e a escassez, a busca por fontes alternativas e maneiras de promover o uso racional é necessária para garantir fornecimento estável de água (SAZAKLI et al., 2007; NADDEO et al., 2013).

Assim, a água da chuva surge como potencial fonte alternativa e estudos recentes têm destacado os significativos benefícios econômicos, sociais e ambientais da coleta da chuva como recurso hídrico alternativo, vários pesquisadores a consideram como solução para a crise da água potável especialmente em países em desenvolvimento (LEE et al., 2010).

É de amplo conhecimento que no passado as pessoas que residiam em áreas onde as fontes de água doce eram limitadas, faziam uso de métodos tradicionais de coleta e armazenamento de água da chuva, para uso potável e não-potável durante as estações de seca. A água da chuva era coletada de telhados, terraços e áreas pavimentadas (GIKAS e TSIHRINTZIS, 2012).

Esta prática está sendo reavivada como uma solução atraente nos tempos atuais devido à urbanização intensa, o crescimento populacional, a transformação do uso da terra, poluição, mudanças nos padrões climáticos e a escassez contínua,

com esses fatores há um aumento da necessidade de água doce (GIKAS e TSIHRINTZIS, 2012; SAZAKLI et al., 2007).

O aproveitamento de água da chuva tornou-se prática comum em muitos países, principalmente em áreas onde o abastecimento tradicional de água doce e de alta qualidade é ineficiente ou ausente ou onde os consumidores desejam contribuir para a sustentabilidade (SAZAKLI et al., 2007; NADDEO et al., 2013) e em especial em zonas áridas ou remotas, onde o fornecimento de água através de redes de distribuição não é rentável ou não é tecnologicamente viável (SAZAKLI et al., 2007).

Portanto, a água da chuva passa a ser uma potencial fonte alternativa de abastecimento de água para beber, cozinhar e lavar louça (WILBERS et al., 2013; AMIN e HAN, 2011), além de usos não-potáveis em descargas de banheiro, lavagem de veículos e irrigação (ASSAYED et al., 2013). Com o aumento da carga sobre os recursos hídricos limitados e crescimento da população, é necessária essa fonte preciosa para ser usada como potável (NAWAZ et al., 2012).

O aproveitamento de água da chuva possui uma lógica simples e de fácil compreensão. O modelo consiste em captação da precipitação atmosférica, em que são empregadas áreas impermeáveis (telhados, lajes e etc.) como superfície de coleta para posterior armazenamento e uso. A facilidade de aproveitamento de água da chuva consiste em telhado, tanque de armazenamento, instalação de tratamento, instalação de abastecimento e tubos (NAWAZ et al., 2012 apud HAN e MUN 2008).

A captação de água da chuva é praticada em países como a Austrália Alemanha, Japão e EUA, que a utilizam em diversas aplicações: desde fins menos nobres (lavagens e rega de jardins), até a ingestão para suprir a demanda de água potável. Nestes países novos sistemas vêm sendo desenvolvidos, permitindo a captação de água de boa qualidade de maneira simples e bastante efetiva em termos de custo-benefício, além de apresentarem legislação forte sobre a questão (VELOSO E MENDES, 2013).

A utilização de água de chuva traz várias vantagens como:

- Redução do consumo de água da rede pública e do custo de fornecimento;
- Evita a utilização de água potável onde não há necessidade, como por exemplo, na descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagem de pisos, etc;

- Os investimentos de tempo, atenção e dinheiro são mínimos para adotar a captação de água de chuva na grande maioria dos telhados, e o retorno do investimento é positivo;

- Contenção de enchentes, desviando parte da água que teria de ser drenada para galerias e rios.

- Incentiva a conservação de água e uma postura ativa perante os problemas ambientais da atualidade (CETESB, 2015; VELOSO E MENDES, 2013).

Além destas vantagens, a utilização da água da chuva se tornou uma prática muito atrativa, pois tem poucos impactos ambientais negativos, em comparação com outras tecnologias de abastecimento de água, pois utiliza estruturas existentes como superfície de coleta (telhados, calçadas e terraços) (SAZAKLI et al., 2007). Por outro lado, os sistemas de abastecimento de água potável tradicional podem ser excessivamente caros, tendo em conta a expansão da urbanização, aumento da população e do número relativamente pequeno de recursos hídricos disponíveis (LEE et al., 2010).

Assim sendo, a captação de água da chuva de telhados tornou-se um método estabelecido de aproveitamento, que tem sido amplamente utilizada para fornecer a populações urbanas abastecimento de água potável em muitas partes do mundo em desenvolvimento (AMIN e HAN, 2011). Por tanto, a água de chuva é considerada crucial para atender a demanda futura por água devido ao aumento da população e a grande urbanização em países em desenvolvimento.

Em algumas áreas semiáridas do mundo, a água da chuva tem sido promovida por um longo tempo como uma tecnologia útil, capaz de suprir demandas locais com água. Por exemplo, na Tanzânia em 50% da sua área as pessoas dependem completamente da água da chuva para a sobrevivência (NADDEO et al., 2013).

Na região nordeste do Brasil que possui sérios problemas de escassez de água, o aproveitamento de água da chuva é uma técnica bastante difundida com destaque para o Programa Um Milhão de Cisternas, P1MC, um das ações de mobilização social promovida pela Articulação do Semiárido (ASA), que tem como objetivo possibilitar o acesso à água potável a 5 milhões de pessoas através de construções de cisternas de placas que ficam localizadas próximo das residências e foram projetadas para serem semienterradas e hermeticamente fechadas evitando a entrada de animais e insetos e a perda de água por evaporação (Figura 1). O programa já construiu 499.387 mil cisternas, cada cisterna apresenta um volume de



16 mil litros, beneficiando mais de 2 milhões de pessoas. Para alcançar os resultados a ASA conta com parcerias de pessoas físicas, empresas privadas, agências de cooperação e do governo. (JABUR et al., 2011; VELOSO E MENDES, 2013; ASA, 2015).



**Figura 1: Programa Um Milhão de Cisternas.**  
**Fonte: SANTOS et al., 2010.**

Muitas regiões da Austrália coletam água da chuva de telhado, tanto para fins potáveis (menos comuns) e não-potáveis (LIM e JIANG, 2013) e é uma prática tradicional na Jordânia, onde através da coleta de água da chuva houve uma economia média de 2-37% em água potável para cada família (ASSAYED et al., 2013).

Entretanto, a adoção de práticas de coleta da água da chuva varia de lugar para lugar e são dependentes do conhecimento público, bem como legislativo, financeiro, técnicas e programas de apoio para a prática. Quando a água de chuva é acoplada com micro finanças e benefícios socioeconômicos, dá excelentes resultados, tanto em nível individual, bem como a nível nacional (LIM e JIANG, 2013; ASSAYED et al., 2013).

Nesse contexto, a coleta de água da chuva não só proporciona uma fonte de água segura para aumentar o abastecimento, mas também pode desempenhar um papel importante no envolvimento público voltando à preocupação de todos com a gestão da água e deve ser encorajada e promovida pelo governo a níveis domésticos, pois esse incentivo é essencial para difundir práticas de coleta de água da chuva (ASSAYED et al., 2013).

Mas o aproveitamento da água da chuva possui também algumas desvantagens, as principais são a dependência da precipitação, variabilidade sazonal, a incerteza de precipitações e também a qualidade de água da chuva, que é caracterizada por um comportamento oscilante, além disso, as doenças podem se espalhar pela água da chuva uma vez que para uma comunidade tem de ser armazenada por vezes por um longo período (NADDEO et al., 2013).

### 3.2 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA ESCOADA DE TELHADOS

A qualidade da água é normalmente determinada pela comparação das características físicas e químicas de uma amostra com as diretrizes ou normas de qualidade da água. Estes padrões de qualidade geralmente são baseados em níveis cientificamente aceitáveis de avaliações de toxicidade para seres humanos ou em organismos aquáticos (ONU, 2008).

Uma questão que preocupa nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais é a qualidade da água obtida, principalmente se for para atendimento das necessidades domésticas. (WEISBECK et al., 2011). Embora o aproveitamento da água da chuva pareça ser atraente do ponto de vista ecológico, os riscos potenciais para a saúde das pessoas que ingerem água da chuva coletada relacionada com contaminantes microbiológicos devem ser levados em conta (SAZAKLI et al., 2007).

De um modo geral, a água pluvial, passa por um processo de destilação natural e pode ser considerada de boa qualidade, mas várias fontes de poluição externas tem o potencial de influenciar na qualidade da água da chuva.

Por tanto, a qualidade da água da chuva coletada e armazenada depende das características da área, tais como condições climáticas, presença de vegetação, proximidade das fontes de poluição, tipo de área de captação, tipo de reservatório d'água, manejo e gestão da água (SAZAKLI et al., 2007; LEE et al., 2010; BASTOS, 2007; WILBERS et al., 2013).

Assim sendo, a poluição da água da chuva pode resultar de emissões de constituintes para a atmosfera, provenientes de poluição industrial, combustão de combustíveis fósseis e ou atividades agrícolas em áreas rurais (NADDEO et al., 2013; SAZAKI et al., 2007; WILBERS et al., 2013). Numerosos estudos da composição físico-química da água da chuva escoada de telhados têm demonstrado

relação entre as concentrações de contaminantes químicos e proximidade a fontes de contaminação (de emissões), aos padrões climáticos e transporte atmosférico e de posição (EVANS et al., 2006).

Outro fator importante é o tipo de material de cobertura utilizado para a captação, pois pode afetar a qualidade físico-química da água da chuva. Assim como as estações do ano podem afetar a presença e o número de microrganismos (SAZAKLI et al., 2007). Longos períodos sem chuva pioram a qualidade da chuva coletada de telhados, pois há um acúmulo de impurezas sobre estas superfícies (EVANS et al., 2006).

BARRETT et al. (2011) examinaram o efeito de materiais de construção convencionais (asfalto, fibra de vidro, metal, e telha de barro) na qualidade da água da chuva coletada e os resultados mostraram a necessidade de tratamento da água coletada para qualquer um desses materiais de construção se o consumidor queira que a qualidade da água coletada se enquadre nas diretrizes da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos para água potável.

Outra fonte de impurezas pode ocorrer quando o telhado ou os drenos contiverem peças metálicas e assim contaminando a água da chuva com metais pesados. Além disso, patógenos microbianos podem ser originários da contaminação fecal por aves, pequenos mamíferos e répteis que tem acesso a áreas de captação ou tanques de armazenamento de água ou pela deposição atmosférica de microrganismos do meio ambiente (NADDEO et al., 2013; SAZAKI et al., 2007; ASSAYED et al., 2013; EVANS et al., 2006; NAWAZ et al., 2012; LEE et al., 2010).

As contribuições relativas de dois modos de contaminação da carga bacteriana de água do telhado devem ser consideradas. Se a deposição atmosférica é significativa, as variações na composição da chuva a partir de um evento para o próximo provavelmente refletem a influencia do tempo. Se a atividade direta de animais é o principal contribuinte, a influencia do tempo deve ser menos aparente (EVANS et al., 2006).

Microrganismos como coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp e *Giardia lamblia* foram encontradas em altas contagens na água escoada de telhados (NADDEO et al., 2013 apud SIMMONSETAL, 2001).

Além dos fatores externos e da superfície de coleta que podem piorar a qualidade da água da chuva, a falta de manutenção dos sistemas de coleta de água também pode levar à contaminação microbiana assim como contaminação físico-

química. Os impactos da limpeza e idade dos acessórios de captação, cisternas, tubos e calhas contribuem para a qualidade da água da chuva coletada.

A qualidade da água da chuva coletada pode ser melhorada se o sistema de coleta pode ser limpo regularmente e fabricados de materiais atóxicos, assumindo manutenção regular e uma boa higiene das instalações e dadas as condições atmosféricas apropriadas, a água da chuva pode ser um recurso hídrico valioso, portanto, todos os sistemas de coleta de água devem ser mantidos de forma adequada, de modo a garantir a limpeza antes de eventos de chuva (LEE et al., 2010).

Por outro lado, a água da chuva é considerada uma fonte segura devido a características como cor, sabor e odor (WILBERS et al., 2013). As propriedades físico-químicas da água da chuva são geralmente superiores às fontes de água subterrânea, que podem ter sido sujeitos à contaminação.

Apesar da boa qualidade físico-química da água da chuva, a presença de indicadores microbianos a torna imprópria para consumo, pelo menos, sem qualquer tratamento. Em geral, a análise da composição físico-química e microbiológica da água da chuva é uma condição prévia para sua utilização para fins de consumo (SAZAKLI et al., 2007). Em estudos mais recentes, os contaminantes microbiológicos foram encontrados na água da chuva muitas vezes em níveis que excedem as diretrizes nacionais ou internacionais estabelecidos para água potável (NAWAZ et al., 2012).

Assim, aproveitamento da água da chuva é visto como muito atraente, na ausência de contaminantes e de poluição (LEE et al., 2010). Para tanto, as melhores práticas de gestão devem ser consideradas para garantir a água da chuva coletada livre de patógenos (ASSAYED et al., 2013).

Para coletar a água da chuva com melhor qualidade deve-se dar atenção aos primeiros momentos de precipitação, pois a primeira descarga de escoamento de água do telhado, isto é, que ocorre no início do evento de precipitação, pode conter poluentes em concentração relativamente aumentada.

Desta forma, a instalação de um dispositivo para descartar a água de primeira descarga (first-flush) do sistema de coleta pode resolver na melhoria da qualidade da água coletada. Esse sistema é essencial para se livrar da maioria dos poluentes e é também denominado de auto-limpeza da água da chuva (LEE et al., 2010; GIKAS e TSIHRINTZIS, 2012; ).

A instalação de dispositivos de first-flush melhora a qualidade físico-química da água da chuva coletada, mas não pode evitar a contaminação microbiana da água armazenada e, portanto, modelos e estratégias de desinfecção apropriadas para minimizar a contaminação devem ser realizadas, para utilização potável da água da chuva (GIKAS e TSIHRINTZIS, 2012).

GIACCHINI (2010) avaliou a qualidade da água da chuva, para uso não potável, de um sistema de coleta de água instalado na Universidade Federal do Paraná campus centro politécnico localizado na cidade de Curitiba – PR.

O sistema de coleta e armazenamento de água da chuva era composto por área de captação, calhas e condutores, dispositivo de primeiro descarte e reservatório.

Foi realizada 5 amostragens da água do reservatório em dias distintos, com intervalo de 7 dias entre cada coleta, para investigar a qualidade da água da chuva armazenada. Foram analisados os parâmetros temperatura, cor, turbidez, pH, DQO, oxigênio dissolvido, coliformes totais e termotolerantes e bactérias heterotróficas. A Tabela 1 descreve os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água da chuva encontrados nesta pesquisa.

**Tabela 1: Resultados físico-químicos e microbiológicos encontrados por GIACCHINI (2010) para a água da chuva do reservatório.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Faixa</b>	<b>Média</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	10 a 20,5	13,9
<b>Cor (Hz)</b>	2,5 a 25	14,5
<b>Turbidez (UNT)</b>	0,35 a 1,63	0,95
<b>pH</b>	7,03 a 7,88	7,5
<b>DQO (mg/L)</b>	3,02 a 12,6	7,4
<b>OD (mg/L)</b>	6,57 a 8,96	8,1
<b>Coliformes totais (NMP/100 mL)</b>	< 1,10 a > 23	17
<b>Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)</b>	< 1,10 > 23	12,2
<b>Bactérias heterotróficas (UFC/mL)</b>	1,2 x 10 <sup>2</sup> a 4,9 x 10 <sup>3</sup>	1,25 x 10 <sup>3</sup>

Em suas conclusões GIACCHINI (2010) ressalta a importância de tratamento para uma possível utilização da água da chuva e da lavagem periódica da cisterna de armazenamento de água da chuva para a remoção do lodo que se acumula no fundo.

Em outro estudo também realizado na cidade de Curitiba, BUDEL (2014) comparou a qualidade da água da chuva *in natura* com a qualidade da água da chuva armazenada escoada por um telhado convencional e com a qualidade da água da chuva armazenada escoada por um telhado verde. Ambas as residências estão situadas no mesmo bairro da cidade.

Os dois sistemas de coleta e armazenamento de água da chuva são compostos por área de captação, filtro simples para a remoção de material grosseiro e reservatório. A única diferença é que para a residência com telhado verde a água armazenada é dividida em dois reservatórios um superior e outro enterrado. Para fazer essa comparação foram analisados os parâmetros temperatura, turbidez, pH, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato, DQO, oxigênio dissolvido, coliformes totais e termotolerantes e *E. coli*.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a água da chuva *in natura*, água escoada do telhado convencional e água escoada do telhado verde realizadas por BUDEL (2014) estão descritas na tabela 2.

**Tabela 2: Valores médios das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas por BUDEL (2014) para a água da chuva *in natura*, água do armazenada do telhado convencional e água armazenada na cisterna superior e enterrada do telhado verde.**

(continua)

Parâmetros	Valores Médios			
	<i>In natura</i>	Telhado Convencional	Telhado Verde 1*	Telhado Verde 2*
Temperatura (°C)	16,4	15,3	16,1	15,4
Turbidez (UNT)	7,08	1,56	3,18	9,86
pH	5,81	6,29	6,91	6,96
NH <sub>3</sub> (mg/L)	0,91	0,12	0,06	0,26
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,03	0,00	0,06	0,15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,00	0,73	0,51	2,90
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	6,57	7,39	6,63	14,90
DQO (mg/L)	21,43	16,86	17,00	42,57

<b>OD (mg/L)</b>	9,73	9,46	10,99	9,64
<b>Coliformes totais (NMP/100 mL)</b>	15,3	597,3	1089	6636
<b><i>E.coli</i> (NMP/100 mL)</b>	11,6	10,4	13,8	45,4

\* Água da cisterna superior. \*\* Água da cisterna inferior.

(Conclusão)

Após análise dos resultados BUDEL (2014) concluiu que a água do telhado convencional obteve maior qualidade nos parâmetros e demanda química de oxigênio (DQO), já o telhado verde contribuiu para diminuir a acidez natural da água da chuva. As duas coberturas mostraram-se eficientes para concentração de amônia e nitrato, contudo indicaram elevadas concentrações de fosfato. Nos parâmetros microbiológicos os dois telhados não obtiveram qualidade suficiente para atender a NBR 15527/2007.

LEE et al. (2010) examinaram a viabilidade de aproveitamento de água da chuva como fonte alternativa de água em uma determinada localidade e constataram que as propriedades químicas e microbiológicas medidos da água da chuva coletada eram superiores aos do reservatório de água utilizada como recurso hídrico (Tabela 3).

**Tabela 3: Valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos estudados por LEE et al., 2010.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Chuva In Natural</b>	<b>Chuva Escocada do Telhado</b>	<b>Água do Reservatório</b>	<b>Diretriz *</b>
<b>pH</b>	5,3	7,3	7,8	-
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	2,2	6,8	7,6	< 10
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,02	0,09	0,09	< 0,5
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	ND**	0,02	0,48	-
<b>Coliformes Totais (N/100 mL)</b>	ND**	70	65	0/100 mL
<b><i>E. coli</i> (N/100 mL)</b>	ND**	10	30	0/100 mL

\* Norma de água potável da Coreia do Sul. \*\* Não detectável.

Estudos feitos por SAZAKLI et al. (2007) com água da chuva reservada em tanques de cimento coletada por superfície pavimentada em cimento, utilizada para abastecimento da população, na área norte da Ilha Kefalonia, Grécia. O sistema de coleta de água da chuva desta região consiste em superfície de coleta, dispositivo de primeiro descarte e tanque de armazenamento.

Os resultados encontrados mostraram que os parâmetros físico-químicos da água da chuva atendiam os padrões estabelecidos pela diretiva 98/93/EU para água potável. No que diz respeito à qualidade microbiológica, coliformes totais, *E. coli* e enterococos foram encontrados em 80%, 41% e 28,8% das amostras de água da chuva, respectivamente, embora tenham sido encontrados em concentrações baixas, não esta nos padrões potáveis da diretriz da União Europeia para água potável (Tabela 4). O processo de desinfecção da água da chuva é realizado dentro dos caminhões-tanques durante o percurso de distribuição dessa água para a população.

**Tabela 4: Valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontrados por SAZAKLI et al. (2007) para água da chuva reservada.**

	<b>Água da Chuva Reservada</b>	<b>Diretriz</b>
<b>Parâmetros</b>	Valores Médios	98/93/EU
<b>pH</b>	8.31	6,5-9,5
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	7.04	< 50,00
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0.013	< 0,500
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	0.01	< 0,50
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	0.09	< 6,67
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>	8	< 250
<b>Coliformes Totais (NMP/100 mL)</b>	11	Ausência
<b><i>E. coli</i> (NMP/100 mL)</b>	0	Ausência

GIKAS e TSIHRINTZIS (2012) estudaram sistemas de utilização de água da chuva instalados em 5 casas urbanas, rurais em um campus universitário localizado na cidade de Trácia (Grécia). Dispositivos de primeiro descarte (first-flush) foram instalados para remover os primeiros momentos da chuva (água de lavagem dos telhados).



A qualidade da água foi monitorada nos tanques de armazenamento durante 2 anos e os resultados encontrados foram que as concentrações médias de parâmetros físico-químicos na água da chuva coletada estavam abaixo dos limites estabelecidos pela diretiva 98/93/UE para água potável (Tabela 5). Em relação aos parâmetros microbiológicos, as amostras de água coletadas não cumpriram os padrões de água potável estabelecidos pela União Europeia. A qualidade da água da chuva coletada foi considerada satisfatória em relação aos seus parâmetros físico-químicos, mas não quanto à qualidade microbiológica.

Em países em desenvolvimento, a maioria dos problemas relacionados com a qualidade da água é devida a fatores de higiene e patógenos. Uma solução potencial pode incluir sistemas descentralizados, o que pode confiar em métodos de desinfecção térmica e/ou UV, bem como tratamentos físicos e químicos para fornecer água potável a partir de água da chuva. Para países em desenvolvimento, os sistemas descentralizados têm como principais vantagens baixo custo, facilidade de uso, a sustentabilidade ambiental, manutenção reduzida e independência das fontes de energia (NADDEO et al., 2013).

Para fins potáveis da água da chuva recomenda-se a utilização de processos de tratamento complexos, como a filtração em filtros de areia ou de carvão ativado. Após passar pelo processo de filtração a água da chuva deve passar por desinfecção, a fim de usar como potável, que vai desde uma simples fervura, cloração ou até mesmo de forma mais sofisticada por radiação ultravioleta (BASTOS, 2007).

Na Tabela 6 são apresentados alguns resultados de pesquisas realizadas com água da chuva para alguns parâmetros qualitativos que indicam que a qualidade da água da chuva é dependente do local onde ocorre a chuva. Além disto, esta variação reforça a necessidade da verificação da qualidade da água da chuva e da determinação do tratamento necessário a ser aplicado antes do uso previsto para esta água.

Tabela 5: Valores médios para os parâmetros físico-químicos da água da chuva dos tanques de armazenamento e dos dispositivos first-flush do trabalho de GIKAS e TSIHRINTZIS 2012.

Parâmetro	Rural		Rural		Suburbano		Suburbano		Urbano		Campus	Diretriz
	TA*	FF**	TA	FF	TA	FF	TA	FF	TA	FF	TA	
pH	6,75	6,49	6,64	6,55	6,99	7,04	6,65	6,45	6,63	6,44	6,76	6,5-9,5
OD (mg/L)	1,34	0,65	1,53	1,10	1,25	1,48	1,44	0,79	1,39	1,17	1,31	NM***
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,83	0,46	0,84	0,68	0,58	0,62	0,71	0,36	0,66	0,59	0,58	< 11,29
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,08	0,14	0,05	0,15	0,05	0,04	0,03	0,08	0,04	0,12	0,01	< 0,15
NH <sub>4</sub> (mg/L)	3,18	32,97	2,06	8,31	1,33	2,37	1,82	10,84	1,38	1,17	1,24	< 0,5
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,27	2,14	0,23	0,48	0,09	0,20	0,15	1,22	0,14	0,23	0,09	NM
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	10,65	16,60	13,53	22,24	15,70	30,86	8,28	11,88	8,84	8,63	10,25	< 250
Col. Totais (NMP/100 mL)	500	303	204	305	200	200	350	280	300	-	125	0/100 mL
E. coli (NMP/100 mL)	10	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0/100 ML

\* Tanque de Armazenamento. \*\* First-flush. \*\*\* Não mencionado.

Tabela 6: Média dos resultados obtidos com a caracterização da água de chuva em diferentes pesquisas.

Referência	Local de estudo	Fonte da água	pH	Cor aparente (uC)	Turbi dez (UNT)	SST* (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes Term. (NMP/100m)	Coliformes totais (NMP/100 mL)
Paiva et al. (1994)	São Paulo SP	Reservatório	4,5	-	-	-	-	-	38,7	-	-	-
Rocha et al. (1998)	São Paulo SP	Reservatório	5,2	-	-	-	-	-	21	-	-	-
Adhityan (1999)	Singapura	Reservatório	4,1	8,7	4,6	9,1	-	-	-	-	92,0	6,7
Appan (1999)	Singapura	Reservatório	4,1	-	5,1	9,0	-	-	-	-	7,8	-
Fornaro e Gutz (2000)	São Paulo SP	Reservatório	4,7	-	-	-	-	-	16	-	-	-
May (2004)	São Paulo SP	Reservatório	6,7	25,2	0,9	1	-	-	5,6	-	Presença	54
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	Passo Fundo RS	Reservatório	7,7	Ausente	1,7	12,5	-	-	-	-	-	70
Philippi (2005)	Florianópolis SC	Reservatório	7,9	37,1	-	2,5	-	-	-	-	23,9	-
Sazakli et al. (2007)	Grécia	Reservatório	8,3	-	-	-	7,04	0,09	8	-	-	11
Bastos (2007)	Vitória ES	Reservatório	6,8	7,9	0,83	0,18	-	-	-	-	12,6	551,4
May (2009)	São Paulo SP	Reservatório	6,8	21,6	3,3	-	-	-	-	-	220	3 x 10 <sup>3</sup>
Moreira Neto et al. (2009)	Confins MG	Escoada de telhado	7,2	-	0,8	33	-	-	-	10	-	-
Lee et al. (2010)	Coreia do Sul	<i>In natura</i>	5,3	-	-	7,6	2,2	ND**	-	-	-	ND
		Escoada de telhado	7,3	-	-	88	6,8	0,02	-	-	-	70
		Reservatório	7,8	-	-	530	7,6	0,48	-	-	-	65
Giacchini (2010)	Curitiba PR	Reservatório	7,5	14,5	0,95	-	-	-	-	7,4	12,2	17
Naddeo et al. (2013)	Itália	Reservatório	-	25,8	-	-	-	-	-	4,8	-	152

\* Sólidos suspensos totais. \*\* Não detectado.

Fonte: Adaptado de MAY (2009).

### 3.3 NORMAS, LEIS E DECRETOS SOBRE O TEMA ÁGUA DE CHUVA

A instalação de sistemas de coleta de água da chuva nas edificações vem se tornando prática crescente devido a recente implantação de leis e regulamentações.

Em Curitiba, capital do estado do Paraná, em 2003 foi instituído o PURAE (Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações), lei municipal 10.785/03, que busca instituir medidas que incentivem a conservação, o uso racional da água e a utilização de fontes alternativas de água.

Em seu artigo sexto cita como fonte alternativa a utilização de água da chuva, e em seu artigo sétimo menciona que a água da chuva será captada das coberturas das edificações e encaminhada para um reservatório para ser utilizada em atividades que não necessitem do uso de água potável. No ano de 2006 o decreto municipal 293/06 regulamenta a lei 10.785/03 e dispõe dos critérios do uso e conservação racional da água nas edificações. De acordo com seu artigo segundo para o licenciamento de construções no município fica obrigatória a implantação de mecanismos de captação de água pluviais nas coberturas das edificações que deveram ser armazenadas para posterior uso não potável (CURITIBA, 2006; JABUR et al., 2011).

Ainda na cidade de Curitiba em 2007 foi criado o decreto municipal 176 que obriga a implantação de reservatórios de retenção de águas pluviais em novos empreendimentos, ampliações ou reformas, independente de uso ou localização, que impermeabilizem área igual ou superior a 3.000 m<sup>2</sup> e também para projetos que apresentem redução da taxa de permeabilidade de 25% (CURITIBA, 2007; SANTOS et al., 2010). Outros municípios da região sul e sudeste tem atuação legislativa sobre este tema, são as cidades de São Paulo e Matão (SP), Maringá e Ponta Grossa no Paraná e Porto Alegre (RS). No nordeste apenas Recife, Salvador e João Pessoa contam com lei sobre a questão (VELOSO E MENDES, 2013).

Existem ainda leis estaduais sobre auxílio à instituição de políticas públicas ambientais, como a criação de Programa de Captação de Água da Chuva de âmbitos estaduais, que tem por objetivo a redução de enchentes em áreas urbanas com alto grau de impermeabilização do solo através do amortecimento das águas pluviais pelos reservatórios, obrigação de instalação de sistemas de captação

residenciais, postos de gasolina e em órgãos públicos, estabelecimento de critérios construtivos e técnicos obrigatórios (VELOSO E MENDES, 2013).

Um exemplo é a lei estadual 17.084, do estado do Paraná, que entrou em vigor em março de 2012, a qual torna obrigatória a instalação de sistema de aproveitamento de água da chuva em prédios públicos que fazem parte da Administração Pública do Estado do Paraná (PARANÁ, 2012).

Em São Paulo a lei estadual 12.526/2007 torna obrigatória a implantação de sistemas de captação e retenção de água da chuva, coletada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não que tenham área impermeabilizada igual ou superior 500 m<sup>2</sup>, com objetivos de que seja reduzida a velocidade de escoamento em áreas com alto índice de impermeabilização do solo e dificuldades de drenagem, controlar a ocorrência de inundações e contribuir para a redução do consumo e uso adequado da água tratada (SÃO PAULO, 2007).

Estados como Mato Grosso, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Distrito Federal também já possuem legislação que discipline sobre a temática. Os estados do Acre, Amapá e Rondônia, na região amazônica, apresentam lei vigente sobre o assunto. No estado do Pará, está em tramitação um projeto de lei sobre a criação do Programa de Captação de Água da Chuva do Estado do Pará. Ainda destacam-se os estados da Bahia, Goiás, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Minas Gerais que buscam aprovação de projetos de lei.

Nacionalmente, não existe nenhum ordenamento jurídico que discipline especificamente sobre o uso de água da chuva, apenas fazem uma abordagem superficial do assunto como, por exemplo, o decreto nacional 24.643 de 1934, Código das Águas, que legisla sobre o conceito água da chuva e o seu direito de uso, e confere a propriedade da água ao dono da edificação onde a chuva cair diretamente. Em seu artigo 118 chega a mencionar, mesmo que superficialmente, sobre a construção de reservatórios para utilização da água da chuva em espaços públicos.

Nesse contexto, pode-se citar ainda a lei nacional 11445/2007, conhecida como Lei do Saneamento Básico, estabelece indiretamente alguns critérios para o manuseio de água pluvial. Seu decreto regulamentador 7217/2010 admite como formas de viabilizar o manejo da água da chuva, a alimentação da instalação hidráulica do edifício ligada à rede pública de abastecimento de água via

aproveitamento de água da chuva, desde que devidamente autorizada pelas autoridades competentes (VELOSO E MENDES, 2013).

Por sua vez, existem poucas normas técnicas de abrangência nacionais voltadas diretamente para a utilização de água da chuva. Dentre elas destaca-se a ABNT NBR 15527/2007 que trata dos requisitos para aproveitamento de água de chuva em coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e tem como principal referência a ABNT NBR 10844/1989, norma esta que fixa exigências e critérios necessários aos projetos de instalação de drenagem de águas pluviais, visando a garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia.

Quanto à elaboração do projeto de sistema de coleta de água da chuva, este deve seguir as normas técnicas, ABNT NBR 5.626 (Instalação predial de água fria) e NBR 10.844 (Instalações prediais de águas pluviais). Deve constar ainda o alcance do projeto, a população que utiliza a água de chuva e a determinação da demanda, e também estudos das séries históricas e sintéticas da precipitação da região (VELOSO E MENDES, 2013; ABNT, 2007).

Embora oriente o aproveitamento da água chuva para fins não potáveis, a NBR 15527 dispõe que para o aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis, deve ser aplicado um tratamento adequado para que a sua qualidade atenda à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, recentemente substituída pela Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. Os parâmetros de qualidade da água da chuva para fins não potáveis requisitados pela norma são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros de qualidade de água pluvial para fins não potáveis (ABNT, 2007).

Parâmetro	Análise	Valor
<b>Coliformes totais</b>	Semestral	Ausência em 100mL
<b>Coliformes termotolerantes</b>	Semestral	Ausência em 100mL
<b>Cloro residual</b>	Mensal	0,5mg/L a 5,0mg/L
<b>Turbidez</b>	Mensal	<2,0UT para usos menos restritivos <5,0UT*
<b>Cor aparente</b>	Mensal	<15UH**
<b>pH</b>	Mensal	6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

**Nota:** para uso em lavanderias deve ser feita análise de *Cryptosporidium parvum* anualmente.

\* Unidade de Turbidez. \*\* Unidade de Hazen.

**Fonte:** NBR 15527 (ABNT, 2007).

A nível internacional pode-se citar como exemplo a Austrália, país onde existem diversas iniciativas a nível nacional e regional para promover o uso de fontes alternativas de água. O governo australiano apresenta a Iniciativa Nacional de Águas Pluviais e Águas Cinzas, para auxiliar as pessoas no uso racional da água, no qual ele oferece reembolso de até \$ 500 para todas as famílias que instalarem em suas residências um sistema de aproveitamento de água da chuva (GOVERNO DA AUSTRÁLIA, 2009; DOMÈNECH E SAURÍ, 2011). Além da Austrália outros países como Estados Unidos da América, Japão e Alemanha também dispõem de iniciativas para o aproveitamento da água da chuva.

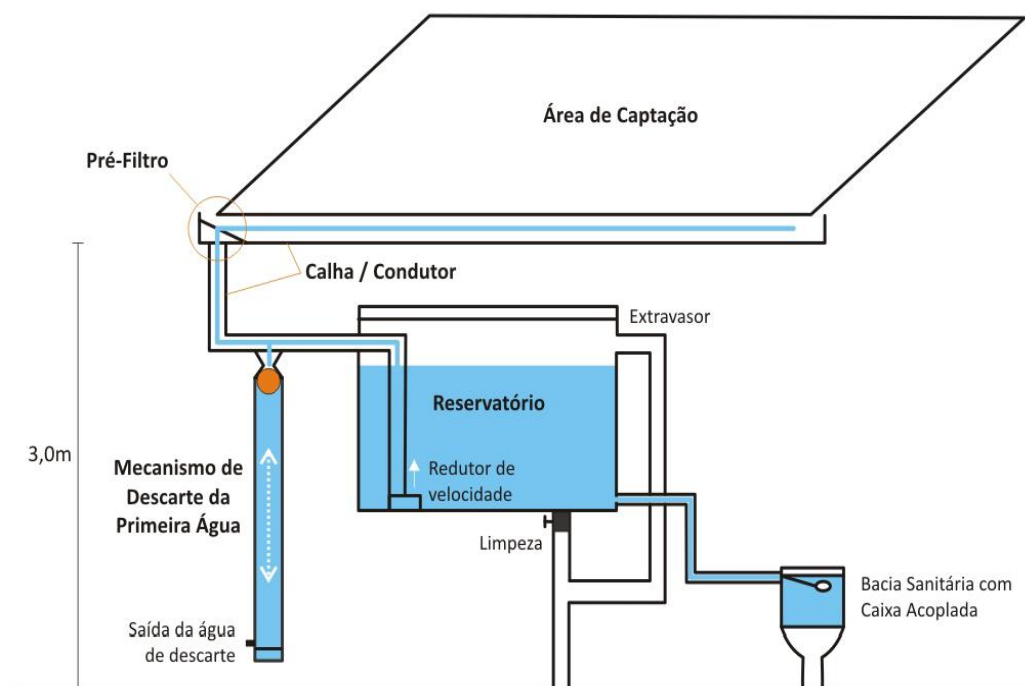
### 3.4 SISTEMAS DE COLETA DE ÁGUA DA CHUVA

Em um sistema de aproveitamento de água pluvial, em geral, a água coletada deve ser reservada, filtrada e tratada, de forma a adquirir qualidade requerida para o seu destino final. Estes sistemas são basicamente compostos por área de captação, condutores, mecanismo de descarte da primeira água e reservatório. E em caso de utilização com contato direto do usuário com a água faz-se necessário uma etapa de desinfecção.

O mecanismo de primeiro descarte é necessário devido à poluição urbana que se deposita nos telhados, então este dispositivo descarta os primeiros momentos de chuva que irão lavar o telhado e retirar os poluentes.

Em áreas urbanas a coleta de água da chuva nas edificações inicia-se através das calhas. Em geral precipitação escoar pelos telhados, é conduzida até as calhas, passa por um pré-filtro para retirada de fragmentos maiores, segue até os condutores verticais, chega ao mecanismo de descarte da primeira água e por fim é armazenada no reservatório. Do reservatório a água segue para o sistema de distribuição. A quantidade de água coletada é determinada pela área da superfície de coleta (telhados das edificações) (SANTOS et al., 2010; JABUR et al., 2011).

Existe uma variedade de soluções para sistemas de captação de água pluvial. A Figura 2 representa um sistema básico de coleta de água, no qual o mecanismo de descarte da primeira água não é automático, é necessário esvaziar a coluna manualmente após todo evento de chuva.

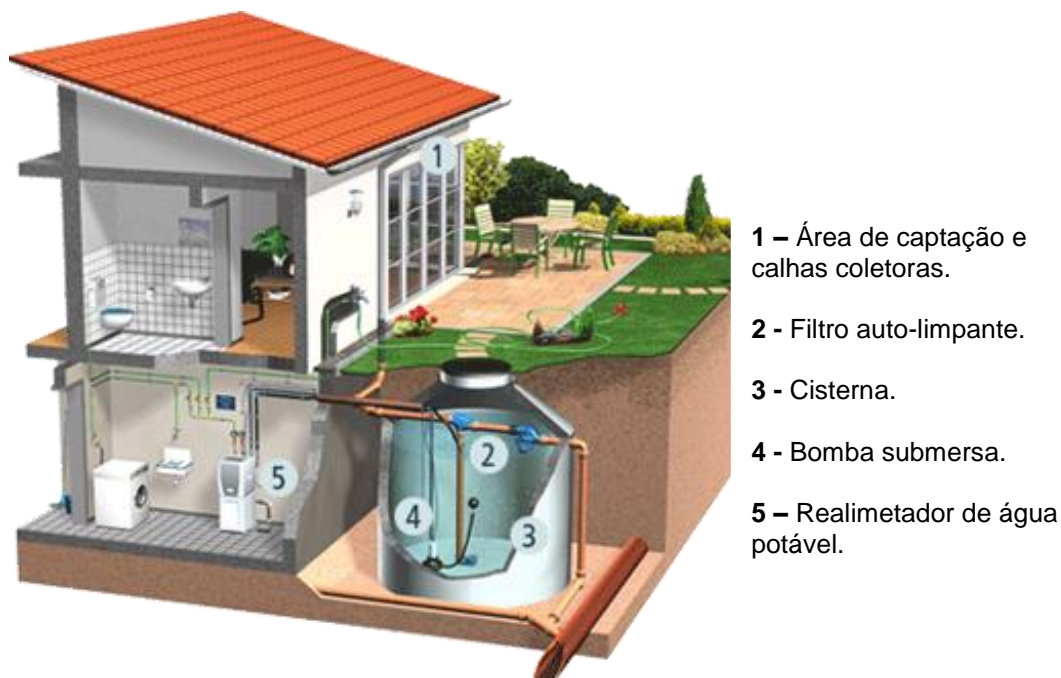


**Figura 2: Modelo básico e de baixo custo para coleta de água da chuva.**

**Fonte: SANTOS et al., 2010.**



Outras soluções de grande porte fazem uso de reservatórios subterrâneos e filtros sofisticados (Figura 3), mas este tipo de sistema apresenta um ponto fraco, que é a utilização de energia elétrica para bombeamento da água.



**Figura 3: Exemplo de solução de água pluvial (Alemanha).**  
**Fonte: Adaptado de 3P TECHNICK (2015).**

Alguns sistemas utilizam grandes reservatórios como, por exemplo, as cisternas utilizadas no semiárido brasileiro, construídas pelo programa um milhão de cisternas (Figura 1). As grandes dimensões destes reservatórios são justificadas devido ao grande tempo de estiagem neste local.

Entre tanto, coletores de menor porte também são utilizados, como os do tipo *rain barrel* (Figura 4), encontrados principalmente no exterior (Austrália, França, EUA) e são voltados principalmente à jardinagem. Este sistema utiliza poucos acessórios e é de instalação simples, mas seu ponto fraco é um baixo aproveitamento da energia potencial da água, o que limita o seu uso apenas para atividades de lavagem de pisos ou de automóveis (SANTOS et al., 2010).



**Figura 4: Coletor de água “Rain Barrel”.**  
**Fonte: USEPA, (2009).**

Em 2005, pesquisadores da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) propuseram outra solução para coleta de água da chuva em residências pequenas (Figura 5). O sistema proposto apresenta uma cinta de tubos instalada ao redor da edificação para armazenamento da água da chuva o que permite a manutenção da energia potencial, assim evita o uso de bombas.



**Figura 5: Exemplo de solução brasileira para coletar água pluvial.**  
**Fonte: UNICAMP (2005).**

Nesse contexto, para segurança do usuário recomenda-se o uso de cores para diferenciar a tubulação de água potável da água pluvial ou o uso de adesivos, pois a água da chuva pode ter variações na qualidade devido ao particulado existente na atmosfera. A norma ABNT NBR 6493/94 faz recomendações quanto ao uso de cores para tubulações. Recomenda-se que as tubulações de água potável tenham cor verde claro, água pluvial verde escuro e esgoto sanitário marrom. Com a identificação o usuário saberá qual água está utilizando.

### 3.5 FILTRAÇÃO

Filtração consiste na combinação de processos físicos, químicos e em alguns casos biológicos, que viabiliza a remoção de partículas suspensas e coloidais e microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso (meio filtrante). A remoção das partículas durante a filtração de acordo com a profundidade acontece através de mecanismos influenciados pelas características físicas e químicas das partículas, da água e do meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. Na filtração há a ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento (Figura 6) (DI BERNARDO et al., 2003; BRAGA, 2005).

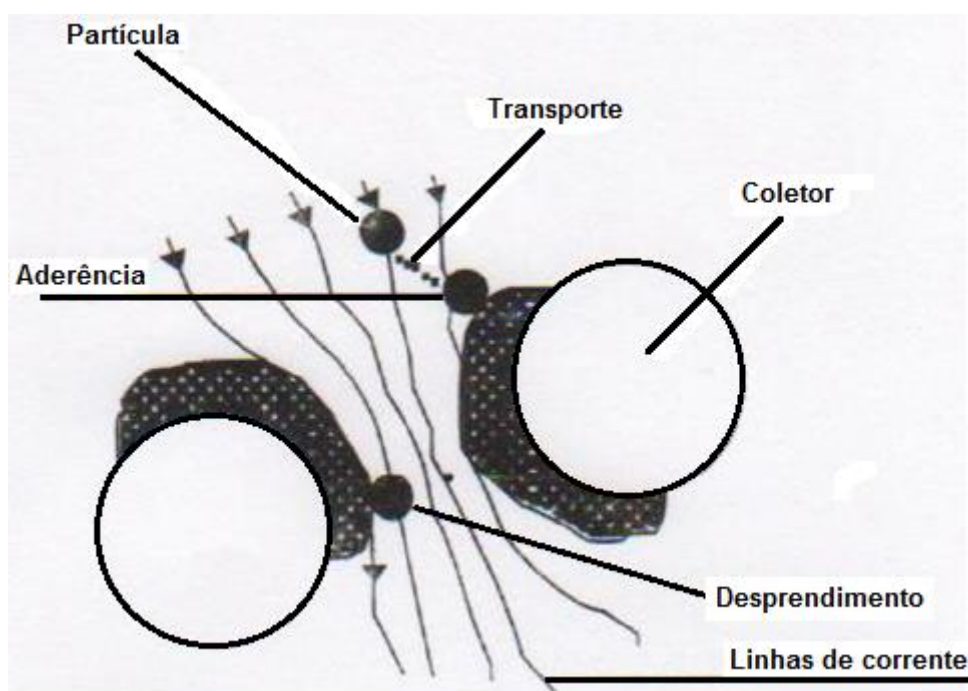


Figura 6: Mecanismos de transporte, aderência e desprendimento durante a filtração.

Fonte : DI BERNARDO, 2005 apud BRINCK, 2009.

Assim, a filtração em meio granular pode ser entendida como um conjunto de subcamadas que vão exaurindo sua capacidade de retenção das partículas. Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir partículas suspensas para as proximidades da superfície dos coletores (grãos de antracito, areia ou outro material granular) (BRAGA, 2005).

Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades da superfície dos grãos do material filtrante. As partículas permanecem aderidas a este meio por meio de forças superficiais, que resistem às forças de cisalhamento resultante das taxas de filtração (DI BERNARDO et al., 2003).

Quando a força de cisalhamento é maior que a de aderência, tem-se o desprendimento. Se a taxa de filtração (vazão afluyente dividida pela área do filtro) permanecer constante, a velocidade de escoamento nos poros (velocidade intersticial) aumenta devido às partículas retidas e causa o arraste das partículas ao longo do leito filtrante e surge na água filtrada, podendo ocasionar o fenômeno conhecido como transpasse (DI BERNARDO et al., 2003).

Os mecanismos de transporte mais comuns considerados para explicar a aproximação das partículas aos grãos do meio filtrante são: impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica.

O impacto inercial faz com que a partícula saia das linhas de corrente que divergem nas proximidades do grão filtrante, e se aproxime da superfície do mesmo. A sedimentação ocorre devido a atuação da gravidade sobre a partícula empurrando a partícula em direção do grão filtrante. A difusão é resultado do movimento errático que algumas pequenas partículas apresentam quando suspensas em líquidos (mecanismo responsável pela remoção de partículas menores) (BRAGA, 2005).

A ação hidrodinâmica faz com que a partícula tenha movimentos giratórios e perpendiculares à direção do escoamento, originando uma força que conduz a partícula em direção do grão filtrante (mecanismo responsável por remover partículas grandes). O mecanismo de interceptação atua sobre as partículas que se encontram nas linhas de corrente cuja distância do grão coletor é a metade de seu diâmetro das partículas, o que faz com que esse mecanismo seja a etapa final dos vários mecanismos (BRAGA, 2005).

Os mecanismos de aderência são os responsáveis pela retenção das partículas no meio filtrante e os mais comuns são: atração eletrostática, forças de van der Waals, hidratação e adsorção mútua.

A atração eletrostática e o processo de interação elétrica da dupla camada entre duas partículas em meio líquido e dependendo do potencial elétrico das partículas essa interação pode ser de repulsão ou atração. O quartzo, presente na maioria dos grãos utilizados como meio filtrante, possui carga elétrica negativa desenvolvendo em meio líquido um potencial zeta de mesmo sinal. Assim o quartzo, em meio líquido, atrai partículas carregadas positivamente (BRINCK, 2009).

Durante o processo de amadurecimento do filtro as partículas com cargas positivas acumulam-se nos grãos de areia, isto provoca uma reversão de carga, que torna esse mesmo grão (que tinha carga negativa) com as partículas aderidas, positivo. Neste caso, o grão de areia passa a ter um potencial elétrico positivo e pode então remover as partículas negativas (BRINCK, 2009).

As forças de van der Waals são as forças de atração que ocorrem entre átomos e moléculas e contribuem para a interação entre as partículas suspensas com os grãos de areia nos meios filtrantes. Mas a sua atuação é muito limitada, pois tem significado apenas quando a distância entre as partículas e os grãos de areia é inferior a  $0,05\mu$  (BRINCK, 2009).

No mecanismo de hidratação, a aderência pode ocorrer através de ligação de hidrogênio entre as moléculas de água adsorvidas na superfície das partículas e nos grãos de areia (BRINCK, 2009).

A adsorção mútua envolve a formação de cadeias e pontes entre polímeros que possam estar adsorvidos na superfície da partícula e na superfície do coletor. A ação de um polímero pode ocorrer entre a cadeia polimérica ligada à partícula e a superfície do coletor e também pode ocorrer entre a parte da cadeia polimérica adsorvida na superfície do coletor e a partícula (BRINCK, 2009).

Enquanto que as características físicas das partículas do meio filtrante determinam os meios de transporte, as características químicas ditam os mecanismos de aderência das partículas nos grãos coletores. É necessário relacionar as dimensões relativas das partículas suspensas, do grão, dos poros e as distâncias nas quais os mecanismos de aderência atuam.

O tipo de filtração pode ser classificada em filtração de fluxo ascendente ou de fluxo descendente.

Fluxo ascendente x fluxo descendente (DI BERNARDO et al., 2003):

- Na filtração descendente, com meio filtrante estratificado de único material, o afluente com maior quantidade de impurezas encontra, inicialmente, as subcamadas de grãos menores, enquanto que na filtração ascendente, com meio filtrante estratificado, o afluente encontra, inicialmente, os grãos maiores.
- Com relação à pressão, no filtro ascendente a pressão no fundo é maior e aumenta com o tempo de funcionamento, enquanto que no filtro descendente é menor e diminui com o tempo.
- A lavagem com água no filtro ascendente tem o mesmo sentido da filtração e na filtração descendente tem sentido opostos.
- O meio filtrante da filtração descendente pode ser constituído por diferentes materiais (antracito, areia e granada); na filtração ascendente emprega-se apenas areia como meio filtrante e pedregulho como camada suporte.
- O meio filtrante da filtração ascendente é constituído geralmente de grãos de areia maiores do que na filtração descendente, conseqüentemente é necessário maior volume de água para lavagem de filtros ascendentes.

Os filtros rápidos podem ainda ser classificados quanto ao arranjo hidráulico, sendo filtros por gravidade (escoamento através do meio é obtido por gravidade) ou filtros por pressão (utilizam um recipiente de pressão para conter o leito) e também a classificação pode ser quanto aos tipos de matérias granulares filtrantes e o número de camadas. Podem ser de uma, duas e até três camadas. Os filtros de camada única podem ter na composição de seu material filtrante areia ou antracito, enquanto os de dupla camada utilizam esses dois materiais filtrantes em série. Filtros compostos por camada tripla usam um terceiro material filtrante além dos já citados.

Os meios filtrantes granulares podem ser constituídos de pedregulho, areia e/ou carvão ativado. Em caso de filtros com tripla camada outros materiais filtrantes podem ser utilizados, tais como: ilmenita (minério de ferro e titânio, geralmente associados com hematita e magnetita) e granada (designação dada a alguns tipos de minerais a base de silicatos de ferros e alumínio e misturas de cálcio).

Para filtros de camada única recomenda-se uma espessura da camada do material filtrante (areia) de 0,55 m, tamanho efetivo de 0,4 a 0,5 mm, coeficiente de uniformidade menor que 1,6, tamanho mínimo do grão 0,35 mm e tamanho máximo de 1,2 mm (ABNT NBR 12216, 1992). Para filtros de camada dupla e tripla as características dos materiais filtrantes estão descritas na Tabela 8 e Tabela 9 respectivamente.

**Tabela 8: Características dos materiais filtrantes para filtros de dupla camada segundo critérios descritos na norma NBR 12216/92.**

	<b>Areia</b>	<b>Antracito</b>
<b>Espessura da camada (cm)</b>	15 – 30	45 – 60
<b>Tamanho efetivo (mm)</b>	0,5 – 0,6	0,8 – 1,1
<b>Coef. de uniformidade</b>	< 1,5	< 1,5
<b>Menor grão (mm)</b>	0,42	0,59
<b>Maior grão (mm)</b>	1,41	2,0

Em filtros de fluxo ascendente a espessura mínima da camada suporte deve ser de 0,40 m (ABNT NBR 12216, 1992). A camada suporte deve ser formada por seixos rolados encontrados em leitos de rio, cujos tamanhos devem variar de 2 a 50 mm e devem apresentar massa específica a 2,50 g/cm<sup>3</sup> (BRINCK, 2009).

Filtração rápida deve ser, preferivelmente, por ação da profundidade, assim as carreiras de filtração são mais longas. Considera-se filtração por ação da

profundidade o resultado de uma sucessão de estágios relativos à colmatação das subcamadas que compõem o meio filtrante. Na filtração ascendente as retenções de impurezas acontecem inicialmente na camada de pedregulho e nas subcamadas iniciais de areia, na filtração descendente acontece o contrario, a retenção inicial acontece nas subcamadas finais de areia (filtro de uma camada) ou de antracito (filtro de dupla camada) (DI BERNARDO et al., 2003).

A eficiência da filtração está ligada as características das partículas presentes na água (tipo, tamanho e massa específica das partículas, resistência das partículas retidas pelas forças de cisalhamento, temperatura da água, concentração de partículas, potencial zeta, pH da água, dentre outros), do meio filtrante (tipo de material granular, tamanho efetivo, tamanho do maior e menor grão, coeficiente de uniformidade, massa específica do material granular e espessura da camada filtrante) e características hidráulicas (taxa de filtração, carga hidráulica disponível, e método de controle da taxa e do nível de água nos filtros) (DI BERNARDO et al., 2003).

É importante saber o que pode ocorrer durante a filtração. Uma carreira de filtração pode ser interrompida por dois motivos: o transpasse da turbidez e igualdade entre a perda de carga e a carga hidráulica disponível. O comportamento ideal do filtro seria quando o termino da carreira coincidissem a perda de carga limite com o transpasse (turbidez limite), mas em filtros rápidos reais uma das duas situações ocorre primeiro, por tanto, é necessário monitorar os dois parâmetros (DI BERNARDO et al., 2003).

No início da filtração e após a lavagem a qualidade da água filtrada geralmente não atende os padrões de potabilidade, o que pode-se observar na Figura 7.



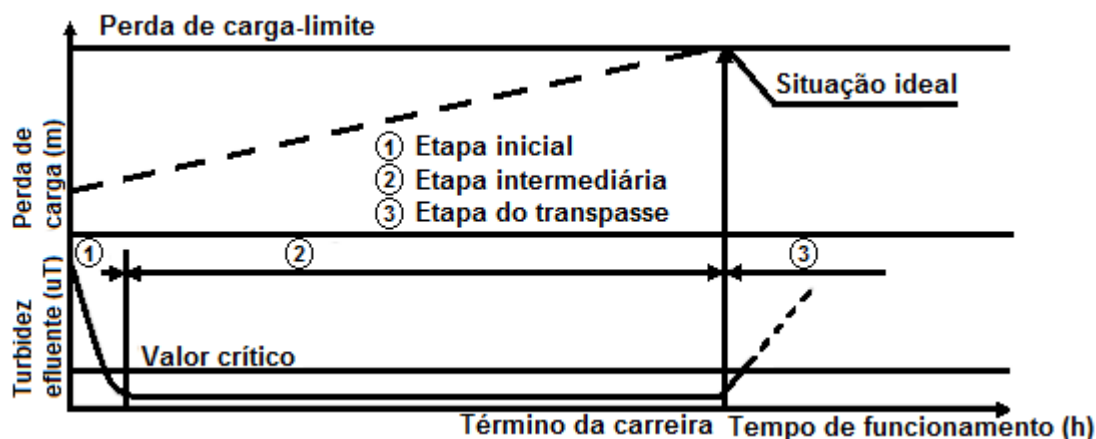


Figura 7: Etapas da filtração com taxa constante.

Fonte: DI BERNARDO et al., 2003.

De acordo com a Figura 7, a carreira de filtração pode ser dividida em três partes, a etapa inicial, quando a água filtrada pode apresentar qualidade insatisfatória, a etapa intermediária onde a qualidade da água é a desejável e a etapa do transpasse, caracterizada pelo aumento contínuo da turbidez da água (DI BERNARDO et al., 2003). A primeira etapa é conhecida também como de “amadurecimento”, é caracterizada pela água que inicialmente sai do filtro, ou seja, frações remanescentes da água de lavagem.

Conhecer as características granulométricas dos materiais que compõem o meio filtrante é de suma importância para que se possa projetar um sistema de filtração. O tamanho e a distribuição dos grãos são obtidos pelo ensaio de distribuição granulométrica do material granular, através deste ensaio é construída uma curva de distribuição granulométrica (Figura 8).

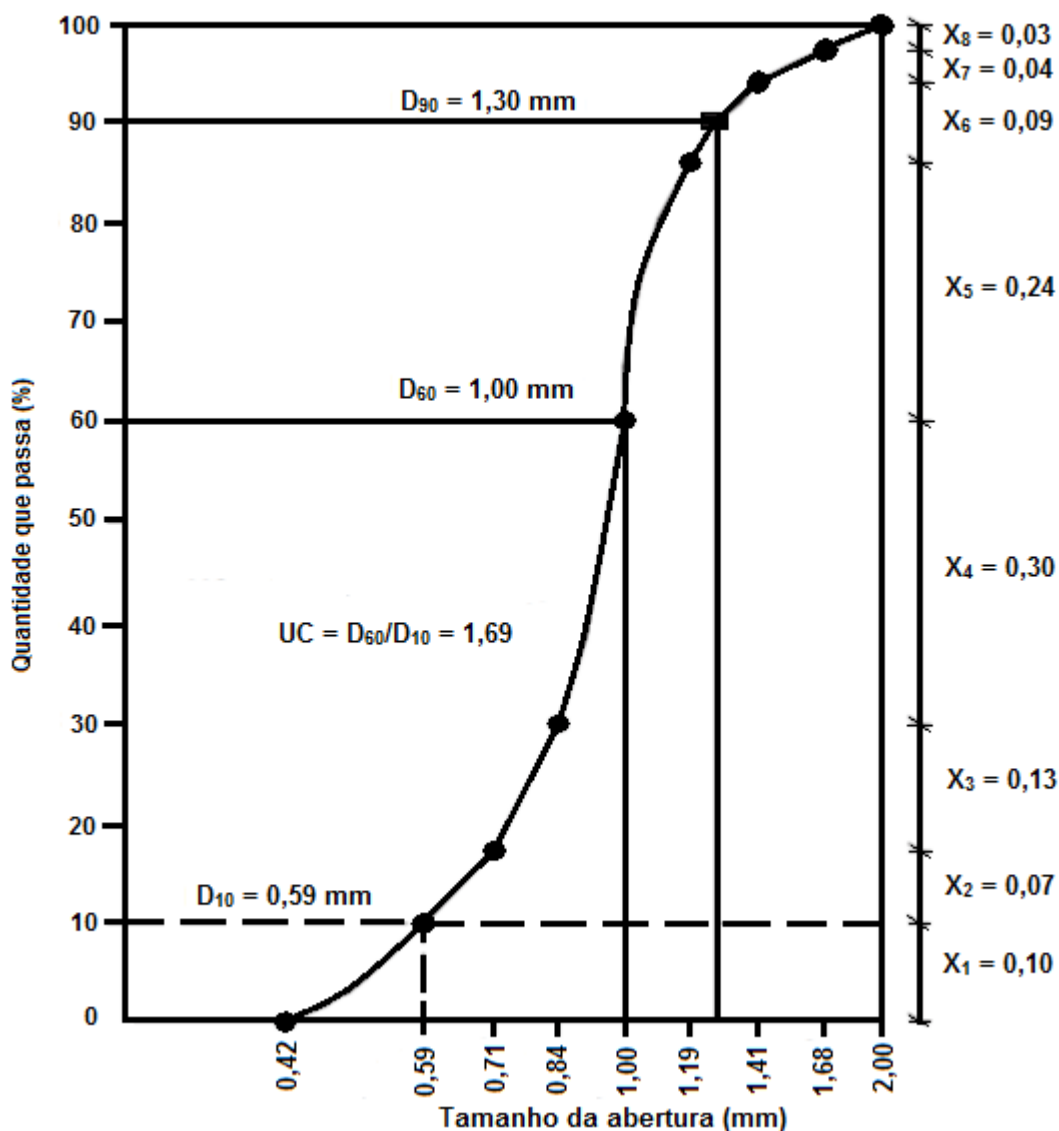


Figura 8: Curva típica de distribuição granulométrica de materiais filtrantes.  
Fonte: DI BERNARDO et al., 2003

O meio filtrante é caracterizado pelos seguintes parâmetros, que são obtidos a partir da curva de distribuição granulométrica (DI BERNARDO et al., 2003).

a) Tamanho dos grãos ( $D_{m\acute{a}x}$ ;  $D_{m\acute{i}n}$ )

O tamanho dos grãos deve ser previamente definido a partir de dados experimentais. A escolha da granulometria de um meio filtrante depende principalmente da tecnologia a ser empregada e de variáveis como taxa de filtração, carga hidráulica disponível, qualidade do afluente, qualidade desejável do efluente, sistema de lavagem, espessura da camada filtrante, etc.

b) Tamanho efetivo ( $D_{10}$ )

O tamanho efetivo, que corresponde ao tamanho equivalente a 10% (em peso), do material que passa pela peneira, permanece inalterado em meios granulares totalmente misturados e com coeficiente de uniformidade inferior a 5, a perda de carga não se modificaria. Na filtração rápida, onde a lavagem do meio filtrante é geralmente ascensional, ocorrem mudanças significativas se o coeficiente de uniformidade for alterado, mesmo mantendo constante o tamanho efetivo, designado como  $D_{10}$ .

O valor do tamanho efetivo caracteriza o menor diâmetro de partícula na classificação da areia e indica o tamanho da partícula que será removida pelo meio filtrante. A Tabela 10 apresenta a relação entre o tamanho efetivo do material filtrante e o tamanho das partículas removidas.

**Tabela 9: Relação entre o tamanho efetivo do material filtrante e o tamanho das partículas removidas.**

<b>Material</b>	<b><math>D_{10}</math> (mm)</b>	<b>Tamanho da partículas removidas (mm)</b>
<b>Areia</b>	0,8	> 0,06
<b>Areia</b>	0,55	> 0,04
<b>Areia</b>	0,34	> 0,02

Quanto menor for o tamanho efetivo ( $D_{10}$ ) do material filtrante, melhor será a qualidade do efluente, mas menor será o tempo de carreira do filtro, sendo necessário um maior número de retrolavagens.

c) Coeficiente de uniformidade (CU)

O coeficiente de uniformidade é a relação entre  $D_{60}$  e  $D_{10}$ . A penetração de impurezas ao longo do meio está relacionada intimamente a esse coeficiente. Quanto menor o valor de CU, mais uniforme é o material granular e mais profundo será a penetração de impurezas e maior será o tempo de carreira de filtração.

Com meios filtrantes de menor granulometria dificilmente ocorre transpasse, mas a duração da carreira de filtração será menor. Por outro lado, quanto maior for a granulometria há a possibilidade de ocorrer o transpasse, mas a carreira de filtração é mais longa.

d) Forma e geometria dos grãos

A forma dos grãos apresenta grande interferência na perda de carga no meio filtrante limpo, na velocidade mínima de fluidificação e no comportamento da expansão durante a lavagem. Grãos de forma geométrica mais irregular apresentam melhor desempenho durante a filtração, enquanto que grãos com forma arredondada apresentam maior eficiência durante a lavagem, além de menor perda de carga final, entre 20-30% inferior em relação a perda de carga para grãos de forma irregular. Os parâmetros utilizados para caracterização de um grão de forma não esférica são o coeficiente de esfericidade e o diâmetro volumétrico médio. Com esses dois parâmetros é possível calcular a superfície específica do material.

e) Porosidade

Porosidade é definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total do meio filtrante. É importante na determinação da velocidade da água requerida para lavagem, na perda de carga, e na capacidade de retenção de impurezas. Quanto maior for a esfericidade dos grãos menor será a porosidade do meio filtrante.

Na filtração descendente em areia convencional, a água afluyente com maior concentração de impurezas encontra, primeiramente, subcamadas com vazios intergranulares menores, o que causa colmatação no topo do filtro e conseqüentemente menor duração da carreira de filtração.

f) Massa específica

É definida como a massa do material dividida pelo seu volume. Sua determinação é fundamental para o cálculo da perda de carga, na fluidificação e expansão do meio filtrante durante a lavagem.

g) Dureza dos grãos

Esta propriedade está relacionada com a resistência mínima à abrasão, pois durante a fluidificação e expansão do meio filtrante, decorrentes da lavagem, pode ocorrer desgaste dos grãos, originando maior quantidade de material fino e alterando a sua curva granulométrica, o que pode trazer prejuízo à filtração.

h) Solubilidade em ácido clorídrico

Este teste é realizado para determinar as impurezas e compostos solúveis em ácido, presente no material granular do meio filtrante que podem ser liberados para a água.

i) Determina a porcentagem em massa de compostos presentes no material filtrante solúveis em solução de hidróxido de sódio 1% (massa/volume).

A Tabela 11 a seguir apresenta os valores característicos de massa específica, porosidade e coeficiente de uniformidade para os materiais mais utilizados como meios filtrantes.

**Tabela 10: Propriedades típicas de materiais filtrantes utilizados na filtração de águas de abastecimento.**

<b>Propriedades</b>	<b>Areia</b>	<b>Antracito</b>	<b>CAG</b>	<b>Garnet</b>
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,65	1,45 – 1,73	1,30 – 1,50	3,60 – 4,20
<b>Porosidade</b>	0,42 – 0,47	0,56 – 0,60	0,50	0,45 – 0,55
<b>CU</b>	0,7 – 0,8	0,46 – 0,60	0,75	0,60

Fonte: AWWA, 1999.

Filtros são efetivos para a retenção de materiais sólidos em suspensão, como algas, outros materiais orgânicos, areias finas, particulados coloidais e partículas de silte (BRINCK, 2009). O desempenho do filtro de areia em remover material orgânico, se comparado com outros tipos de filtro, está ligado a sua capacidade de coletar contaminantes ao longo da trajetória percorrida na camada de areia (TETEZLAF, 2008).

ASLN (2005) estudou a remoção de pesticidas e nitrato biodesnitrificação com posterior filtração em filtro de areia com água sintética contaminada com pesticidas e observou uma remoção significativa de nitratos, e nitritos não foram encontrados no efluente do filtro. O sistema de filtro de areia melhora a qualidade de água consideravelmente, proporcionou uma boa eficiência de remoção de turbidez e sólidos suspensos. Remoção significativa de 60-68% de sólidos suspensos foi observada.

NADDEO et al. (2013) fizeram um trabalho concentrado em um sistema para coletar e tratar a água da chuva para uso potável. O trabalho avaliou um sistema de tratamento que combina em uma unidade compacta um processo de filtração com uma etapa de adsorção em carvão ativado granular e uma fase de desinfecção UV em um design inovador (FAD – filtração – adsorção – desinfecção) com pré-filtração em membrana. Foram avaliados o tratamento FAD com pré-filtração em membrana e a sua comparação com tratamento com uma unidade de filtração apenas com carvão ativado granular (CAG) para saber qual a contribuição do carvão ativado no

processo de remoção de microrganismos, os dois processos de tratamento receberam água da chuva bruta.

Os resultados dos valores médios obtidos para os tratamentos FAD e CAG são apresentados na Tabela 12. FAD é atrativa, uma vez que proporciona uma barreira total para agentes patogênicos e contaminantes orgânicos e reduz a turbidez, aumentando assim a qualidade global da água. Os custos com unidades FAD são baixos, especialmente se comparado a outras tecnologias de tratamento de água e pode se tornar uma opção viável para os países em desenvolvimento.

**Tabela 11: Comparação da remoção de poluentes pelo FAD e CAG estudados por NADDEO et al. (2013).**

Parâmetros	Água bruta	Processo FAD		CAG	
		Efluente	Remoção (%)	Efluente	Remoção (%)
<b>Turbidez (UNT)</b>	25.88 ± 3.62	0.42 ± 0.06	98.3 ± 1.6	2.13 ± 0.42	59.7 ± 12.7
<b>DQO (mg/L)</b>	4.79 ± 0.56	2.39 ± 0.35	49.9 ± 7.5	3.70 ± 0.63	22.8 ± 8.7
<b>E. coli (NMP/100 mL)</b>	328 ± 126	0 ± 0	99.99 ± 0.0	108 ± 92	67.9 ± 14.3
<b>Coliformes Totais (NMP/100 mL)</b>	152 ± 32	0 ± 1	99.99 ± 0.0	61 ± 29	59.8 ± 19.1

MOREIRA NETO et al. (2012) avaliaram o tratamento da água da chuva coletada por um telhado de aço galvanizado e pelos canais de drenagem da pista do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, localizado no estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema de coleta e tratamento da água da chuva era composto por um dispositivo de primeira descarga, um reservatório de armazenamento, um filtro lento e desinfecção por cloração. Os valores médios para os parâmetros físico-químicos avaliados para a água da chuva escoada e após a filtração são apresentados na Tabela 13. A conclusão foi de que o filtro lento de areia empregado no estudo não foi eficiente na remoção da turbidez, que na verdade aumentou com a passagem da água pelo filtro. A água da chuva tratada era de excelente qualidade em termos de pH, turbidez, dureza total, SST e DQO e pode ser usada para fins não potáveis, como torres de resfriamento, lavagem de pisos, controle de fogo e irrigação de áreas vegetadas.

Tabela 12: Valores médios dos parâmetros físico-químicos estudados por MOREIRA NETO et al. (2009) para água da chuva escoada de telhado de zinco e da drenagem da pista de pouso e para a água da chuva pós filtração.

Parâmetros	Água da chuva escoada	Água da chuva após tratamento
pH	7,2	6,8
Turbidez (UNT)	0,8	1,9
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	11	11
SST (mg.L <sup>-1</sup> )**	33	46
SDT (mg.L <sup>-1</sup> )***	45	NA*
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	10	27

\* Não avaliado.

\*\* Sólidos suspensos totais.

\*\*\* Sólidos dissolvidos totais.

Bastos (2007) avaliou o tratamento de água da chuva, por 2 filtros lentos de areia e desinfecção ultravioleta e analisou 12 parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, turbidez, cor, sólidos suspensos, dissolvidos e totais, acidez e alcalinidade, dureza e cloretos) e 3 microbiológicos (Coliformes termotolerantes e totais e *E. coli*). O sistema de coleta e tratamento de água da chuva era composto por calhas e condutores, uma cisterna de armazenamento, 2 bombas dosadoras, 2 filtros lentos (igualmente construídos) e 2 reatores UV.

A água da chuva reservada na cisterna alimentava os dois filtros e a sua qualidade é apresentada na Tabela 14. Os filtros lentos foram operados em três taxas de filtração distintas 4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 8m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e suas eficiências de remoção para os parâmetros em cada taxa de filtração são apresentados na Tabela 15. Os seus resultados para a água da chuva antes do tratamento mostraram que ela pode ser comparada à qualidade de corpos d'água de classe 1 segundo o CONAMA 357/05, sendo necessário tratamento para consumo humano e conforme a NBR 12.216/92 pode ser comparada a água do tipo B (Tabela 16).

A taxa de filtração com melhor desempenho foi a de 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. A qualidade da água da chuva, após filtração lenta, em comparação com a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, atualmente substituída pela portaria MS 2914/2011, mostrou-se satisfatória.

Tabela 13: Valores médios dos parâmetros de qualidade da água da chuva armazenada para alimentação dos filtros estudada por Bastos (2007).

Parâmetro	Água da Chuva Reservada
pH	6,8
Turbidez (UNT)	0.83
Cor (uH)	7,9
Sólidos Totais (mg/L)	0,3
Sólidos Suspensos (mg/L)	0,18
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	0,06
C.Termot.*(NMP/100 mL)	12,6
C. Totais* (NMP/100 mL)	551,4
E. coli (NMP/100 mL)	135,3

\* Coliformes termotolerantes.

\* Coliformes totais.

Tabela 14: Eficiências de remoção dos filtros lentos estudados por BASTOS (2007).

Parâmetro	Eficiência de Remoção (%)					
	Taxa 4m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Taxa 6m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Taxa 8m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	FL1	FL2	FL1	FL2	FL1	FL2
Turbidez (UNT)	95,5	77,9	100,0	99,3	89,5	94,0
Cor (uH)	1,7	40,0	90,5	86,1	82,9	85,5
Sólidos Totais (mg/L)	86,2	0,0	66,7	75,4	74,1	68,6
Sólidos Suspensos (mg/L)	85,9	53,5	83,0	89,3	79,7	67,0
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	7,3	0,0	62,5	73,7	45,0	41,8
C.Termot.*(NMP/100 mL)	84,3	0,0	100,0	100,0	87,8	87,6
C. Totais* (NMP/100 mL)	64,5	87,3	68,8	81,6	65,2	70,6
E. coli (NMP/100 mL)	100,0	ND*	100,0	100,0	78,3	76,3

\* Não detectado.

Legenda: FL1 – filtro lento 1; FL2 – filtro lento 2.



Tabela 15: Comparação dos valores médios da qualidade da água da chuva não tratada estudada por BASTOS (2007) e as classes d'água estabelecidas pelo CONAMA 357/05, os tipos d'água estabelecidos pela ABNT na NBR 12 216/92.

Parâmetros	CONAMA 357/05				NBR 12216 (ABNT, 1992)				Água Chuva
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Média
Turbidez (UNT)	40	100	100	-	-	-	-	-	<b>0,83</b>
Cor (uH)	-	75	75	-	-	-	-	-	<b>7,86</b>
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5 a 9	5 a 9	5 a 9	3,8 a 10,3	<b>6,76</b>
SD (mg/L)	500	500	500	-	-	-	-	-	<b>0,06</b>
Cloretos (mg/L)	250	250	250	-	< 50	50 a 250	250 a 600	> 600	<b>2,76</b>
C. Termo* (NMP/100 mL)	200	1000	4000	-	-	-	-	-	<b>12,64</b>
C. Totais** (NMP/100 mL)	-	-	-	-	50 a 100	100 a 5000	5000 a 20000	> 20000	<b>551,43</b>

\* Coliformes Termotolerantes. \*\* Coliformes Totais.

Fonte: Bastos, 2007.

### 3.6 DESINFECÇÃO ULTRAVIOLETA

A desinfecção é a etapa do tratamento cuja função essencial consiste na inativação de microrganismos patogênicos, que pode ser realizada por agentes químicos ou físicos (DANIEL et al., 2001). A eficiência de um processo de desinfecção é avaliada pela redução do número de organismos patogênicos, sendo inviável econômica e operacionalmente detectar todos os organismos patogênicos presentes. Para tornar a avaliação segura e de menos custo, utilizam-se microrganismos indicadores (coliformes) (WEISBECK et al., 2011; SOUZA et al., 2000).

O controle de doenças veiculadas pela água passa obrigatoriamente pela desinfecção da água distribuída à população. Há vários desinfetantes disponíveis, sendo que o cloro é o de uso mais comum. Entretanto, devido à possibilidade de o cloro reagir com a matéria orgânica e gerar subprodutos potencialmente prejudiciais

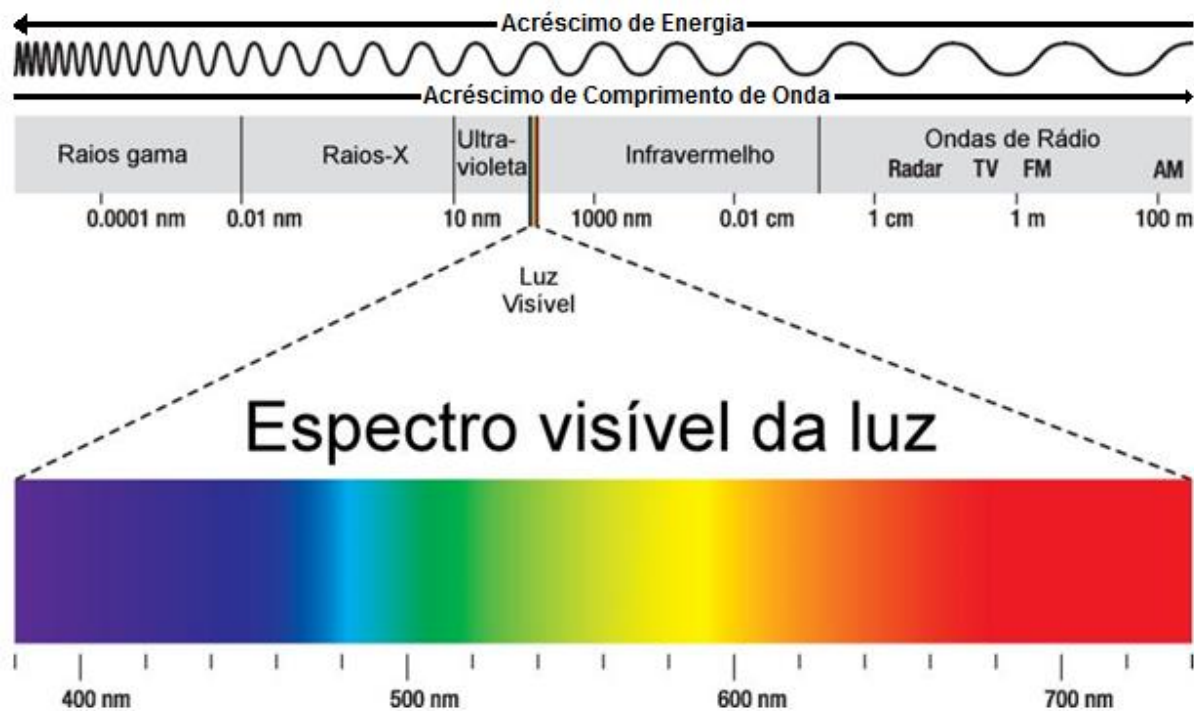
à saúde humana, há a necessidade de se usar outros desinfetantes que sejam tão eficientes quanto o cloro e que não gerem, ou pelo menos reduzam a geração de subprodutos (TINÔCO, 2011).

Neste contexto, a utilização de desinfetantes alternativos visa manter a mesma eficiência da desinfecção com cloro e reduzir a formação de subprodutos prejudiciais à saúde. Dentre estes desinfetantes está a radiação ultravioleta (SOUZA et al., 2000; ).

Mesmo o cloro ( $\text{Cl}_2$ ) sendo o desinfetante químico mais utilizado na desinfecção para produção de água potável, várias pesquisas foram realizadas, buscando consolidar tecnologias e parâmetros que viabilizem o uso da radiação ultravioleta (UV), visando a uma maior adequação e otimização do processo para sua utilização eficaz no atendimento à população (WEISBECK et al., 2011; SOUZA et al., 2000).

A radiação ultravioleta atua por meio físico agindo nos ácidos nucleicos (DNA) dos microrganismos, promovendo reações fotoquímicas que inativam vírus e bactérias. Assim, a célula não consegue se reproduzir e por isso, diz-se que ocorre a inativação e não a morte do organismo. Um dos fatores que tornaram a utilização da desinfecção UV atraente, é o custo, que a torna competitivo economicamente se comparado com a cloração (DANIEL et al, 2001; BASTOS, 2007; TINÔCO, 2011). Além do mais, a desinfecção por ultravioleta é efetiva na inativação de bactérias, vírus e protozoários, é fácil de ser operada e segura e exige baixo tempo de contato, o que facilita o uso de unidades compactas (TINÔCO, 2011).

A radiação ultravioleta abrange uma pequena parte do espectro eletromagnético, ela envolve o uso de radiação eletromagnética a partir do espectro de 100-400 nm, e é classificada como UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) e UV-C (200-280 nm), o intervalo de comprimento de onda compreendido entre 240-285 nm é considerado a faixa germicida ótima para inativação de bactérias (Figura 9) (KEYSER et al., 2008; TINÔCO, 2011; BASTOS, 2007). A desinfecção UV utiliza energia elétrica para gerar radiação e eliminar, inativar ou inviabilizar microrganismos (DANIEL et al., 2001).



**Figura 9:** Localização da faixa de comprimento de onda UV, dentro das radiações eletromagnéticas e espectro visível.  
**Fonte:** Bastos, 2007.

Na técnica de desinfecção utilizando radiação UV para água potável, são comumente utilizadas lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. Estas lâmpadas emitem de 80-90% de sua energia no comprimento de onda UV-C a 254 nm que tem um efeito germicida contra microrganismos (SOUZA et al., 2000; KEYSER et al., 2008). Podem ser consideradas monocromáticas e operam a uma temperatura ótima de 40°C e uma pressão interna de 0,007 mmHg. A durabilidade deste tipo de lâmpada é de 3.000-13.000 horas e os tubos de quartzo apresentam durabilidade de 4 a 8 anos. A intensidade da radiação UV é muito instável durante as 100 primeiras horas de uso e normalmente a intensidade de radiação diminui gradualmente em função do tempo de uso (TINÔCO, 2011).

Para que um equipamento de desinfecção de água por radiação ultravioleta (UV) seja eficiente, necessita garantir uma dose letal. A dose letal depende da qualidade físico-química da água, como por exemplo, turbidez (<5 NTU), sólidos suspensos (<10 mg.L<sup>-1</sup>), concentração de ferro (<0,3 mg.L<sup>-1</sup>) e dureza (<120 mg.L<sup>-1</sup>) (WEISBECK et al., 2011). As partículas existentes na água dificultam a incidência de luz UV sobre os microrganismos, essas partículas atuam como um escudo de proteção para os microrganismos, quanto maior o diâmetro médio das partículas sólidas menor será a eficiência do processo de desinfecção UV (LOBO et al., 2009;

TINÔCO, 2011). A turbidez tem influência nesse fenômeno, quanto maior a turbidez menor será a inativação dos microrganismos para um mesmo tempo de exposição e uma mesma dose de UV.

A desinfecção por radiação ultravioleta é afetada principalmente pela presença de partículas em suspensão e substâncias dissolvidas que interferem na transmissão da radiação ultravioleta (SOUZA et al., 2000). Parâmetros como pH, temperatura e alcalinidade não interferem na eficiência da desinfecção UV (DANIEL et al., 2001). A dureza da água afeta a solubilidade de metais que podem absorver a luz UV e pode causar problemas para manter as lâmpadas limpas e funcionais, devido a incrustações formadas pela precipitação de carbonatos nos tubos de quartzo (TINÔCO, 2011).

Um problema que pode ocorrer com a desinfecção UV é a indesejada recuperação de uma parcela de microrganismos inativados, ou seja, pode ocorrer reversão das reações fotoquímicas, e os microrganismos podem recuperar a atividade. Isso permite que os microrganismos irradiados recuperem-se caso tenham recebido dose subletal de radiação ultravioleta (DANIEL et al., 2001).

Portanto, a dose da radiação UV é uma variável importante para o dimensionamento de instalações de desinfecção. A dose é um produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição (Equação 1) (DANIEL et al., 2001; TINÔCO, 2011). A dose necessária é relativa a cada microrganismo, como na água da chuva existe mais que uma espécie de microrganismo, a dose letal seria aquela que inativasse o microrganismo que necessita da dose mais elevada.

$$D = I \times t$$

Equação 1

Em que:

D = dose de irradiação ultravioleta de comprimento de onda de 254 nm (mWs.min/cm<sup>2</sup>);

I = intensidade da radiação (mW/cm<sup>2</sup>);

t = tempo de exposição (min).

A eficiência da inativação depende da sensibilidade de cada tipo de microrganismos à radiação UV e pode ser calculada utilizando-se da Equação 2.

$$Eficiência_{\log} = \log_{10} \frac{N_0}{N}$$

Equação 2

Em que:

$N_0$  = número inicial de microrganismos (NMP);

$N$  = número de microrganismos remanescentes após desinfecção (NMP).

LOBO et al. (2009) verificaram um resultado positivo para inativação tanto de *E. coli* quanto de *S. cerevisiae*, utilizando um reator de 2,5L e uma lâmpada UV de 30W de potência, para um tempo de 60s de exposição de uma amostra da água contaminada com concentração de 0,01g/L de células à radiação UV, obtendo 99,96% de inativação para *E.coli* e de 99,76% para *S. cerevisiae*. E concluiu ainda que o tempo de exposição necessário depende da concentração de células na amostra e da dose de radiação utilizada.

A Portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) estabelece como padrão de qualidade para água potável a ausência de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* e determina que a quantidade de bactérias heterotróficas não ultrapasse um limite de 500 UFC.mL<sup>-1</sup> em 20% das amostras mensais analisadas no sistema de distribuição de água destinada ao consumo humano.

WEISBECK et al. (2011) realizaram coletas, simultaneamente, em duas regiões industriais da cidade de Joinville-SC, de amostras da precipitação direta e de escoamento de telhados de cimento amianto. As amostras foram tratadas por UV em processo contínuo, numa vazão de 0,04L.s<sup>-1</sup>, calculada para exposição das amostras por 60 segundos à radiação UV e uma dose de radiação de 9,2 mWs.cm<sup>-2</sup>. Após o tratamento por UV observou-se que não foi detectada a presença de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E. coli*, e que após um período de armazenamento por 24, 48 e 72 horas, apenas bactérias heterotróficas estavam presentes. A eficiência da desinfecção da água da chuva por UV foi verificada com 100% de inativação dos coliformes totais e termotolerantes e o não recrescimento desses microrganismos em amostras tratadas e estocadas por até 72 horas.

BASTOS (2007) também aplicou em sua pesquisa de tratamento de água da chuva, após a filtração lenta um processo de desinfecção UV. O reator UV foi construído em tubo de PVC com 100 mm de diâmetro e 450 mm de comprimento, composto de uma lâmpada UV germicida de baixa pressão. Foram usados tempos de detenção entre 195,0 a 259,8 s, para uma intensidade média da lâmpada UV de 0,57 mW/cm<sup>2</sup> e doses de radiação UV entre 111,35 a 148,35 mW.s/cm<sup>2</sup>. E após o tratamento com filtração lenta, obteve bons resultados de remoção de microrganismos na filtração lenta, com eliminação total de *E. coli*, mas ainda

estavam presentes coliformes fecais, o que tornou necessária a desinfecção por UV. A desinfecção foi eficiente removendo aproximadamente 100% dos microrganismos.

Na Tabela 17 estão apresentados os principais parâmetros estudados pelos autores para desinfecção UV.

**Tabela 16: Principais parâmetros estudados para radiação UV.**

<b>Autor</b>	<b>Tipo de água</b>	<b>Intensidade (mW/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tempo de detenção (s)</b>	<b>Dose (mWs/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>
LOBO et al., 2009	Água inoculada	-	60	-	< 99,70%
WEISBECK et al., 2011	Direta do telhado	-	60	9,2	100%
BASTOS 2007	Após filtração Lenta	0,57	195 a 259,8	111,35 a 148,35	< 99,99%

Para desinfecção por UV, deve-se adicionar cloro após a desinfecção com o objetivo de conferir o residual previsto na portaria 2914/11 do ministério da saúde (DANIEL et al., 2001).

Vantagens e desvantagens da aplicação da radiação ultravioleta (BASTOS, 2007):

#### **Vantagens**

- A desinfecção UV é efetiva na inativação de muitos vírus, esporos e cistos;
- A desinfecção UV é um processo físico, o que elimina a necessidade de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos tóxicos/perigosos/corrosivos;
- Não geram efeitos residuais prejudiciais a humanos ou vida aquática;
- A desinfecção UV é facilmente controlada pelos operadores;
- A desinfecção tem um tempo de contato menor quando comparada a outros desinfetantes (aprox.20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão).

- O equipamento de desinfecção UV requer menos espaço que outros métodos.

### **Desvantagens**

- Baixas dosagens podem não ser efetivas na inativação de alguns vírus, esporos e cistos;
- Os microrganismos podem, às vezes, reparar e reverter os efeitos destrutivos do UV através, de mecanismo de reativação, conhecido como fotoreativação, ou em ausência de luz, conhecido como recuperação no escuro;
- Necessidade de programa preventivo para controle da formação de biofilmes nos tubos de quartzo (reator de contato);
- Turbidez e sólidos suspensos totais na água pode prejudicar a eficiência da inativação;

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente estudo foi realizado no bloco IJ da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba, sede Ecoville, localizada no bairro CIC, região centro oeste de Curitiba, capital do Paraná (Figura 10).



Figura 10: Localização da UTFPR campus Curitiba sede Ecoville e foto do bloco IJ.  
 Fonte: Adaptado do Google e Prefeitura Municipal de Curitiba (2014).

#### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE CURITIBA

A sede Ecoville da UTFPR campus Curitiba possui as coordenadas geográficas latitude  $25^{\circ}26'37''\text{S}$  e longitude  $49^{\circ}21'12''\text{W}$  e está localizada no bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC), que é o maior bairro em área geográfica da cidade de Curitiba. Devido ao seu tamanho, o bairro é dividido em CIC Norte (região onde está localizada a UTFPR Ecoville), CIC Central e CIC Sul.



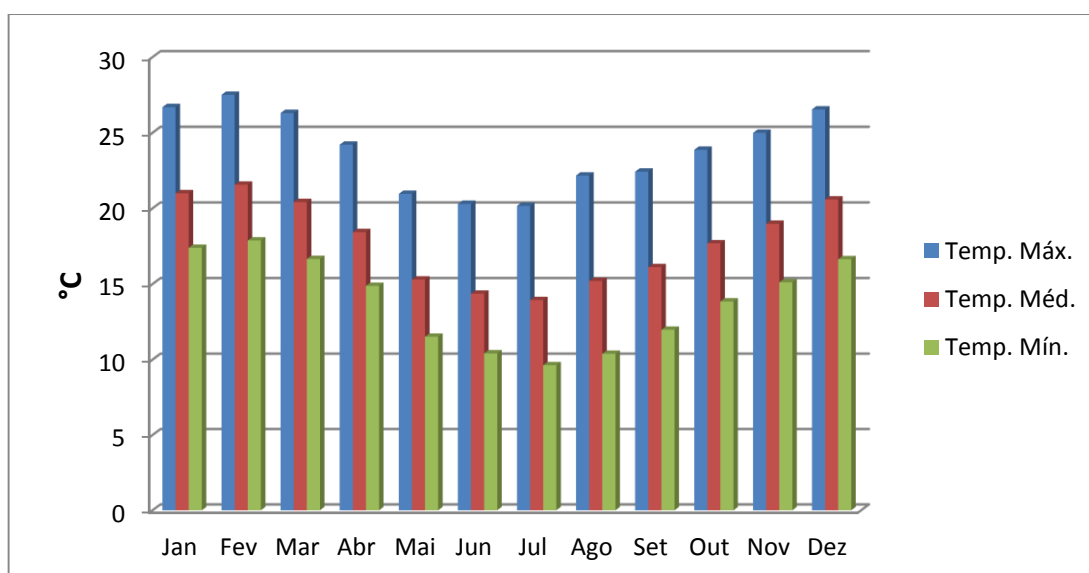
A região da UTFPR Ecoville possui poucas indústrias na proximidade, sendo predominantemente residencial e com presença de vegetação arbórea em torno do campus da universidade.

Curitiba localiza-se no primeiro planalto do Paraná, na latitude 25°25'40"S e longitude 49°16'23"W com altitude média 934,6m e ocupa área de 432,17m<sup>2</sup>. O litoral (oceano Atlântico) está situado a uma de 70 Km da capital do Paraná. O município tem extensão leste-oeste de 20 Km e norte-sul de 35 Km.

O clima de Curitiba é o subtropical úmido sem presença de estação seca, com verões suaves e invernos com geadas frequentes e ocasionais precipitações de neve (última ocorrência em 23/07/2013). Pela classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb, ou seja, mesotérmico úmido com verões frescos. Sobe influência de massas de ar quente e frias, em especial massa ar de tropical marítima e polar. Os principais fatores responsáveis pelo clima de Curitiba são a sua localização em relação ao trópico de Capricórnio, altitude média do município, topografia do primeiro planalto e a barreira geológica natural da Serra do Mar (Maack, 1981; IPUCC, 2001).

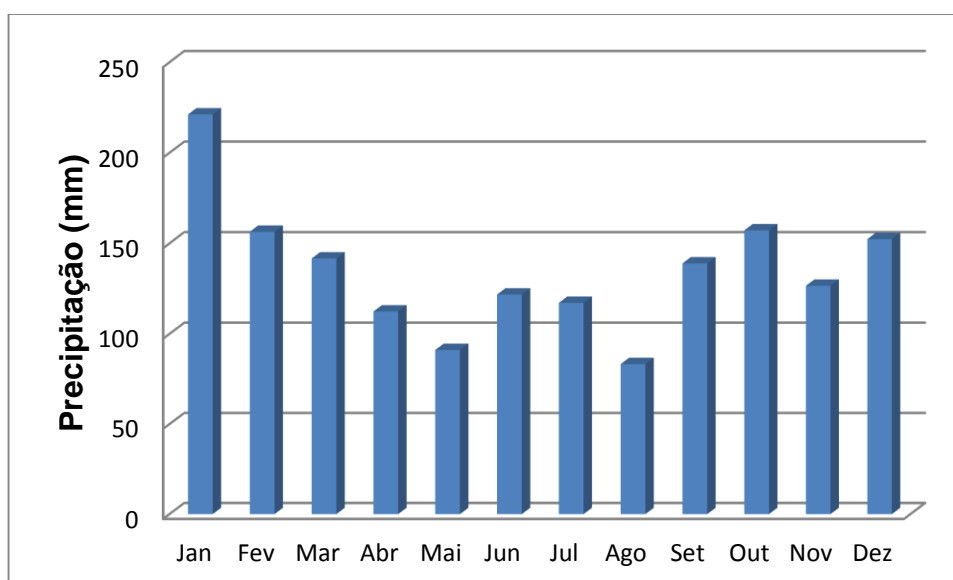
Com base na análise de dados históricos do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014 da Estação Meteorológica Curitiba (83842), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na latitude Sul de 25° 41' 67", longitude Oeste 49° 13' 33" e altitude de 930 m ao nível do mar, o período com menor temperatura média registrada foi de 13,9 °C para o mês de julho e a maior de 21,6 °C para o mês de fevereiro.

As máximas para o mesmo período foram de 26,7 °C em janeiro e 27,5 °C em fevereiro e a mínima de 9,6 °C para julho e agosto. A máxima absoluta registrada para o período foi de 34,7 °C em outubro de 2014 e a mínima absoluta de -2,1 °C em julho de 2013. Os valores médios mensais de temperatura média, máxima e mínima para o período analisado estão representados na Figura 11.



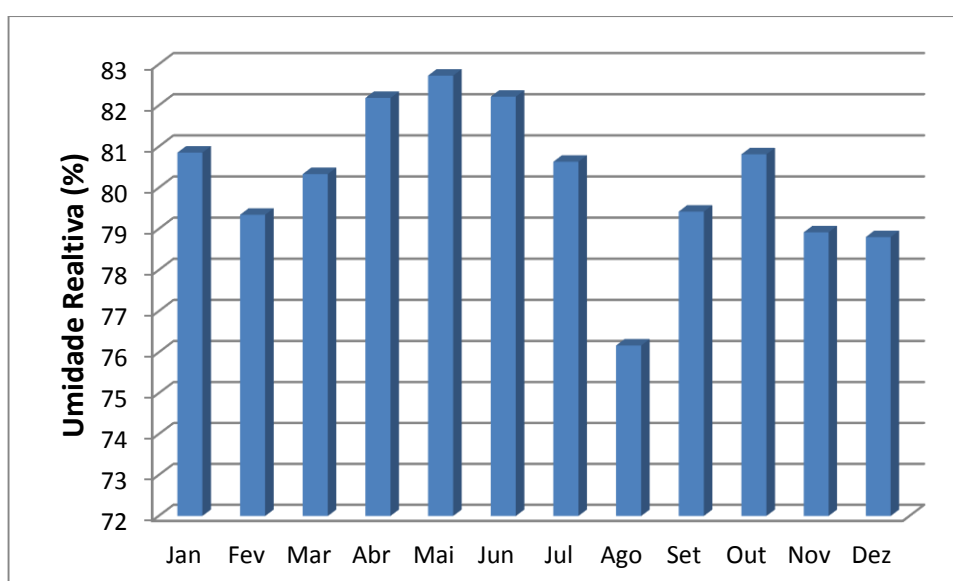
**Figura 11: Gráfico dos valores médios mensais de temperatura média, máxima e mínima dos dados históricos do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. Fonte: INMET (2015).**

Para período a precipitação média anual foi de 1620 mm e o mês com maior precipitação média foi janeiro com 221,2 mm de chuva e o mês de menor precipitação média foi agosto com 83,4 mm de chuva. O verão é a estação onde ocorre o maior número de chuvas registrando tanto o maior número de dias com evento de chuva quanto em pluviometria. Para a região de Curitiba a pluviosidade é bem distribuída o ano todo, sem a presença de estação seca. A Figura 12 apresenta os dados pluviométricos de Curitiba para o período histórico, segundo o INMET.



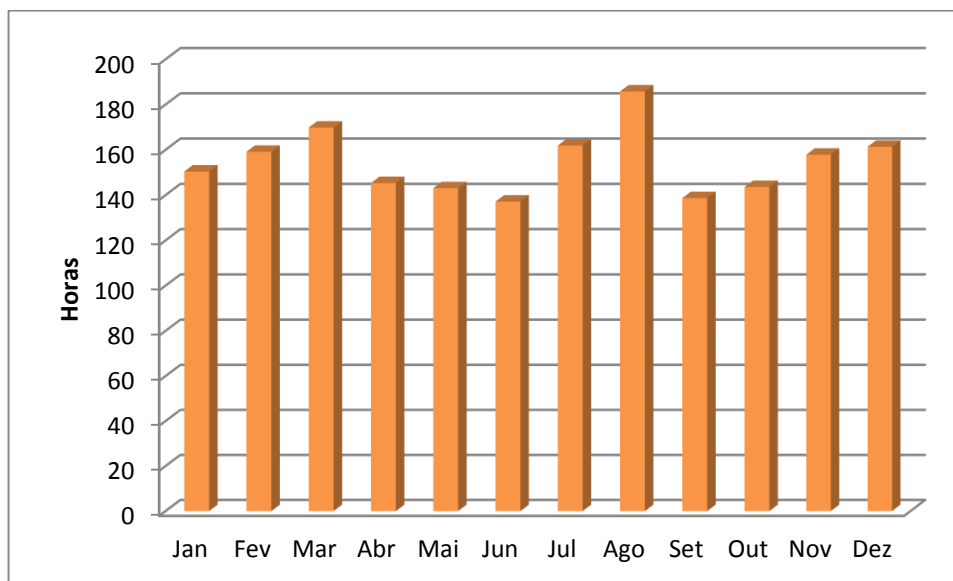
**Figura 12: Dados pluviométricos de Curitiba do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014.**  
**Fonte: INMET (2015).**

A média anual da umidade relativa do ar para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014 foi de 80,2%. Com 76,2% o mês de agosto teve a menor média de umidade relativa e o mês com maior média de umidade foi maio com 82,7% (INMET, 2015). A Figura 13 apresenta as médias de umidade relativa para o período histórico.



**Figura 13: Médias mensais de umidade relativa de Curitiba para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014.**  
**Fonte: INMET, 2015.**

Para o período histórico analisado, o acumulado anual médio de horas de insolação para Curitiba foi de 1854,1 horas, com base na média mensal máxima de insolação foi de 185,8 horas para o mês de agosto e mínima de 137,1 horas para o mês de junho (INMET, 2015). A Figura 14 apresenta as médias mensais de horas de insolação acumulada para o período analisado.



**Figura 14: Horas de insolação média mensal acumulada de Curitiba para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014.**

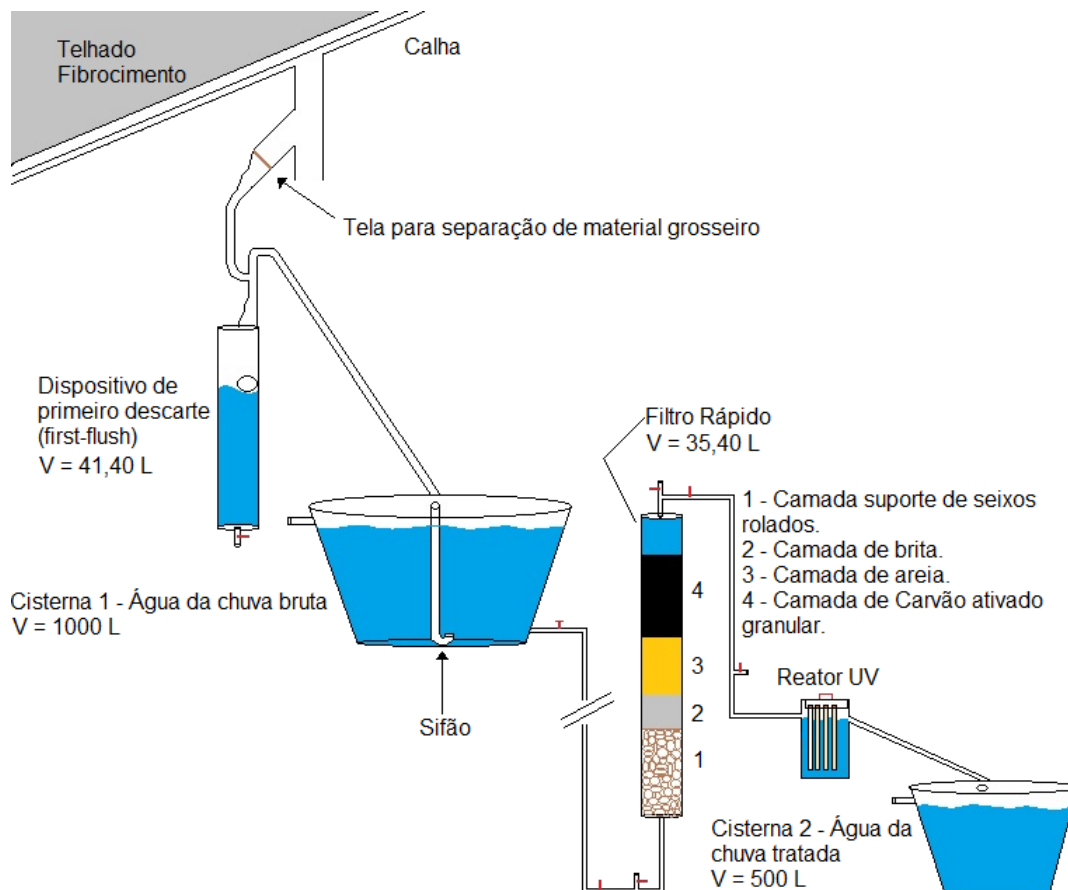
**Fonte: INMET, 2015.**

Em Curitiba os meses de maior evaporação são os meses quentes e com maior insolação e com menor evaporação os meses mais frios e com menor insolação (INMET, 2015).

#### 4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Na Figura 15 é possível observar um desenho esquemático do aparato experimental composto por telhado de fibrocimento com área de captação de 20,70 m<sup>2</sup>, calhas e tubulações, pré-filtro, dispositivo de primeiro descarte, cisterna para armazenamento de água da chuva bruta (cisterna 1), filtro ascendente, reator UV e

cisterna para armazenamento de água tratada (cisterna 2) instalados no bloco IJ do campus Ecoville da UTFPR Curitiba.



**Figura 15: Desenho esquemático do sistema de tratamento de água da chuva desenvolvido.**

A cisterna 1 está instalada no terraço do 2º andar do bloco e o filtro e a cisterna 2 estão instalados no andar térreo, com diferença de 9 m de altura entre a cisterna 1 e o filtro, possibilitando a operação por gravidade do sistema.

A água da chuva que escorre pelo telhado é captada pela calha que a conduz até uma tubulação de PVC de 150 mm.

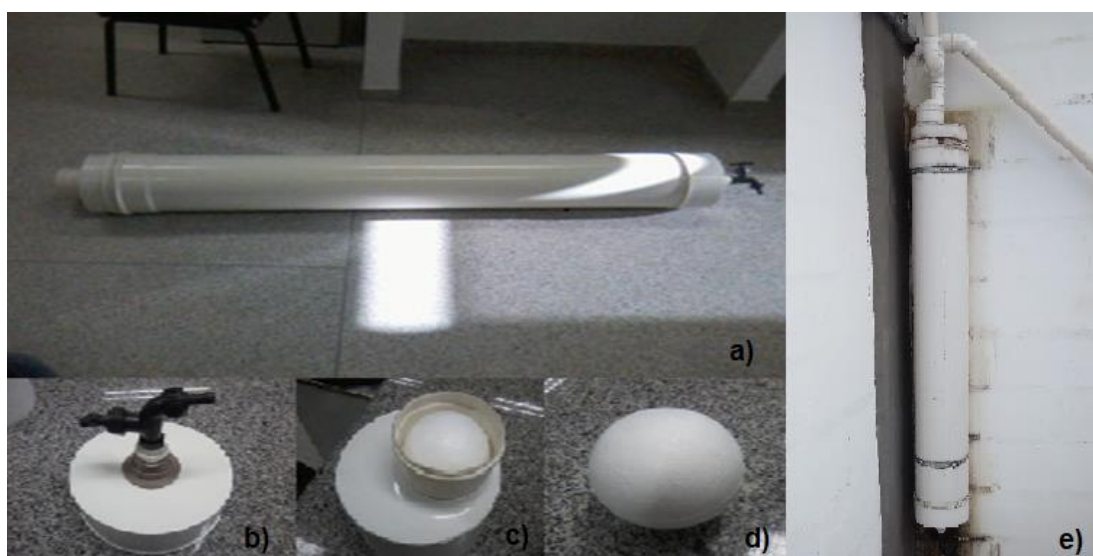
Parte da água da chuva é encaminhada para o sistema de águas pluviais e parte é conduzida para o sistema de tratamento por meio de uma derivação em Y. Antes do tratamento, a água é encaminhada para uma tela para separação (pré-filtro) do material grosseiro (galhos e folhas) e é conduzida para o dispositivo do primeiro descarte por tubulação em PVC de 50 mm.

Neste dispositivo são descartados os primeiros dois milímetros de chuva, e assim que o dispositivo de primeiro descarte tem seu volume completado, a água é

encaminhada para a primeira cisterna por uma conexão em T. Desta cisterna a água é encaminhada para o filtro ascendente por uma tubulação de PVC de 32 mm. Após a filtração, a água é encaminhada para o reator UV e para a segunda cisterna onde é feito seu armazenamento.

#### 4.2.1. Dispositivo de primeiro descarte (first – flush)

O dimensionamento do dispositivo de primeiro descarte (Figura 16) seguiu a norma da ABNT NBR 15.527/2007, segundo a qual devem ser descartados os 2 primeiros milímetros de chuva (água de lavagem do telhado).



**Figura 16: Dispositivo de primeiro descarte utilizado no sistema de tratamento – a) Registro de gaveta para esgotamento; b) Cap com redutor para 100 mm; c) Bola de isopor diâmetro = 12 cm; d) Dispositivo de primeiro descarte instalado no sistema de tratamento.**

O volume de água da chuva a ser descartado foi calculado pela Equação 3.

$$V = 2 \times A \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

V = o volume que o dispositivo de descarte deve possuir, em litros;

A = a área do telhado em m<sup>2</sup>.

Considerando a área de captação do sistema mencionada anteriormente, tem-se que  $A = 20,70 \text{ m}^2$  e, portanto, conclui-se que  $V = 2 \times 20,70 = 41,40 \text{ L}$ .

Este dispositivo está localizado depois de uma tela para separação de material grosseiro e antes da cisterna 1 e foi construído em policloreto de polivinila (PVC), utilizando-se 1,30 m de um tubo de 200 mm com um registro de gaveta em sua parte inferior, para que após cada evento de chuva seja possível seu esgotamento, na parte superior um cap com redução para 100 mm e em seu interior uma bola de isopor com diâmetro de 12 cm para que após o preenchimento do volume do dispositivo a água no seu interior não possa escapar. No cap com redução para 100 mm foi acoplado redução para 50 mm e um Tê que direciona a água para cisterna 1.

A primeira cisterna (Figura 17) de PVC tem volume de 1000 L e é composta por um sifão na entrada da água, para reduzir o efeito de turbilhonamento da água dentro da cisterna e evitar que materiais sedimentados no fundo fiquem novamente em suspensão, e extravasor.

O sifão está instalado a 15 centímetros de distância do fundo da cisterna e a saída de água para o restante do sistema de tratamento está localizado também a 5 cm do fundo.

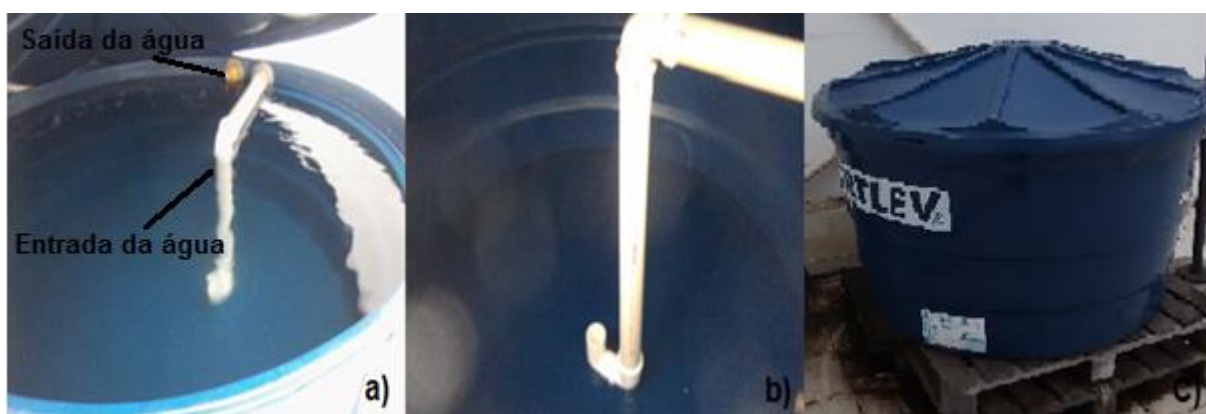


Figura 17: Cisterna 1 – Armazenamento de água da chuva bruta – a) Cisterna 1; b) Sifão; c) Cisterna fechada.

O volume total de armazenamento de água da chuva de 1500 L foi adotado com base na utilização mensal da água da chuva para lavagem de pisos, calçadas e roupas de uma residência padrão (um casal e dois filhos), que é de aproximadamente 1140 L/mês. Para manter a higiene do sistema de tratamento foi

realizada a limpeza das cisternas a cada 6 meses, num total de 2 lavagens durante o período de realização da pesquisa, de acordo com instruções do fabricante descritas na tampa das mesmas.

Segundo MARGOLAINE (2010), a segurança sanitária pode estar associada às condições de higiene do reservatório de água. Então, a frequência na limpeza do reservatório constitui um fator importante para o uso segura da água da chuva.

#### 4.2.2. Filtro ascendente

O filtro utilizado é similar a um filtro russo (filtro ascendente), nesse tipo de filtro o acúmulo de impurezas não acontece somente do contato da água com a primeira camada, pois a filtração ocorre no sentido do material filtrante mais grosso para o mais fino, e por tanto, toda a camada filtrante trabalha no processo de clarificação da água. Filtros ascendentes são utilizados para águas pouco poluídas, pouco contaminadas, de baixa turbidez, de baixo teor de sólidos suspensos e sem variações rápidas de qualidade (AZEVEDO NETTO, 1972).

Sabe-se pela literatura que a água da chuva geralmente tem boa qualidade, e que essa qualidade se enquadra na qualidade requerida para filtração em fluxo ascendente. Nesse contexto, foi escolhido utilizar filtração ascendente para o tratamento da água da chuva, não somente pela boa qualidade da água da chuva, mas também para aproveitar a carga hidráulica de 9 m proporcionada pela diferença de altura entre a cisterna 1 e o filtro.

O filtro ascendente (Figura 18) foi construído em PVC com área transversal de  $0,0177 \text{ m}^2$  e volume de 35,40 L em tripla camada, composto por camada suporte de 0,50 m constituída de seixos rolados com diâmetro variando de 2,5 a 3,8 cm e camada filtrante composta por 0,15 m de brita, 0,25 m de areia e 0,55 m de carvão ativado granular doado pela Empresa Veolia Walter Solutions. Na Figura 19 estão representados os materiais filtrantes utilizados na construção do filtro.

Nessa configuração de filtro, a brita e a areia tem função de filtrar o material particulado presente na água da chuva e o carvão ativado assume a função de realizar a adsorção de espécies químicas dissolvidas na água, como íons inorgânicos e cátions metálicos.



Para calcular a massa necessária para preencher a altura correspondente a cada material filtrante foi utilizada a Equação 4.

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_a \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

m = massa do material filtrante (g);

$\rho_a$  = massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

r = raio do filtro (cm);

h = altura da camada (cm).

Foi utilizada a massa unitária para o cálculo da massa necessária de cada material filtrante para construir o filtro, pois a massa unitária é a massa real do agregado, ela engloba todos os espaços vazios existentes entre os grãos. As massas utilizadas de cada material filtrante estão descritos na Tabela 18.

**Tabela 17: Massas dos materiais filtrantes utilizados para a construção do filtro.**

<b>Material</b>	<b>Massa (g)</b>
<b>Seixo rolado</b>	12370,4
<b>Brita</b>	3658,4
<b>Areia</b>	6494,5
<b>CAG</b>	6171,7



**Figura 18: Filtro ascendente.**



**Figura 19: Materiais filtrantes utilizados na construção do filtro ascendente – a) Seixo rolado; b) Brita; c) Areia; d) Carvão ativado granular.**

Areia, brita e seixo rolado foram lavados com água e secos em estufa (Lucadema N 1040) a 100 °C por um período de 24 horas, antes da construção do filtro, para diminuir a turbidez inicial e o filtro chegar mais rápido à maturação, e o carvão ativado foi regenerado por um processo de regeneração térmica.

O tempo de carreira de filtração pode ser acompanhado por dois parâmetros físicos, perda de carga e aumento da turbidez. Neste trabalho o tempo de carreira de filtração foi avaliado através da turbidez. Para cada coleta de amostras, para a avaliação do tratamento da água da chuva, a turbidez de saída do filtro foi medida. Ao final de cada carreira de filtração deve ser realizada uma lavagem do filtro no mesmo sentido da filtração com água de abastecimento da rede pública. Durante o período de estudo do tratamento não ocorreu um aumento significativo da turbidez

de saída do filtro e, por tanto, não foi necessário realizar a lavagem do filtro, devido à boa qualidade da água da chuva afluyente. A não necessidade da lavagem do filtro é devido a sua configuração ascendente, pois os filtros ascendentes proporcionam maiores tempos de carreira.

A vazão do filtro foi obtida controlando-se o tempo necessário para que a água que saia do filtro enchesse uma proveta com volume de 1 L no intervalo de 15 min durante uma hora. Este ensaio foi realizado no início e no fim da operação do filtro. A vazão média obtida foi de  $1,44 \pm 0,05 \text{ m}^3/\text{dia}$ . E dividindo-se a vazão do filtro por sua área transversal ( $\text{m}^2$ ) é obtida a sua taxa de filtração que foi de  $81,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

A partir da taxa de filtração obtida é possível classificar o filtro ascendente estudado como sendo um filtro intermediário, pois as taxas de filtração para filtros lentos são de 3 a  $9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e para filtros rápidos são de 120 a  $300 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  (DI BERNARDO et al., 2003).

#### 4.2.3. Caracterização dos materiais filtrantes

Para caracterização dos materiais filtrantes foram feitos ensaios de granulometria, índice de vazios, massa específica, pH, teor de material volátil, teor de cinzas, teor de umidade e massa unitária para areia, brita e carvão ativado e número de iodo para o carvão ativado. Todos os ensaios foram realizados em triplicata no Laboratório de Saneamento da UTFPR – Ecoville, com exceção do ensaio de granulometria que foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR - Ecoville. A Tabela 19 apresenta os parâmetros e as metodologias de referência utilizadas para a caracterização dos materiais filtrantes. As análises realizadas para a caracterização dos materiais filtrantes são descritas no Apêndice A.

Tabela 18: Parâmetros e metodologias utilizadas na caracterização dos materiais filtrantes.

Parâmetro	Areia	Brita	CAG	Norma	Unidade
Granulometria	X	X	X	ABNT NBR NM 248 (2001)	-
pH	X	X	X	ASTM D 3838-80 (1999)	-
Teor de Umidade	X	X	X	ASTM D 2867-04 (2004)	%
Teor de Material Volátil	X	X	X	ASTM D 5832-98 (2003)	%
Teor de Cinzas	X	X	X	ASTM D 2866-94 (1999)	%
Massa Específica	X	X	X	ABNT NBR NM 23 (2001)	g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária	X	X	X	ABNT NBR 52 (2009) Areia ABNT NBR 53 (2009) Brita. ABNT NBR 12076 (1991) CAG.	g/cm <sup>3</sup>
Número de lodo			X	ABNT NBR 12073 (1991)	mg/g
Índice de Vazios	X	X	X	ABNT NBR 45 (2006)	%

A Tabela 20 lista os principais equipamentos utilizados para a caracterização dos materiais filtrantes.

**Tabela 19: Equipamentos utilizados na caracterização dos materiais filtrantes.**

<b>Equipamento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Estufa	Lucadema	N 1040
Mufla	Zezimaq	2000 G
Agitador Mecânico de Peneiras	Bertel	N 1726
Balança 40 g – 20 Kg	Lider	B 160
Balança Hidrostática	Marte	1020
Balança Eletrônica de Precisão	Precisa	-
PHmetro	pHteck	pHS – 3E

As Figuras 20, 21, 22, 23 e 24 demonstram os principais equipamentos utilizados para a caracterização dos materiais filtrantes.

**Figura 20: Estufa Lucadema N 1040.**

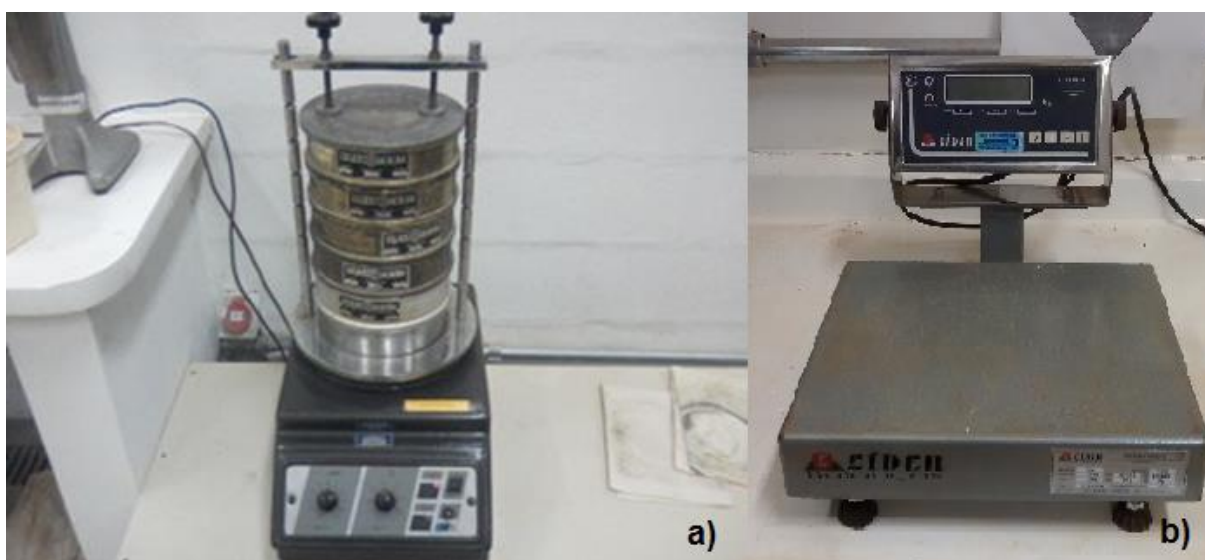


Figura 21: Agitador mecânico de peneiras e balança – a) Agitador mecânico de peneiras Bertel N 1726; b) Balança Lider B 160.



Figura 22: Balança eletrônica de precisão, marca Precisa.



**Figura 23: Mufra Zezimaq 2000 G.**

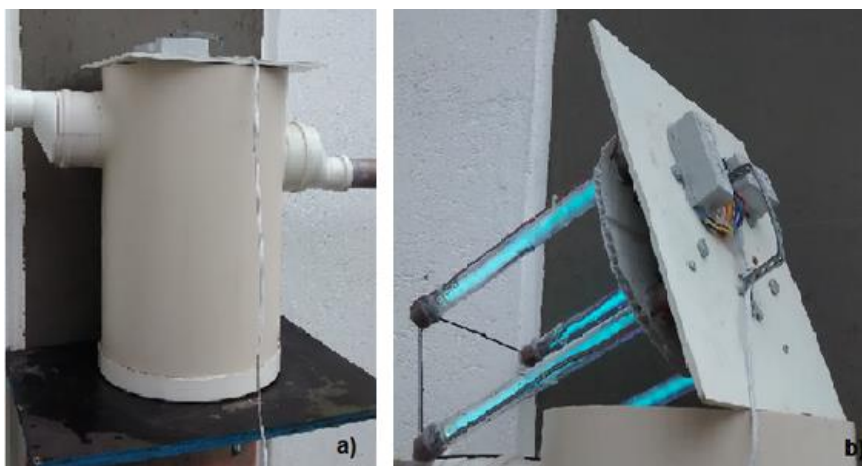


**Figura 24: Balança Hidrostática Marte 1020.**

#### 4.2.4. Reator ultravioleta

Para construção do reator UV (Figura 25) foi utilizada uma caixa de gordura cilíndrica de PVC com volume útil de 19,8 L e quatro lâmpadas UV germicidas (Figura 25) de 8 W cada. A desinfecção ultravioleta utilizada no trabalho foi feita por

contato direto com a água da chuva, então cada lâmpada foi colocada dentro de um tubo de quartzo e vedada com silicone e dois caps de PVC de 25 mm. As lâmpadas foram fixadas na tampa da caixa de gordura e ligadas em série. Cuidado com a operação do reator UV, pois o contato visual direto com a lâmpada ligada pode ocasionar danos aos olhos.



**Figura 25: Reator ultravioleta – a) Reator UV instalado no sistema de tratamento; b) Lâmpadas fixadas na tampa do reator UV.**

As lâmpadas UV devem ser limpas ao final de cada carreira de filtração, pois o acúmulo de material suspenso, presente na água, no tubo de quartzo pode diminuir a eficiência da desinfecção.

A água após passar por desinfecção é direcionada e armazenada na cisterna 2, a qual é de PVC com volume de 500 L com extravasor instalado.

Para obter a dose de radiação ultravioleta utilizada, primeiro calculou-se o tempo de detenção hidráulica do reator UV pela Equação 5:

$$\text{TDH} = V/Q \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

TDH é o tempo de detenção hidráulica (min);

Q é a vazão do reator (que é igual a vazão do filtro) ( $\text{m}^3/\text{min}$ );

V é o volume do reator ( $\text{m}^3$ ).

Para mensurar a dose de radiação UV foi utilizada a intensidade da radiação de  $0,57 \text{ mW}/\text{cm}^2$  para uma lâmpada UV de 8W encontrada por BASTOS (2007),



como o reator utilizado na pesquisa contém 4 lâmpadas UV de 8 W multiplica-se este valor da intensidade por 4.

O tempo de detenção hidráulica obtido para o reator foi de 20 min, portanto o tempo de exposição da água à radiação UV é de 1200 s. Calculou-se a dose de radiação utilizada pela Equação 1 e foi obtida uma dose de 684 mW.s/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3. ACOMPANHAMENTO PLUVIOMÉTRICO

Para acompanhar a pluviometria da região da UTFPR – Ecoville durante o período de pesquisa foi construído um pluviômetro caseiro (Figura 26) do tipo Ville de Paris (mais comum no Brasil) constituído por:

- Área de captação, reservatório e registro para esgotamento.



**Figura 26: Pluviômetro caseiro.**

O reservatório foi construído com uma garrafa de politereftalato de etileno (PET), com volume de 10 L e abertura padrão com área de 400 cm<sup>2</sup>. A distância da área de captação (abertura do pluviômetro) em relação ao chão deve ser de 1,50 m.

A quantidade de chuva foi determinada pela medida do volume de água armazenada no reservatório, com uma proveta. Esta medida foi realizada ao final de cada dia com evento de chuva para evitar deformação do reservatório do pluviômetro pelo excesso de água da chuva em seu interior.

O volume de chuva obtido na proveta foi dividido pela área de captação do pluviômetro, ambos em milímetros, para obter a quantidade de precipitação em milímetros de chuva (Equação 6).

$$P = \frac{V}{A} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

P = quantidade de precipitação (mm);

V = volume da chuva determinado na proveta (mm<sup>3</sup>);

A = área de captação do pluviômetro (mm<sup>2</sup>).

#### 4.4 PONTOS DE AMOSTRAGEM

Para realizar a análise da qualidade da água da chuva pós-tratamento e saber a contribuição de cada processo do tratamento sobre a qualidade dessa água, é necessário identificar pontos de coleta que possam mostrar dados significativos quanto à comparação.

Portanto, foi estabelecido que, deveriam ser feita amostragens da chuva *in natura* (chuva atmosférica), amostragens da água do dispositivo de primeiro descarte (first-flush), amostragens da água da cisterna 1 (água da chuva bruta) e da água da cisterna 2 (água após tratamento).

As amostras de cada ponto eram coletadas ao final de cada dia com presença de evento de chuva. Assim, os reservatórios estavam sempre cheios no momento da realização da amostragem.

A amostra da chuva *in natura* era coletada do pluviômetro após a leitura do volume da precipitação diária, o volume era medido com o auxílio de uma proveta e

dessa proveta era retirada uma amostra para análise. A amostra do first-flush foi coletada através do registro que fica na parte inferior desse dispositivo com o auxílio de um recipiente de volume de 10 L, o volume de água coletado era homogeneizado, com a agitação do conteúdo com um bastão de vidro, e retirada uma amostra dessa água. As amostragem das cisternas 1 e 2, foram realizadas coletando-se a água aproximadamente 10 cm abaixo da superfície da água reservada de cada cisterna com o auxílio de um béquer.

Na Figura 27 estão os 4 pontos de amostragem do sistema de tratamento de água da chuva. A letra a) corresponde ao reservatório do pluviômetro de onde eram coletadas as amostras da chuva *in natura*, a letra b) é o registro do dispositivo de primeira descarga por onde eram coletadas as amostras da água do *first-flush*, a letra c) é a cisterna 1 de onde eram coletadas as amostras de água da chuva bruta e a letra d) é a cisterna 2 de onde eram coletadas as amostras de água da chuva tratada.



**Figura 27: Pontos de amostragem do sistema de tratamento de água da chuva – a) Ponto de coleta da amostra da chuva *in natura*; b) Ponto de coleta da amostra de água do *first-flush*; c) Ponto de coleta da amostra da água da chuva bruta; d) Ponto de coleta da amostra da água da chuva após tratamento.**

#### 4.5 PARÂMETROS QUALITATIVOS DE ANÁLISE

Foram selecionados parâmetros físico-químicos e microbiológicos para fim de comparação que apresentassem dados representativos sobre contaminantes e que pudessem estabelecer uma relação de comportamento durante o período de estudo a fim de avaliar a eficiência do tratamento aplicado.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados foram pH, temperatura, cor, turbidez, oxigênio dissolvido, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, coliformes totais e termotolerantes e *E. coli*.

As análises físico-químicas foram todas realizadas no Laboratório de Saneamento da UTFPR, campus Curitiba, sede Ecoville e as análises microbiológicas, realizadas no laboratório de Tecnologia em Meio Ambiente e Química do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) do estado do Paraná, pelo método de tubos múltiplos.

A Tabela 21 lista os equipamentos e os métodos utilizados para as análises físico-químicas e microbiológicas.

**Tabela 20: Métodos e equipamentos utilizados nas análises físico-químicas e microbiológicas.**  
(continua)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método</b>	<b>Nº do Método</b>	<b>Faixa</b>	<b>Equipamento</b>
<b>pH</b>	-	Potenciométrico	SM 4500-H <sup>+</sup>	-	pHmetro portátil pH 1700
<b>Temperatura</b>	°C	-	-	-	Termômetro de espeto
<b>Cor</b>	UPC	Análise fotométrica.	12	-	Hanna HI 83099
<b>Turbidez</b>	UNT	Nefelométrico	SM 2130 B	-	Turbidímetro Policontrol AP 2000
<b>OD</b>	mg/L	Polarografia	-	-	Oxímetro Lutron DO 5519
<b>DQO</b>	mg/L	Análise fotométrica.	35 Faixa baixa	0,00 a 150 mg/L	Hanna HI 83099
<b>Amônia</b>	mg/L	Análise fotométrica.	4 Faixa baixa	0,00 a 3,00 mg/L	Hanna HI 83099
<b>Nitrito</b>	mg/L	Análise fotométrica.	31 Faixa baixa	0,00 a 1,15 mg/L	Hanna HI 83099

<b>Nitrato</b>	mg/L	Análise fotométrica.	29	0,00 a 30,0 mg/L	Hanna HI 83099
<b>Fosfato</b>	mg/L	Análise fotométrica.	39 Faixa baixa	0,00 a 2,50 mg/L	Hanna HI 83099
<b>Sulfato</b>	mg/L	Análise fotométrica.	46	0 a 100 mg/L	Hanna HI 83099
<b>Coliformes Totais</b>	NMP/100 mL	Tubos Múltiplos	SM 9221 B	-	-
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	NMP/100 mL	Tubos Múltiplos	SM 9221 E	-	-
<b><i>E. coli</i></b>	NMP/100 mL	Tubos Múltiplos	SM 9221 F	-	-

(Conclusão)

As análises dos parâmetros pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido e todos os microbiológicos foram realizadas segundo metodologia estabelecida no *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2012). As análises dos parâmetros cor, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato foram realizadas no equipamento Fotômetro Multiparâmetro e DQO de bancada HI 83099 da Hanna (Figura 28) e seguiram metodologia descrita na Tabela 22, que estão no manual deste equipamento.

Tabela 21: Metodologia e precisão dos parâmetros analisados no equipamento Hanna HI 83099.

Parâmetro	Metodologia	Precisão
<b>Amônia</b>	Nessler, adaptado de <i>ASTM Manual of Water and Environmental Technology</i> , D-1426-92.	$\pm 0.04$ mg/L $\pm 4\%$ de leitura a 25 °C
<b>Nitrito</b>	Adaptado de EPA diazotação 354.1.	$\pm 0.06$ mg/L $\pm 4\%$ de leitura a 25 °C
<b>Nitrato</b>	Adaptado de redução de cádmio.	$\pm 0.5$ mg/L $\pm 10\%$ de leitura a 25 °C
<b>Fosfato</b>	Adaptado do método do ácido ascórbico.	$\pm 0.04$ mg/L $\pm 4\%$ de leitura a 25 °C
<b>Sulfato</b>	Precipitação de sulfato com cristais de cloreto de bário.	$\pm 5$ mg/L $\pm 3\%$ de leitura a 25°C
<b>DQO</b>	Adaptado de USEPA 410.4.	$\pm 5$ mg/L $\pm 5\%$ de leitura a 25°C



Figura 28: Fotômetro Multiparâmetro e DQO de bancada HI 83099.

#### 4.6 MÉTODOS DE ANÁLISE

As amostras de coliformes totais e termotolerantes foram coletadas pelo autor em dois pontos do sistema de tratamento água da cisterna 1 (água da chuva bruta) e água da cisterna 2 (água da chuva após tratamento), utilizando frascos

esterilizados (Figura 29) fornecidos pelo laboratório do SENAI, sem contato direto com a água. As amostras foram levadas no mesmo dia de coleta ao laboratório para a execução das análises. Foram realizadas 4 coletas, em dias não consecutivos, dos dois pontos de amostragem para a análise microbiológica.



**Figura 29: Frascos esterilizados fornecidos pelo SENAI para coleta das amostras de água da chuva.**

As análises de cor, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato e demanda química de oxigênio (DQO) foram realizadas para quatro pontos do sistema de tratamento: água do pluviômetro (chuva *in natura*), água do *first-flush*, água da cisterna 1 e água da cisterna 2. Para a análise destes parâmetros no equipamento Hanna HI 83099 foram utilizados kits fabricados pela Hanna Instruments (Figura 30) descritos no manual do equipamento.



**Figura 30: Exemplos de kits utilizados nas análises no equipamento Hanna.**

As análises da temperatura, pH e OD foram realizadas *in loco* para os quatro pontos de amostragem do sistema de tratamento. A análise da turbidez foi realizada tanto para a avaliação do tratamento como para controlar o tempo da carreira de filtração e também foi realizada para os quatro pontos de amostragem do sistema de tratamento. Os equipamentos pHmetro, oxímetro e turbidímetro (Figura 31) eram calibrados antes das leituras dos pontos de amostragem.



Figura 31: Equipamentos utilizados para a leitura de pH, oxigênio dissolvido e turbidez – a) pHmetro portátil pH 1700; b) Oxímetro Lutron DO 5519; c) Turbidímetro Policontrol AP 2000.

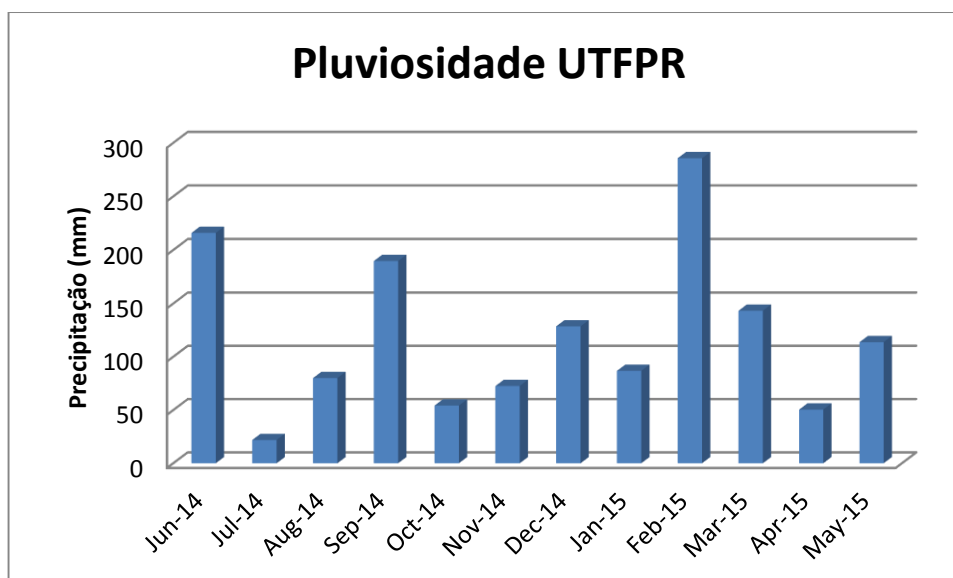
Para as análises físico-químicas do sistema de tratamento foram feitas 8 coletas, em dias não consecutivos, das águas dos pontos de amostragem. Todas as coletas e análises foram realizadas no final do dia com evento de chuva.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos da região da sede Ecoville da UTFPR durante o período de junho/2014 a maio/2015 estão representados na Figura 32.





**Figura 32: Dados pluviométricos da região da UTFPR sede Ecoville do período de junho/2014 a maio/2015.**

Com os doze meses de pluviosidade estudados da região, é possível observar que os meses com maiores índices pluviométricos foram junho de 2014 (216 mm) e fevereiro de 2015 (286 mm) e os meses de menores índices foram julho de 2014 (22 mm) e abril de 2015 (50 mm).

A pluviosidade foi bem distribuída durante o período estudado e o total de chuvas do período foi de 1442,5 mm. Comparando-se os dados pluviométricos da série histórica do INMET para a região de Curitiba do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014 com os dados pluviométricos da pesquisa, é possível notar que a distribuição de chuvas está parecida, sendo o verão o período com maior acumulado de chuvas e o inverno com o menor acúmulo de chuvas.

A diferença observada está no acumulado de chuvas (em mm) para cada mês, pois a localidade da estação do INMET não é a mesma que a do presente estudo e a quantidade de chuvas varia para cada região, e também o gráfico pluviométrico dos dados históricos consideram 11 anos o que eleva a média acumulada de chuvas para cada mês ao contrário dos dados levantados na pesquisa que so levam em consideração o período de 1 ano.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES

Um resumo dos resultados da caracterização dos materiais filtrantes areia, brita e carvão ativado granular é apresentado na Tabela 23.

**Tabela 22: Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da caracterização físico-química da areia, brita e CAG.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Carvão Ativado</b>
<b>pH</b>	6,8 ± 1,0	8,8 ± 0,1	6,7 ± 0,08
<b>Teor de Material Volátil (%)</b>	1 ± 0,003	2,96 ± 0,1	51 ± 0,03
<b>Teor de Umidade (%)</b>	2,4 ± 0,001	0,05 ± 0,007	49 ± 0,01
<b>Teor de Cinzas (%)</b>	1,11 ± 0,001	6,96 ± 0,04	6,25 ± 0,27
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,61 ± 0,02	2,69 ± 0,1	1,27 ± 0,01
<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,47 ± 0,03	1,38 ± 0,003	0,63 ± 0,01
<b>Índice de vazios (%)</b>	43,8 ± 1,0	48,8 ± 0,1	33 ± 0,02
<b>Número de iodo (mg/g)</b>	-	-	665,86 ± 0,01

Não foram verificados na literatura dados do pH, teor de material volátil, teor de umidade e teor de cinzas para areia e brita e nem sobre sua influência no processo de filtração. Porém optou-se por determiná-los visto que foram realizados para o carvão ativado.

Na Tabela 24 são apresentados os valores de massa específica, massa unitária e índice de vazios encontrados na literatura para areia e brita.

**Tabela 23: Valores de massa específica, massa unitária e índice de vazios da areia e brita, obtidos por diferentes autores.**

<b>Material filtrante</b>	<b>Autor</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Índice de vazios (%)</b>
<b>Areia regular</b>	TUTIKIAN e MOLIN, 2011	2,64	1,53	-
<b>Areia natural</b>	DRAGO et al., 2009	2,63	1,45	-
<b>Areia de britagem</b>		2,80	1,45	-
<b>Brita</b>	ARAÚJO e DIAS, 2011	2,80	1,50	-
<b>Areia natural</b>		2,62	1,44	44,8
<b>Brita</b>		2,63	1,44	45,12

Os valores de massa específica e massa unitária (Tabela 23), obtidos para a areia e a brita são similares aos valores encontrados na literatura (Tabela 24).

Segundo NBR NM 45 (2006) define-se como massa unitária a relação entre a massa do agregado lançada no recipiente e o volume deste recipiente, considerando-se os vazios entre os grãos. Assim o valor da massa unitária do agregado pode auxiliar na determinação da massa de cada material filtrante necessária para preencher a altura correspondente dentro do filtro.

Já a NBR NM 23 (2001) define massa específica do agregado como sendo a massa da unidade de volume do material, considerando, portanto, a massa e volume dos grãos incluindo os poros. Este valor pode auxiliar na área superficial dos grãos dos materiais filtrantes em que serão aderidas as impurezas.

Pode-se observar na Tabela 23 que os valores obtidos para teor de material volátil, teor de umidade e teor de cinzas para areia e brita foram baixos (menores que 7%). O maior valor de pH foi obtido para a brita ( $8,8 \pm 0,1$ ), enquanto que os valores obtidos de pH para a areia ( $6,7 \pm 1,0$ ) e carvão ativado ( $6,8 \pm 0,08$ ) foram bem próximos.

O pH ácido ou básico do carvão ativado depende da sua fabricação e dos grupos químicos ligados em sua superfície. Observando-se a Tabela 23 pode-se confirmar a característica alcalina do carvão ativado utilizado no trabalho.

VALIX et al. (2004) obtiveram valores de pH entre 6,4 e 7,4, similares aos valores obtidos nesta pesquisa, para carvões vegetais de bagaço de cana ativados de formas diferentes, o que conferiu as estes carvões ativados superfícies fracamente ácidas ou básicas. Os autores afirmam que a natureza química das superfícies do carvão ativado são interferidas a partir da acidez ou do pH do carbono.

GARG et al. (2004) obtiveram valores de pH na faixa de 6,5 – 7,5 para carvão vegetal da casca de coco, valores que também são similares aos valores obtidos para o carvão ativado granular utilizados nesta pesquisa.

Segundo BANSAL e GOYAL (2005) a partir da característica da superfície do material, se esta é básica ou ácida, podem-se determinar suas propriedades adsorptivas e também suas reações de decomposição.

Frequentemente é requerido o teor de umidade do carvão ativado para definir e expressar suas propriedades com relação ao peso líquido de carbono. Segundo PIZA (2008) a umidade do carvão ativado não deve ultrapassar de 8%, carvões ativados que ultrapassam esta porcentagem de umidade apresentam um

indicativo de que em sua superfície estão presentes grupos químicos oxidados. O carvão ativado estudado obteve um valor de 49% de umidade, indicando a presença de destes grupos químicos em sua superfície, valor bem distinto do valor obtido por LOUREIRO (2012) que verificou 14,5% de teor de umidade na amostra de carvão vegetal granular a base de casca de coco.

ZAGO (2010) obteve variação de 7,86 a 10,96% de teor de umidade em carvões vegetais e KALDERIS et al. (2008) obteve 4,2 a 6,1% em carvão vegetal de bagaço de cana e casca de arroz, respectivamente.

Cinzas são impurezas acrescidas ao carvão ativado durante a sua fabricação e a procedência dessas impurezas é o resultado da combinação entre os materiais orgânicos e inorgânicos. Um baixo teor de cinzas acarreta no maior poder de adsorção (PIZA, 2008). O teor de cinzas do carvão ativado comercial segundo JAGUARIBE et al. (2005) é de 15%. O carvão ativado utilizado na pesquisa tem um teor de cinzas de 6,25%, o que o caracteriza com alto poder de adsorção.

LOUREIRO (2012) obteve 11,03% de teor de cinzas para amostras de carvão ativado. KALDERIS et al. (2008) obtiveram teor de cinzas de 25,7% e 36,5% para carvão a base de bagaço de cana e carvão vegetal a base de casca de arroz, respectivamente. O que indica que o poder de adsorção dos carvões utilizados pelos autores é menor do que o carvão ativado utilizado neste trabalho.

As combinações do carbono com outros átomos que possibilitam a formação de gases é o que dá origem à presença de materiais voláteis. Segundo GONTIJO (1996) os parâmetros físicos afetados diretamente pelo teor de material volátil são a área superficial e a distribuição de porosidade. Valores elevados de teor de material volátil implicam em valores baixos de área superficial.

Se o carvão ativado apresentar um alto teor de voláteis significa que ele apresenta baixa área superficial, comprometendo a sua capacidade de adsorção. O resultado de 51% obtido para material volátil indica que o carvão ativado estudado apresenta baixa área superficial específica.

ZAGO (2010) obteve valores de material volátil variando de 6,54 a 11,97% para carvões vegetais, valores bem diferentes do obtido neste trabalho.

O número de iodo é utilizado como indicador padrão da capacidade de absorção em diferentes materiais. GONZÁLES et al. (2014) definem o número de iodo como sendo a quantidade de iodo em mg adsorvido por 1 g de carbono.

Para uma boa capacidade de absorção do carvão ativado este número não deve ser menor que 500 mg/g de carvão (LOUREIRO, 2012). O valor do número de

iodo, de 665,86 mg/g, obtido para o carvão ativado usado no filtro rápido mostra a sua boa capacidade de absorção. Para PIZA (2008) quanto maior o número de iodo maior será a capacidade de adsorção do carvão ativado.

O valor do número de iodo obtido por GONZÁLES et al. (2014) foi de 1700 mg/g para carvões vegetais a base de bambu.

Os resultados dos ensaios granulométricos da areia e da brita estão representados nas Figuras 34 e 35.

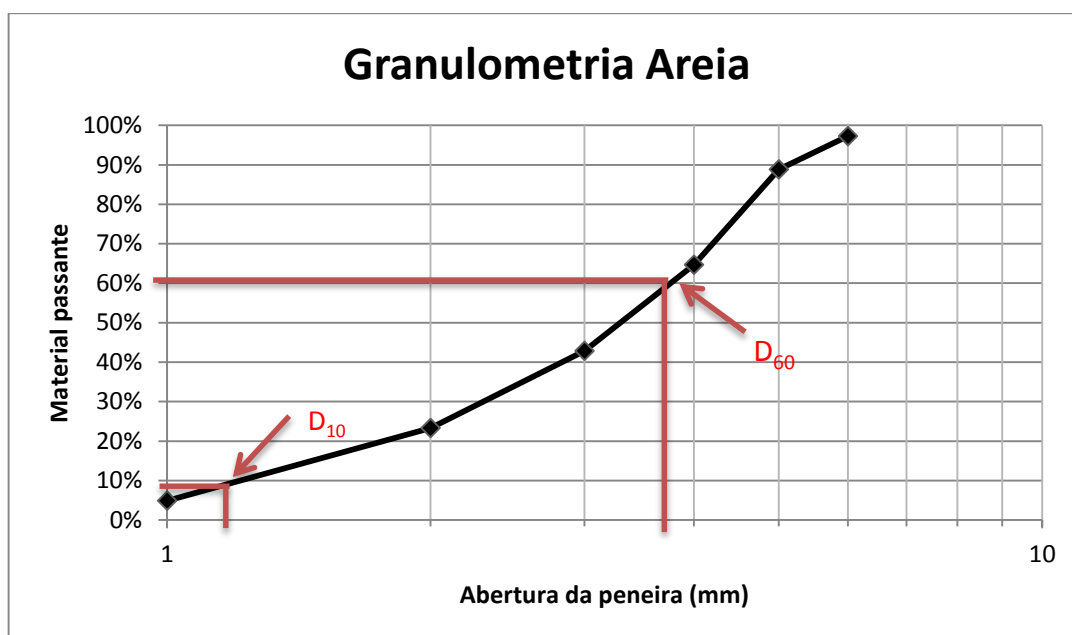


Figura 33: Curva granulométrica para a areia.

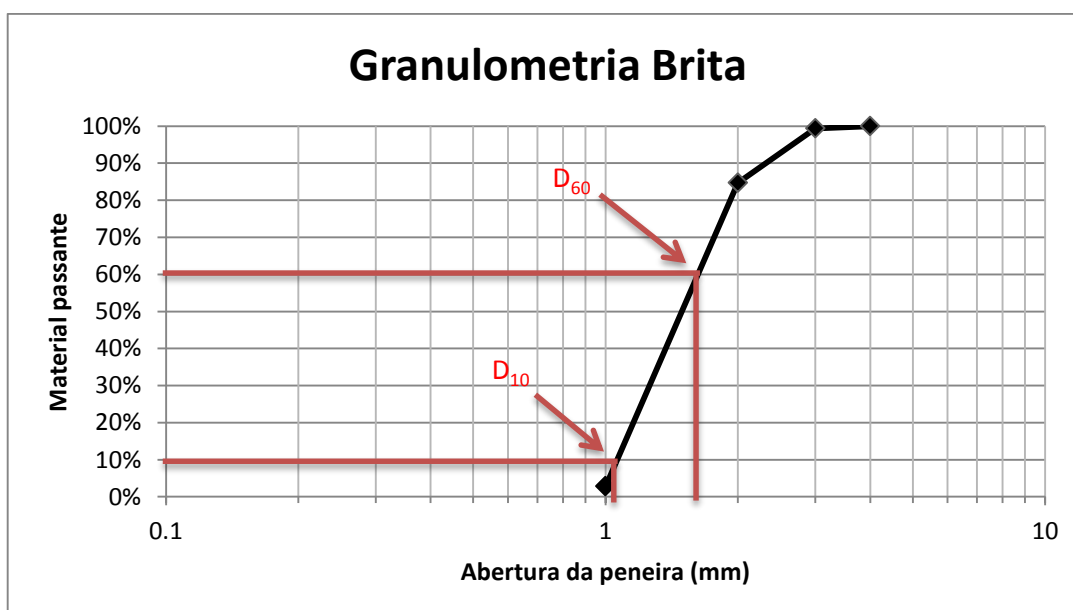


Figura 34: Curva granulométrica para brita.

Na Tabela 25, estão os dados granulométricos obtidos através dos ensaios de granulometria da areia e brita.

**Tabela 24: Dados granulométricos da areia e da brita.**

<b>Material</b>	<b>Diam. Min. (mm)</b>	<b>Diam. Máx. (mm)</b>	<b>D<sub>10</sub> (mm)</b>	<b>D<sub>60</sub> (mm)</b>	<b><math>\frac{D_{60}}{D_{10}} = CU</math></b>
<b>Areia</b>	0,15	4,76	0,27	1,32	4,9
<b>Brita</b>	4,76	19,1	7,5	14,6	1,9

Através da curva granulométrica dos materiais pode-se obter diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ), que corresponde ao tamanho equivalente a 10% em peso do material que passa pela abertura da peneira e o diâmetro correspondente a 60% ( $D_{60}$ ) em peso do material que passa pela abertura da peneira (a abertura da peneira para  $D_{10}$  e  $D_{60}$  depende do material granular utilizado). Segundo SEZERINO (2006) existem recomendações na literatura para a areia que seria um  $d_{10}$  superior ou igual a 0,20 mm.

O coeficiente de uniformidade é a relação entre  $D_{60}$  e  $D_{10}$ . A penetração de impurezas ao longo do meio está relacionada intimamente a esse coeficiente. Recomenda-se um coeficiente de uniformidade menor ou igual a 5 para a areia (SEZERINO, 2006). CAPUTO (1996) considera muito uniforme materiais cujo coeficiente de uniformidade seja menor ou igual a 5, uniformidade média com coeficiente de uniformidade entre 5 e 15 e desuniforme quando o coeficiente de uniformidade for maior que 15.

Os materiais filtrantes empregados no filtro de estudo tiveram grau de uniformidade de 4,9 para areia e de 1,9 para brita, o que os classifica como muito uniformes. SEZERINO (2006) obteve coeficiente de uniformidade para areia de 5,70 e coeficiente de uniformidade para brita de 1,89 na caracterização de seus materiais filtrantes.

COELHO e DI BERNARDO (2012) obtiveram coeficientes de uniformidade de 2,0 e  $\leq 1,7$  para areia e carvão ativado granular, respectivamente. E BRINCK (2009) obteve coeficientes de uniformidade de 1,76 e 1,97 para diferentes areias e 1,30 e 1,96 para diferentes antracitos.

Quanto menor o valor de CU, mais uniforme é o material granular e mais profundo será a penetração de impurezas e maior será o tempo de carreira de filtração (DI BERNARDO, 2003).

O carvão ativado granular possui distribuição granulométrica densa, isto é, partículas com mesma granulometria, suas partículas apresentam diâmetro de 0,8 mm e sendo o material mais uniforme empregado na construção do filtro.

A Tabela 26 apresenta as características granulométricas de materiais filtrantes obtidas por outros autores.

**Tabela 25: Características granulométricas de materiais filtrantes obtidas por outros autores.**

<b>Material filtrante</b>	<b>Autor</b>	<b>Utilização</b>	<b>Granulometria (mm)</b>	<b>D<sub>10</sub> (mm)</b>	<b>C.U.</b>
<b>Areia</b>	BASTOS, 2007	Filtro lento	0,2 – 1,2	0,36	2,5
<b>Areia</b>	BRINCK, 2009	Filtro rápido	0,3 – 1,2	0,42	1,76
<b>Antracito</b>	BRINCK, 2009	Filtro rápido	1,2 – 2,0	1,3	1,30
<b>Areia</b>	COELHO e DI BERNARDO, 2012	Filtro lento	0,08 – 1,0	0,25	2,0
<b>CAG</b>	COELHO e DI BERNARDO, 2012	Filtro lento	0,30 – 0,85	0,42	≤ 1,7
<b>Brita</b>	SEZERINO, 2006	Wetland	-	7,0	1,89

### 5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA DA CHUVA.

Na Tabela 27 é apresentado um resumo dos resultados das análises físico-químicas dos quatro pontos de amostragem e a comparação com valores estabelecidos na resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e padrões de lançamento de efluentes, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012) trata das diretrizes para reuso de água e utilização de água da chuva, a NBR 15527/2007 da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) dispõe sobre os requisitos para

aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A comparação da qualidade da água de chuva com a classificação dos corpos hídricos da Resolução CONAMA 357/2005 foi feita com o objetivo de estabelecer o tratamento adequado para utilização da água de chuva para fins potáveis, pois esta resolução estabelece o tratamento necessário, de acordo com a classe do corpo hídrico, para consumo humano.



Tabela 26: Resultados das análises físico-químicas da água da chuva nos 4 pontos de amostragem.

Parâmetros	Nº**	In Natura			First-flush			Cisterna 1			Cisterna 2			Diretrizes
		Máx.	Mín.	Méd. e Desv. P.	Máx.	Mín.	Méd. e Desv. P.	Máx.	Mín.	Méd. e Desv. P.	Máx.	Mín.	Méd. e Desv. P.	
pH	8	7,9	4,2	6,6 ± 1,1	7,6	7,1	7,4 ± 0,2	7,6	6,8	7,2 ± 0,2	7,1	6,2	6,7 ± 0,3	USEPA → 6,0 – 9,0 MS → 6,0 – 9,5 CONAMA → 6,0 – 9,0 NBR 15527 → 6,0 – 8,0
Temperatura (°C)	8	29	19,5	24,2 ± 3,3	26,7	19	22,4 ± 2,4	27,1	19,4	22,7 ± 2,5	27,4	18,5	22,3 ± 3,0	Sem indicação
Cor (UPC)	8	20	1	8,3 ± 7,1	79	15	35,8 ± 21,6	23	2	16,1 ± 6,8	35	6	12,5 ± 8,8	MS → ≤ 15 UPC NBR 15527 → < 15 UPC
O.D. (mg/L)	8	7,6	6	6,7 ± 0,5	7,7	4,4	6,1 ± 1,2	7,4	5,2	6,4 ± 0,6	8,1	5,8	6,7 ± 0,6	CONAMA → ≥ 6 mg/L
Turbidez (UNT)	8	1,1	0,2	0,5 ± 0,3	3,9	0,8	1,6 ± 1,0	1,1	0,4	0,7 ± 0,2	1,8	0,2	0,5 ± 0,5	USEPA → ≤ 2 UNT MS → ≤ 0,5 UNT CONAMA → ≤ 40 UNT NBR 15527 → < 2,0 UNT*
DQO (mg/L)	8	12	1	3 ± 3,5	20	1	9,1 ± 6,9	12	1	3,9 ± 3,8	3	1	1,3 ± 0,7	Sem indicação
Nitrito - N (mg/L)	8	0,01	0,01	0,01 ± 0,00	0,05	0,01	0,03 ± 0,02	0,02	0,01	0,013 ± 0,004	0,01	0,01	0,01 ± 0,00	MS → ≤ 1 CONAMA → ≤ 1 mg/L
Nitrato - N (mg/L)	8	15,9	1,4	3,9 ± 4,6	6,7	0,8	3,5 ± 1,9	5,0	0,1	2,7 ± 1,5	5,1	0,1	1,7 ± 1,5	MS → ≤ 10 mg/L CONAMA → ≤ 10 mg/L
Amônia (mg/L)	8	0,6	0,3	0,4 ± 0,01	1,7	0,2	0,6 ± 0,5	1,6	0,2	0,4 ± 0,4	0,3	0,1	0,2 ± 0,04	MS → ≤ 1,5 mg/L CONAMA → ≤ 2 mg/L
Fosfato (mg/L)	8	0,6	0,01	0,2 ± 0,2	1,7	0,2	1,1 ± 0,5	30	0,01	4,1 ± 9,8	0,4	0,01	0,2 ± 0,1	Sem indicação
Sulfato (mg/L)	8	15	0,1	2,6 ± 5	0,1	0,1	0,1 ± 0,0	9	0,1	1,2 ± 2,9	5	0,1	0,7 ± 1,6	MS → ≤ 250 mg/L CONAMA → ≤ 250 mg/L

\* Para fins menos restritivos a NBR 15527 recomenda turbidez < 15 UNT. \*\* Número de amostras.

É possível notar na Tabela 27 que os valores médios e do desvio padrão para os parâmetros pH, cor, OD, turbidez, nitrito, nitrato, amônia e sulfato para as amostras da água da chuva coletadas no pós-tratamento (cisterna 1) atendem aos padrões estabelecidos nas referidas diretrizes.

Os valores médios obtidos para os parâmetros físico-químicos estudados para as amostras de água da cisterna 1 correspondem a qualidade da água de um corpo d'água de classe 1 segundo Resolução 357/05 do CONAMA, esta resolução cita que é necessário somente um tratamento simplificado para corpos hídricos de classe 1 para consumo humano, e portanto, um tratamento simplificado é suficiente para tornar a água da cisterna 1 potável.

O valor médio do parâmetro cor, para a cisterna 1, é o único que está maior do que o recomendado pela NBR 15517/2007 para utilização da água da chuva para fins não potáveis, ou seja, esta água deve passar por um processo de filtração para ser utilizada e adição de cloro residual que deve estar na faixa de 0,5 a 3,0 mg/L

Todos os parâmetros físico-químicos analisados para água da chuva da cisterna 1 estão dentro dos padrões exigidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012) para utilização para fins não potáveis.

Os parâmetros temperatura, DQO e fosfato não são mencionados em qualquer uma destas resoluções, sendo utilizados para comparar a eficiência do tratamento.

A partir da Tabela 28 pode-se observar a influência do contato da água da chuva com a superfície de coleta sobre a qualidade desta água.

**Tabela 27: Valores médios dos parâmetros físico-químicos obtidos para os pontos de amostragem da chuva *in natura* e do *first-flush*.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Chuva <i>in natura</i></b>	<b><i>First-flush</i></b>
<b>Cor (UPC)</b>	8,3	35,8
<b>Turbidez (UNT)</b>	0,5	1,6
<b>DQO (mg/L)</b>	3,0	9,1
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,01	0,03
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	3,9	3,5
<b>NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0,4	0,6
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)</b>	0,2	1,1
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/L)</b>	2,6	0,1

A incorporação de impurezas presentes na superfície de coleta pela água da chuva é observada comparando-se os valores médios da Tabela 28 para cor, turbidez, DQO, nitrito, amônia e fosfato, pois é possível notar um significativo aumento dos valores destes parâmetros comparando a qualidade da água da chuva *in natura* (sem contato com telhado) e a água do dispositivo *first-flush* (água de contato direto com telhado). É por esse motivo, que a água dos primeiros milímetros de chuva, que são desviados da cisterna 1 pelo dispositivo *first-flush*, é chamada de água de lavagem do telhado.

Apenas os valores médios de nitrato e sulfato foram superiores na água da chuva *in natura* em comparação com os valores médios do dispositivo *first-flush*. Isso se deve pelo fato de que o pluviômetro, no qual eram coletadas amostras de água da chuva *in natura*, era fixo no terraço para realizar o controle da quantidade de chuvas e apesar da limpeza regular deste dispositivo para evitar o acúmulo de impurezas em seu interior, impurezas presentes na atmosfera podem ter sido depositadas no interior do dispositivo o que ocasionou aumento nos valores médios de nitrato e sulfato.

HONÓRIO et al. (2010) realizaram um trabalho no oeste da Amazônia, Brasil, para avaliar a qualidade da chuva *in natura* e coletaram amostras nas cidade de Parintins, Itapiranga, Tabatinga, Boa Vista, Apuí e Manaus (em Manaus foram feitas duas amostragens, uma na região coberta por vegetação e outra na região urbana) e obtiveram para os sete pontos de amostragens valores médios de nitrato e

sulfato na faixa de 4,7 a 32,0 mg/L e 1,7 a 46,3 mg/L, respectivamente. Os maiores valores de nitrato e sulfato foram obtidos na região de Manaus devido ao rápido desenvolvimento urbano e o aumento na utilização de combustível fóssil.

LEE et al. (2010) obtiveram valores médios de nitrato 2,2 mg/L e amônio 0,02 mg/L para a água da chuva *in natura* e não detectaram a presença de fosfato. Para a água da chuva escoada do telhado obtiveram valores médios de nitrato 6,8 mg/L, amônio 0,09 mg/L e fosfato 0,02 mg/L.

As concentrações de nitrito, nitrato e sulfato na água da chuva são produtos da combustão de combustíveis fósseis (HONÓRIO et al., 2010; GIKAS et al., 2012)

**Tabela 28: Valores médios dos parâmetros físico-químicos obtidos para os pontos de amostragem dispositivo first-flush e cisterna 1.**

<b>Parâmetros</b>	<b>First-flush</b>	<b>Cisterna 1</b>
<b>Cor (UPC)</b>	35,8	16,1
<b>Turbidez (UNT)</b>	1,6	0,7
<b>DQO (mg/L)</b>	9,1	3,9
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,03	0,013
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	3,5	2,7
<b>NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0,6	0,4
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)</b>	1,1	4,1
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/L)</b>	0,1	1,2

Comparando-se os valores médios da Tabela 29 da água da chuva do first-flush com a água da chuva da primeira cisterna, pode-se observar uma melhora da qualidade na maioria dos parâmetros físico-químicos, exceto para fosfato e sulfato. Notando-se a importância deste dispositivo para melhorar a qualidade da água da chuva armazenada.

O aumento nos valores médios de fosfato e sulfato comparando-se os pontos de amostragem dispositivo first-flush e cisterna 1, se deve ao acúmulo de chuvas e o conseqüente acúmulo de material particulado no fundo da cisterna o que pode ter influenciado nos valores de fosfato e sulfato em algumas amostragens o que elevou o valor médio destes parâmetros.

As concentrações de fosfato e amônia na água da chuva escoada de telhados em regiões de baixa atividade industrial são normalmente de origem natural (por exemplo, excremento de aves e roedores, musgos e líquens e etc.) e também de depósitos secos atmosféricos (GIKAS et al., 2012).

LEE et al. (2010) fez o estudo da qualidade da água na cidade de Gangneung, Coreia do Sul, em três pontos principais água da chuva *in natura*, água da chuva após ter passado pelo telhado e água do reservatório. Obteve os seguintes valores médios para pH de 5,3, nitrato de 2,2 mg/L, sulfato de 2,4 mg/L e fosfato não detectado para água da chuva após ter passado pelo telhado e valores médios para pH de 7,8, nitrato de 7,6 mg/L, sulfato de 8,4 mg/L e fosfato de 0,48 mg/L para a água da chuva do reservatório. Concluindo que dispositivo de primeira descarga é uma das melhores formas de se manter os sistemas de aproveitamento de água da chuva limpos e seguros, pois o acúmulo das impurezas na água da chuva do reservatório foi notável.

GIKAS et al. (2012) obtiveram valores médios de nitrito na faixa de 0,01 a 0,05 mg/L, nitrato 0,58 a 0,84 mg/L, amônio 1,24 a 3,18 mg/L, fosfato 0,09 a 0,27 mg/L e sulfatos 8,28 a 15,70 mg/L para água da chuva armazenada e valores médios de nitrito na faixa de 0,04 a 0,15 mg/L, nitrato 0,36 a 0,68 mg/L, amônio 1,17 a 32,97 mg/L, fosfato 0,20 a 2,14 mg/L e sulfato 8,63 a 30,86 mg/L para água do dispositivo de *first-flush*.

Os resultados dos valores médios de pH das amostras da água da chuva do dispositivo *first-flush*, cisterna 1 e cisterna 2 foram 7,4, 7,2 e 6,7, respectivamente e apresentaram variações de 6,2 a 7,6 e da água da chuva *in natura* de 6,6 e variação de 4,2 a 7,9 indicando maior acidez na maioria das amostragens. De acordo com LEE et al. (2010) a tendência que reduz um pouco o pH é o aumento da concentração dos íons nitrato e sulfato e pode se observar na Tabela 24 que a água da chuva *in natura* apresenta os maiores valores médios para nitrato e sulfato.

May (2004) estudou o aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis nas edificações e observou que o pH da água da chuva após ter passado pelo telhado, no dispositivo de primeiro descarte e nos reservatórios apresentou variação de 5,8 a 7,6. O pH da chuva *in natura* resultou em valor médio de 4,9, reforçando a característica ácida neste ponto.

HONÓRIO et al. (2010) realizaram um trabalho na Amazônia, Brasil, para avaliar a qualidade da chuva *in natura*, e obtiveram para sete pontos de amostragem valores médios de pH com variação de 4,0 a 5,1.

A turbidez é muitas vezes usada para representar a presença de partículas em água, que é um importante parâmetro de qualidade da água no tratamento de água potável. Estas partículas podem ser sólidos inorgânicos (silte, areia ou argila) e matéria orgânica (algas, bactérias e etc.) (NADDEO et al., 2013). No caso de água da chuva a matéria orgânica é proveniente de musgos, líquens, fezes de aves ou galhos e folhas que estejam presentes na superfície de coleta. Pode-se observar pela Figura 25 que o contato da água da chuva com o telhado aumenta a turbidez desta água. E comparando os valores médios de turbidez do dispositivo *first-flush* e da primeira cisterna da Tabela 29, pode-se notar a redução da turbidez da água da chuva reservada e a importância que este dispositivo de primeiro descarte tem sobre a redução da concentração de impurezas na água da chuva armazenada.

Demanda química de oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Ao analisar a Tabela 28 pode-se notar que o maior valor médio de DQO é o da amostra de água da chuva do dispositivo *first-flush* e que há um aumento da DQO da água da chuva escoada do telhado. O aumento da DQO da água da chuva ao escoar pelo telhado se deve à presença de folhas, galhos e fezes de pequenos animais (aves e pequenos roedores).

Oxigênio dissolvido é um parâmetro utilizado como indicativo de poluição quando o presente em baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que águas limpas apresentam concentração de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até próximo da concentração de saturação. Na Tabela 27 observa-se que o menor valor de OD foi de 4,4 mg/L obtido para amostra de água do dispositivo *first-flush* e o maior valor foi de 8,1 mg/L obtido para amostra de água da cisterna 2. Os valores médios de oxigênio dissolvido obtidos para os quatro pontos de amostragem foram maior que 6,0 mg/L. Segundo a Resolução do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) corpos d'água de classe 1 devem apresentar concentração de oxigênio dissolvido maior que 6,0 mg/L, por tanto, em relação ao OD pode-se comparar a qualidade da água da chuva com a qualidade de água doce de classe 1.

A temperatura da água da chuva em todos os pontos de amostragens variou de acordo com as estações do ano, observando-se os maiores valores de temperaturas durante o verão e os menores durante o inverno.

As eficiências médias de remoção das impurezas pelo tratamento por filtro ascendente e radiação UV estão descritas na Tabela 30.

**Tabela 29: Valores médios dos parâmetros físico-químicos analisados para a cisterna 1 e 2 e os valores médios da eficiência de remoção do tratamento por filtração e radiação UV.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Cisterna 1</b>	<b>Cisterna 2</b>	<b>Eficiência de remoção</b>
<b>Cor (UPC)</b>	16,1	12,5	22,4%
<b>Turbidez (UNT)</b>	0,7	0,5	28,6%
<b>DQO (mg/L)</b>	3,9	1,3	66,7%
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,013	0,01	23,1%
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	2,7	1,7	37,0%
<b>NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0,4	0,2	50,0%
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)</b>	4,1	0,2	95,1%
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/L)</b>	1,2	0,7	41,7%

Foram obtidas eficiências de remoção para o tratamento com filtro ascendente e radiação UV em todos os parâmetros físico-químicos analisados. A maior eficiência foi obtida para a remoção de fosfato (95,1%) e a menor foi obtida para a remoção de cor (22,4%).

BASTOS (2007) utilizou um sistema de tratamento com filtração lenta e radiação UV para água da chuva e obteve valores médios de remoção de turbidez de 95% e de cor de 80%.

NADDEO et al. (2013) obtiveram eficiências médias de remoção para turbidez de 98,3% e para DQO de 49,9%, com tratamento por microfiltração combinado com adsorção por carvão ativado. E para um processo de tratamento utilizando somente adsorção por carvão ativado, obtiveram eficiências médias de remoção para turbidez de 59,7% e para DQO de 22,8%.

Os resultados das análises microbiológicas, realizadas para avaliar a desinfecção do tratamento para a água da chuva são apresentados na Tabela 31.

**Tabela 30: Resultados das análises microbiológicas para água da chuva bruta e após o tratamento.**

Parâmetros	Cisterna 1			Cisterna 2		
	Máx.	Min.	Méd. e desv. P.	Máx.	Min.	Méd. e desv. P.
<b>Col. Totais (NMP/100 mL)</b>	330	7,8	121,2 ± 149,9	-	-	< 1,8
<b>Col. Term. (NMP/100 mL)</b>	21	2	9,6 ± 8,5	-	-	< 1,8
<b><i>E. coli</i> (NMP/100 mL)</b>	7,8	2	4,7 ± 2,4	-	-	< 1,8

**Nota:** limite de detecção do método de tubos múltiplos é 1,8 (NMP/100 mL).

Para todas as amostras de água da chuva bruta foi detectada a presença de microrganismos (coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E. coli*), o que torna a água da chuva bruta imprópria para consumo humano segundo a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que exige a ausência coliformes em 100 mL de amostra. A NBR 15527/2007 e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012) também exigem a ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra, para utilização da água da chuva para fins não potáveis.

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, em corpos d'água de classe 1 a quantidade de coliformes termotolerantes não deve ser maior que 200 NMP/100 mL. Assim a qualidade microbiológica da água da chuva da cisterna 1 pode ser comparada à qualidade da água de um rio de classe 1 e para torna-la potável deve-se aplicar um tratamento simplificado.

Todos os resultados de microrganismos para as amostras coletadas após a filtração e desinfecção por radiação ultravioleta foram inferiores a 1,8 NMP/100 mL, que é o limite de detecção do método utilizado para a análise. Resultados muito próximos do valor exigido pela portaria de potabilidade do Ministério da Saúde.

GIKAS et al. (2012) obtiveram resultados para coliformes totais na faixa de 125 a 525 NMP/100 mL e *E. coli* na faixa de 0 a 10 NMP/100 mL para água da chuva armazenada.

LEE et al. (2010) obtiveram resultados para coliformes totais na faixa 0 a 470 NMP/100 mL e *E. coli* na faixa de 0 a 350 NMP/100 mL para água da chuva armazenada.

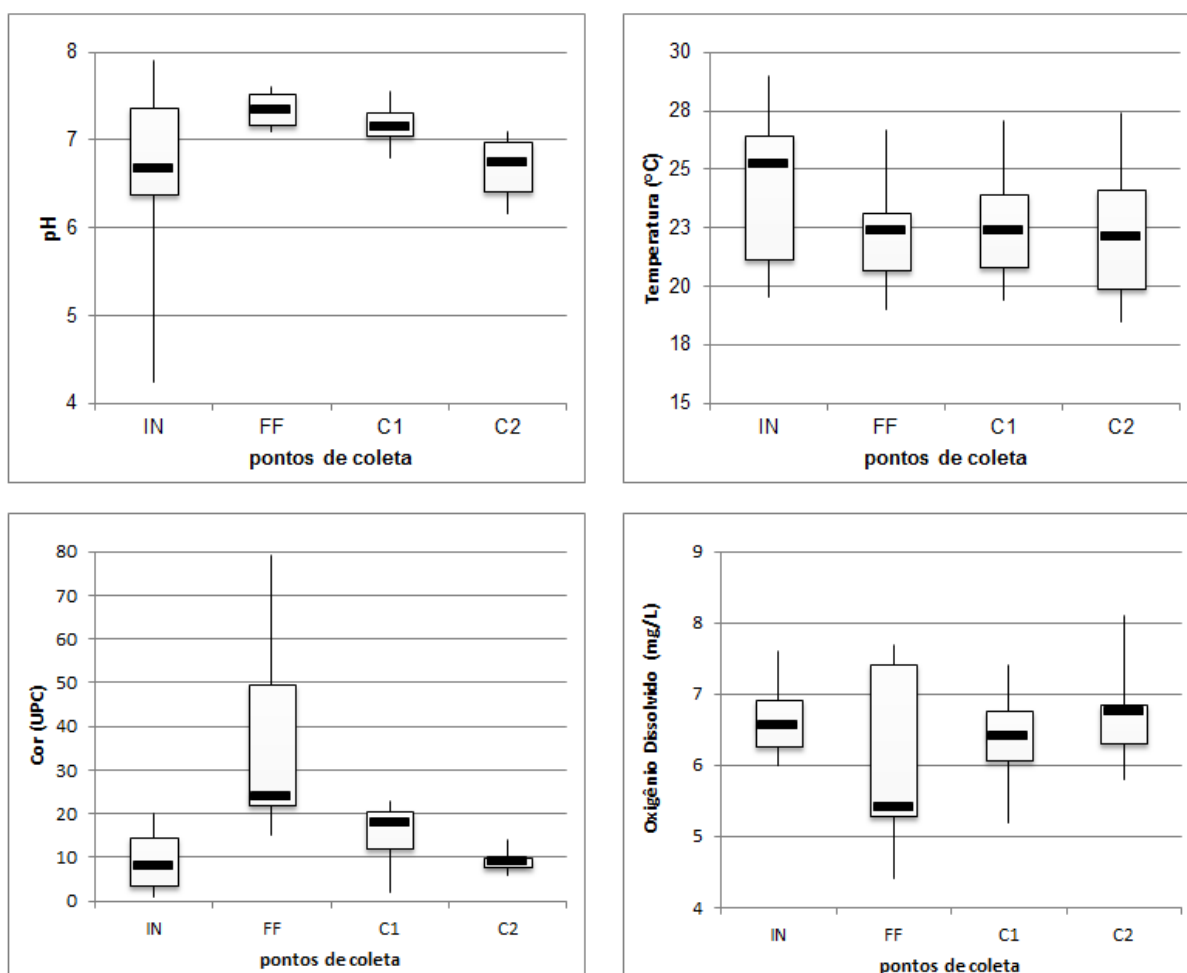
NADDEO et al. (2013) obtiveram valores médios para coliformes totais e *E. coli* de 152 e 328 NMP/100 mL para água da chuva bruta, respectivamente. E após



desinfecção por radiação UV obtiveram eficiências de inativação para coliformes totais e *E. coli* de 99,99%.

BASTOS (2007) obteve valores médios para coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E. coli* de 551,4, 12,6 e 135,3 NMP/100 mL para água da chuva armazenada e após um processo de tratamento através de filtração lenta seguida de desinfecção UV obteve uma eficiência de inativação destes microrganismos de 99,99%.

Na Figura 35 estão os gráficos box plot para os parâmetros pH, temperatura, cor, oxigênio dissolvido, turbidez e DQO para os 4 pontos de amostragem chuva *in natura* (IN), *first-flush* (FF), cisterna 1 (C1) e cisterna (C2).



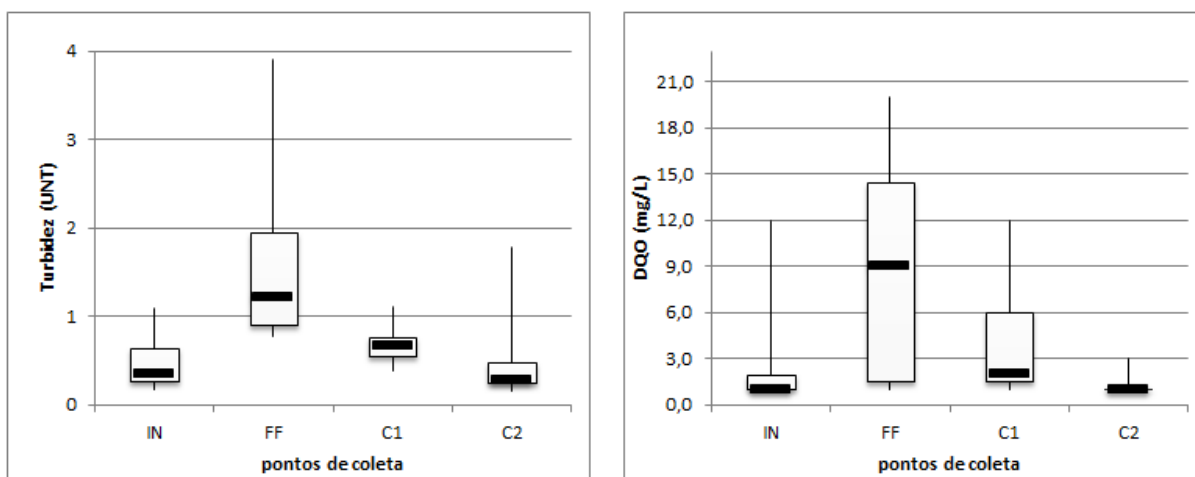
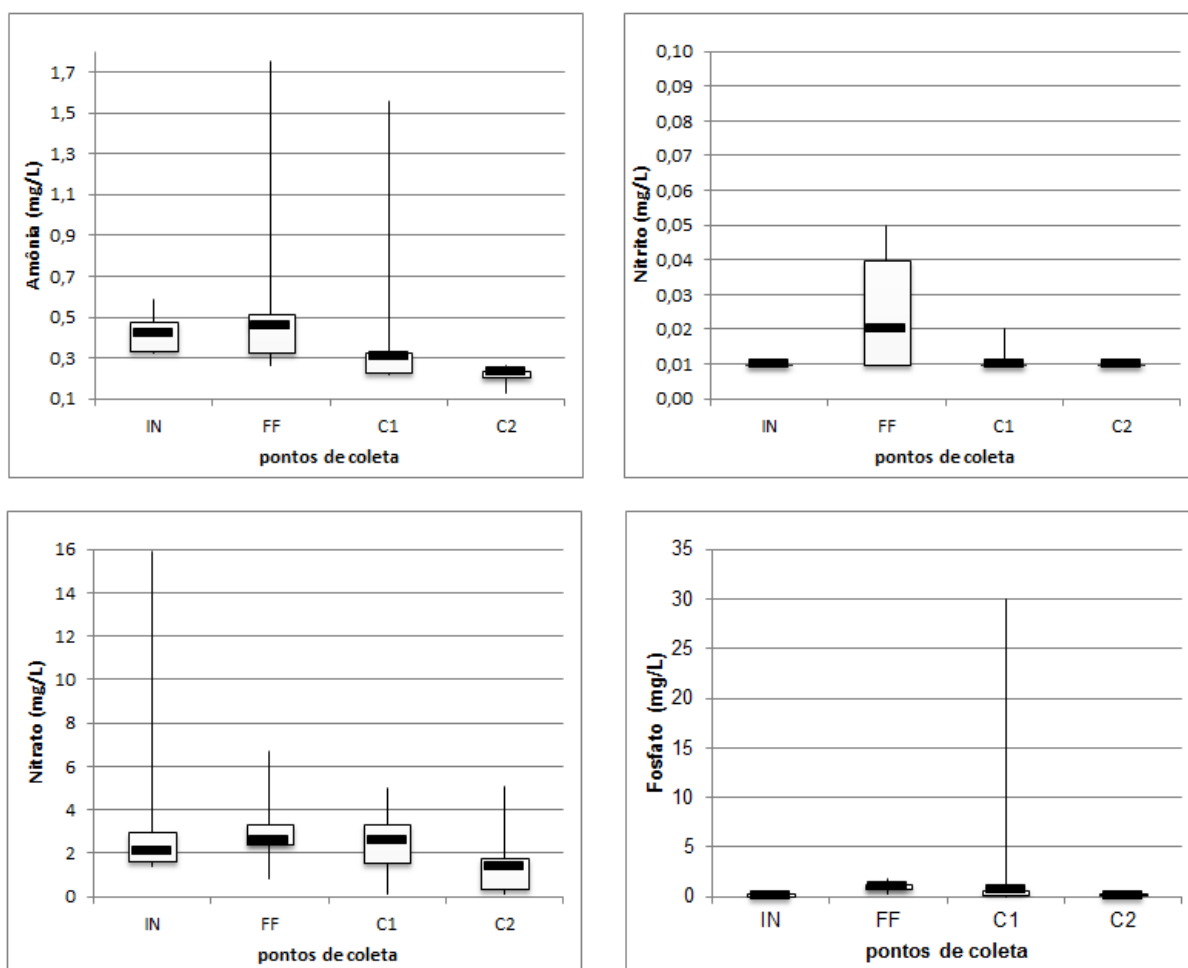
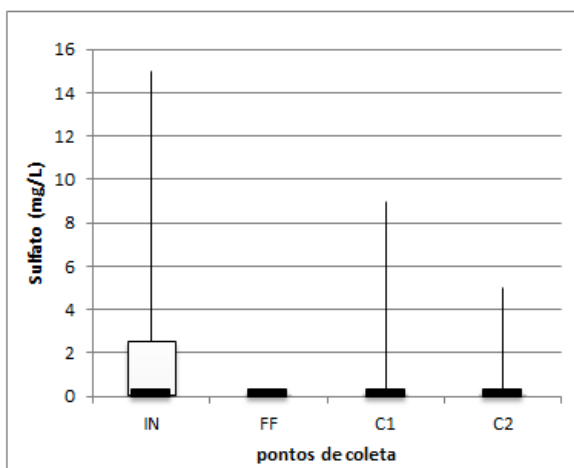


Figura 35: Gráficos box plot com média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil, dos parâmetros físico-químicos pH, temperatura, cor, OD, turbidez e DQO para os quatro pontos de amostragem de água da chuva.

Na Figura 36 estão os gráficos box plot para os parâmetros amônia, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato para os 4 pontos de amostragem chuva *in natura* (IN), *first-flush* (FF), cisterna 1 (C1) e cisterna (C2).





**Figura 36: Gráficos box plot com média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil, dos parâmetros físico-químicos amônia, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato para os quatro pontos de amostragem de água da chuva.**

Considerando a Figura 35, a mediana do pH nos pontos IN e C2 foi similar a 6,6 com variação de 4,3 a 8,0 para IN e de 6,0 a 7,0 para C2. Nos pontos FF e C1, os valores médios foram de 7,2, com faixa de variação de 6,8-7,5. O pH mais elevado nos pontos FF e C1 e pode estar ligado ao contato da água da chuva com a superfície de coleta e a variação de pH no ponto IN pode estar ligado às condições climáticas do período em que ocorreu a precipitação como períodos mais secos ou chuvosos.

A mediana da temperatura foi de 25°C no ponto IN e de 23° nos pontos FF, C1 e C2, com variação de 19-29°C. A diferença de temperatura em IN pode estar ligada ao fato de que as amostras de IN eram coletadas do pluviômetro que ficava exposto ao ambiente.

Os valores médios de cor foram de 8,3 UPC para IN com faixa de variação de 1,2-20 UPC, 35,8 UPC para FF com faixa de variação de 14-80 UPC, 16,1 para C1 com faixa de variação de 2-22 UPC e 12,5 UPC para C2 com faixa de variação de 5-15 UPC. Os valores de cor mais elevados observados para os pontos FF e C1 pode ser devido ao contato com a superfície de coleta que pode acumular impurezas. A maior variação de cor para FF deve-se às condições climáticas, um período longo de estiagem acarreta em um maior acúmulo de impurezas no telhado e conseqüentemente um aumento no parâmetro cor.

A média do oxigênio dissolvido varia na faixa de 5,4-6,8 mg/L entre os pontos, com mínimo de 4,4 mg/L no FF e máximo de 8,1 mg/L no C1. Todas as amostras dos pontos IN, C1 e C2 atendem ao padrão de oxigênio dissolvido (6

mg/L) exigido pela Resolução 357 do CONAMA para corpos hídricos de classe 1 e para FF apenas 25% das amostras não atendeu.

A mediana da turbidez para os pontos IN, C1 e C2 foi na faixa de 0,2-0,6 UNT e para FF foi de 1,5 UNT. Com maior variação interquartil para FF (1,1 UNT), esta maior variação deve-se ao fato de que a água que vai para o *first-flush* ter contato direto com o telhado, no qual ocorre o acúmulo de impurezas devido a períodos de estiagem. Todas as amostras de IN, C1 e C2 atenderam ao padrão de turbidez (< 2 UNT) exigido pela USEPA e ABNT NBR 15527 e 75% das amostras de FF estavam abaixo de 2 UNT. Em relação à Portaria 2914 do Ministério da Saúde, 75% das amostras de IN, C1 e C2 atendiam ao padrão exigido (< 0,5 UNT) e para FF nenhuma das amostras atendeu.

Os valores médios de DQO para os pontos IN e C2 foi similar a 1 mg/L, para FF de 9 mg/L e para C1 de 2 mg/L. A maior faixa de variação foi de 1-19,5 mg/L para FF que se deve as impurezas acumuladas na superfície de coleta antes de cada evento de chuva.

Considerando a Figura 36, os valores da mediana de amônia para IN e FF foram próximos a 0,4 mg/L, para C1 foi 0,3 mg/L e para C2 0,2 mg/L. Este resultado significa que o sistema de tratamento removeu amônia.

Os valores médios de nitrito para IN, C1 e C2 foram similares a 0,01 mg/L e para FF foi de 0,02 mg/L com faixa de variação de 0,01-0,05 mg/L, essa variação é devido a presença de maior carga de impurezas nos primeiros momentos de chuva que são desviados para o *first-flush*.

Todas as amostras de FF, C1 e C2 para nitrato atenderam a Resolução 357 do CONAMA e a Portaria 2914 e para IN 75% das amostras atenderam aos padrões dessas duas diretrizes.

Para fosfato os valores das medianas foram de 0,2 mg/L para IN e C2, 1,1 mg/L para FF e 0,7 mg/L para C1.

Os valores das medianas de sulfato para IN, FF, C1 e C2 foi similar a 0,1 mg/L, todas as amostras de todos os pontos do tratamento atendem aos padrões da Resolução 357 do CONAMA e da Portaria 2914 do Ministério da Saúde.

## 6 EFICIÊNCIAS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL EM UMA RESIDÊNCIA DE UMA FAMÍLIA PADRÃO

O consumo de água potável per capita no Brasil é em média 160 L/dia, segundo Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico do Ministério das Cidades (SNIS) (BRASIL, 2012).

Deste volume 33% é utilizado em descargas em bacias sanitárias, 25% para higiene e banho, 12% para lavar roupa e 3% para lavagem de calçadas, automóveis e rega de jardins (STEFANELLI e OLIVEIRA, 2009). Apenas 27% são utilizados para beber e cozinhar.

Um vaso sanitário com válvula de acionamento consome em média 12 L por descarga, se substituído por vaso sanitário de caixa acoplada este volume cai pela metade. Ao tomar um banho de 15 min em um chuveiro elétrico são gastos em média 45 L e uma lavadora de roupa 5 Kg em sua capacidade máxima gasta 135 L (SABESP, 2015).

Na tabela 32 são apresentados os volumes médios de água potável gastos por uma residência de uma família padrão (um casal e dois filhos) por dia em cada atividade.

**Tabela 31: Demanda de água diária da residência de uma família padrão (um casal e dois filhos).**

<b>Atividade</b>	<b>Consumo diário (L)</b>
Beber e cozinhar	173
Vaso sanitário válvula de acionamento	240
Vaso sanitário caixa acoplada	120
Banho	180
Lavar roupa	19
Lavagem de calçadas	19

Fonte: Adaptado de SABESP (2015).

Para se chegar aos valores de consumo diário da Tabela 32, considerou-se que cada pessoa acione em média 5 vezes por dia a descarga do vaso sanitário, tome banho uma vez por dia com duração de 15 min, a lavagem da roupa da família e calçadas seja realizada uma vez por semana. Assim, o consumo médio mensal seria de 15330 L para residências que possuem vaso sanitário com caixa acoplada e 18930 L para residências que possuem vaso sanitário com válvula de acionamento.

Para a análise da eficiência de substituição da água potável pela água da chuva em uma residência padrão, foi utilizado o software Netuno 3.0.1, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), programa que tem por objetivo estimar o potencial de economia de água potável por meio da utilização de água da chuva para usos não potáveis. Foram utilizados dados diários de precipitação da cidade de Curitiba entre os períodos de 31 de maio 1997 a 22 de setembro de 2013, totalizando 5947 dias. Estes dados diários são da estação pluviométrica Curitiba localizada na Universidade Federal do Paraná e foram concedidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR.

Para a comparação do potencial de economia de água foi utilizada uma área de captação de 60 m<sup>2</sup>, coeficiente de runoff de 0,8, reservatório de água da chuva de 3000 L e consumo diário por pessoa de 160 L.

Segundo TOMAZ (2003), para telhas de fibrocimento o coeficiente de runoff a ser utilizado é de 0,8, o que significa uma perda de 20% da água escoada pelo telhado.

Foram considerados 3 cenários para a análise de eficiência de economia da substituição da água potável pela água da chuva em uma residência padrão, o primeiro é a utilização em descarga de vaso sanitário que equivale a substituição de 30% da água potável, o segundo é a utilização para banho que equivale a substituição de 23% da água potável e o terceiro é a utilização para lavar roupa e calçadas que equivale a substituição de 15% da água potável.

Na Tabela 33 são apresentados os potenciais de economia de água potável por meio da utilização da água da chuva para as atividades de descarga de vaso sanitário (30%), banho (23%) e lavar roupa e calçadas (15%).

**Tabela 32: Dados de eficiência para a substituição da água potável pela utilização da água da chuva em descarga de vaso sanitário, banho e lavagem de roupas e calçadas em uma residência padrão.**

<b>Analisado</b>	<b>Descarga de vaso sanitário (30%).</b>	<b>Banho (23%).</b>	<b>Lavar roupa e calçadas (15%).</b>
<b>Potencial de economia.</b>	22,99%	19,99%	14,36%
<b>Volume extravasado.</b>	14633,2 L/ano	21641,9 L/ano	34787,2 L/ano
<b>Porcentagem de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida.</b>	- Completamente: 73,99%. - Parcialmente: 5,11%. - Não atende: 20,9%.	- Completamente: 85,42%. - Parcialmente: 2,71%. - Não atende: 11,87%.	- Completamente: 95,36%. - Parcialmente: 0,72%. - Não atende: 3,92%.
<b>Consumo total mensal.</b>	19200 L.	19200 L.	19200 L.

A qualidade da água da chuva obtida após o tratamento é comparável à qualidade de corpos hídricos de classe 1 segundo a Resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), e por tanto, pode ser utilizada para atividades de contato direto (atividades recreativas).

A maior porcentagem de demanda de água da chuva atendida completamente foi de 95,36% para a substituição de 15% da demanda de água potável e a menor foi de 73,99% para substituição de 30% da demanda de água potável.

Os potenciais de economia, da substituição da água potável pela água da chuva, obtidos foram de 22,99% para descarga em vaso sanitário, 19,99% para tomar banho e de 14,36% para lavar roupas e calçadas.

Para aumentar os potenciais de economia é necessário o aumento do volume do reservatório e da área de captação.

## 7 CONCLUSÕES

A adição de dispositivos de *first-flush* no sistema de tratamento de água da chuva é uma boa forma de se manter uma boa qualidade da água, a primeira descarga pode resolver o acúmulo de partículas e de vários contaminantes problemáticos.

A água da cisterna 1 necessita de tratamento por filtração seguido de desinfecção para ser utilizada para fins não potáveis segundo as diretrizes NBR 15527 (BRASIL, 2007) (observando a adição de cloro residual) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012).

Comparando os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água da chuva bruta (cisterna 1) com a qualidade da água de rios classe 1 da Resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), pode-se concluir que é necessário somente um tratamento simplificado para tornar a água da chuva, coletada do telhado, potável. Pois esta resolução indica o tratamento necessário de acordo com a classe do corpo hídrico para o consumo humano.

O tratamento proposto para a água da chuva através de filtração ascendente e radiação ultravioleta atende as diretrizes NBR 15517/2007 e USEPA (2012) para usos não potáveis da água da chuva. Obtendo resultados de eficiência de tratamento com remoção de cor com 22,4% turbidez com 28,6%, DQO com 66,7%, amônia com 50,0% nitrito com 23,1%, nitrato com 37,0%, fosfato com 95,1% e sulfato com 41,7% comparando-se os pontos de análise da água bruta (cisterna 1) com o da água tratada (cisterna 2).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados para a água da chuva estão dentro dos padrões exigidos pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

O tratamento da água da chuva reduziu todos os valores de microrganismos encontrados na cisterna 1 para um resultado menor do que o limite de detecção do método de análise destes parâmetros.

Os resultados obtidos com o tratamento proposto indicam que a água tem qualidade para lavagem de roupa e para atividades recreativas de contato direto e com mais algumas análises e estudos esta água pode ser usada para banhos (sem ingestão dessa água, ou seja, não é indicado que se escove os dentes durante o banho), e portanto reduzindo ainda mais o consumo de água potável, visto que a



NBR 15527 já preconiza o uso da água da chuva para fins não nobres, tais como rega de jardim, lavagem de pisos e calçadas e descarga em bacia sanitária.

Desta forma, conclui-se que o sistema proposto para coleta, armazenamento e tratamento da água da chuva seja eficiente aos objetivos mencionados, podendo se tornar uma importante fonte de abastecimento de água em conjunto com as demais fontes, tais como, água da concessionária, reúso de água e possíveis fontes de água subterrânea.

## **8 RECOMENDAÇÕES**

Para trabalhos futuros, propõem-se que sejam avaliados os seguintes itens:

- Avaliar qual o tempo de inativação dos microrganismos na cisterna 2.
- Avaliar a influência do tempo de armazenamento sobre a qualidade da água tratada armazenada na cisterna 2.
- Avaliar qual o tempo de carreira do filtro.
- Variar a taxa de filtração e aplicação.
- Avaliar a vida útil das lâmpadas UV no processo de desinfecção e qual a manutenção necessária no reator UV para que seja mantida a boa desinfecção.
- Realizar mais análises para saber se é possível utilizar a água da chuva para banho.
- Avaliar a presença de metais pesados e outros compostos dissolvidos na água da chuva escoada do telhado e após o tratamento.

## REFERÊNCIAS

3P TECHNIK. Consulta geral a homepage. Disponível em: <<http://www.3ptechnik.de/>>. Acesso em: 16 de Junho de 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 12073: Carvão ativado pulverizado - Determinação do número de iodo. Código Secundário: MB 3410. Rio de Janeiro, 1991.

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

\_\_\_\_\_. NBR NM 23:2001 - Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. 2000.

\_\_\_\_\_. NBR 12073:1991: Carvão ativado pulverizado - Determinação do número de iodo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248:2001 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR 12076:1991 – Carvão ativado pulverizado – Determinação da massa específica e aparente. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. NBR 6493:1994 - Emprego de cores para identificação de tubulações. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 15527:2007 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 52:2009 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 53:2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica e aparente. Rio de Janeiro, 2009.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª Ed. 1999

ASA, Articulação do Semiárido Brasileiro. Programa Um Milhão de Cisternas. 2015. Disponível em <[http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1150](http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150)> Acesso em : 23 fev. 2015.

ASLAN, A. **Combined removal of pesticides and nitrates in drinking Waters usisng biodenitrificação and sand filter system.** Process Biochemistry, v. 40, p. 417-424, 2005.

ASSAYED, A.; HATOKAY, Z.; AL-ZOUBI, S.; AZZAM, S.; QBAILAT, M.; AL-ULAYYAN, A.; SALEEM, A.; BUSHNAQ, S.; MARONI, R. **On-site rainwater harvested to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan**. Resources, Conservation and recycling, v. 73, p. 72-77, 2013.

ASTM - AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. D 3838-1980: Standard Test Method for pH of Activated Carbon. 1999.

\_\_\_\_\_. D 2866-1994/1998: Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon.

\_\_\_\_\_. D 2867-2004: Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon. 2004.

\_\_\_\_\_. D 5832-1998/2003: Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon.

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

ARAUJO, E. C.; DIAS, F. M. **Massa específica e absorção de água de concretos manufaturados com agregados alternativos**. Revista Ibracon de estruturas e materiais, v. 4 (5), p. 764 – 783, 2011.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. Water for the Future. National Rainwater and Greywater Initiative. 2009 Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/water/publications/action/pubs/nrgi.pdf>> Acesso em 02 fev. 2015.

AWWA, American Water Works Association. Water quality and treatment. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 1999.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Filtros de fluxo ascendentes**. Revista DAE, edição nº 87, 1972.

BANSAL, Roop C; GOYAL, Meenakshi. **Activated carbon adsorption**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005.

BRAGA, G. M. F. **Dupla filtração em filtros ascendentes de pedregulho e filtros descendentes de areia aplicada à remoção de algas: Influência da taxa de filtração e granulometria do filtro de areia**. 2005. 203 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, Brasília. 2005.

BARRET, B. C.; KINNEY, A. K.; KIRISITS, J. M. **The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater**. Water Research, v. 45, p. 2049-2059, 2011.

BASTOS, P. F. **Tratamento de água da chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. 2007. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo. 2007.

BERTOLO, E. de J. P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. 2006. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. Porto, Portugal. 2006.

BRINCK, N.C.P. **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento**. 2009. 393 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. São Paulo. 2009.

BUDEL, M. A. **Estudo comparativo da qualidade da água de chuva coletada em cobertura convencional e em telhado verde**. 2014. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. 2014.

CAPUTO, H.P. (1996). **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Fundamentos**. 6<sup>a</sup> ed., v. 1. Rio de Janeiro: LTC Editora. 233 p.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Reuso de Água. 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reuso-de-%C3%81gua>> Acesso em: 15 jan. de 2015.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 13/04/2015.

CURITIBA. Decreto nº 293, de 22 de Março de 2006. Regulamenta a Lei nº 10.785/03, e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Curitiba**, Curitiba, ano XL, n.25, 28 de mar. 2006.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 176, de 20 de Março de 2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias. **Diário Oficial do Município de Curitiba**, Curitiba, ano XL, n.24, 27 de mar. 2007.

DANIEL, A. L. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. PROSAB, 1<sup>o</sup> edição, 149 p., São Carlos, São Paulo, 2001.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB, 1<sup>o</sup> edição, 498 p., São Carlos, São Paulo, 2003.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. **A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs**. Journal of Cleaner Production, v. 19, p. 598 – 608, 2011.

DRAGO C.; VERNERY, J. C. K. de; PEREIRA F. M. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. Revista Escola de Minas, v. 62 (3), p. 399 – 408, 2009.

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

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de utilização das águas pluviais – 100 maneiras práticas. 1ª Ed. Curitiba: Livraria do Chain, 2002.

FENDRICH, R. Manual de Utilização das águas Pluviais (100 Maneiras Práticas). Curitiba, Chain Editora. 2ª Ed – ampliada.190p. 2009.

GARG, Vinod K.; AMITA, Moirangthem.; KUMAR, Rakesh.; GUPTA, Renuka. Basic Dye (Methylene Blue) Removal From Simulated Wastewater By Adsorption Using Indian Rosewood Sawdust: A Timber Industry. **Hisar. Dyes and pigments**, v. 63, n. 2004, p. 243-250, nov. 2004.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos.** 2010. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

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

GONTIJO, L. C. **Preparação e caracterização de carvão ativado de endocarpo de coco da Bahia.** 1996. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 1996.

GONZÁLEZ, P.G.;HERNÁNDEZ-QUIROZ, T.; GARCÍA-GONZÁLEZ, L. The use of experimental design and response surface methodologies for the synthesis of chemically activated carbons produced from bamboo, **Fuel Processing Technology**, v. 127, p. 133-13, 2014.

HONÓRIO, B. A. D.; HORBE, A. M. C.; SEYLER P. **Chemical composition of rainwater in western Amazonia — Brazil.** Atmospheric Research v. 98, p. 416–425, 2010.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Estações Convencionais / Dados Curitiba. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convencionais.php>> Acesso em: 22 Jul. 2015.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. AGENDA 21: Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Curitiba, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPUCC. Características Climáticas de Curitiba – Janeiro de 1998 a Dezembro de 2001. Disponível em: < <http://www.ippuc.org.br/default.php>> Acesso em: 20 de Ago. 2014.

JABUR, S. A.; BENETTI, P. H.; SILIPRANDI, M. E. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis.** 7º Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2011.

JAGUARIBE, E. F.; et al. **The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine.** Brazilian Journal of Chemical Engineering. v. 22, n. 1, Sao Paulo, Jan./Mar., 2005.

KALDERIS, Dimitrios; Bethanis, S.; Paraskeva, P.; Diamadopoulos, E. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times, **Bioresource Technology**, v. 99, n. 15, p 6809-6816, 2008.

KEYSER, M.; MÜLLER, A. I.; CILLIERS, P. F.; NEL, W.; GOUWS, A. P. **Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice.** Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 9, p. 348-354, 2008.

LEE, Y. J.; YANG, J. -S.; HAN, M.; CHOI, J. **Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources.** Science of the Total Environment, v. 408, p. 896-905, 2010.

LIM, K. -Y.; JIANG, S. C. **Revaluation of health risk standards for sustainable water practice through risk analysis of rooftop – harvested rainwater.** Water Reaserch (2013), doi: 10.1016/j. watres. 2013.09.059.

LOBO, M. G.; DA COSTA, B. P.; WISBECK, E. **Avaliação da desinfecção de água por reator utilizando radiação ultravioleta.** Revista de Ciências Ambientais, v. 3, p 21 – 36, 2009.

LOUREIRO, F, L. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-d em Carvão ativado em pó e granular por meio de Análises de isotermas de adsorção utilizando Diferentes qualidades de água.** 2012, 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo. 2012

MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. 2. ed., Livraria José Olímpio Editora, Curitiba, 1981.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consume não potável em edificações.** 2004. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

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

MEHRABADI, R. H. M.; SAGHAFIAN, B., FASHI, H. R. **Assesment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions.** Resources Conservation and Recycling v.73, p.86-93, 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

NADDEO, V.; SCANNAPIECO, D.; BELGIORNO, V. **Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment.** Journal of Hydrology, v. 498, p. 287-29, 2013.

NASCIMENTO, V. da S; DOMINGOS, P. Captação e manejo de água da chuva. Saúde e Ambiente em Revista, v. 2, n. 1, p. 68-76, 2007.

NAWAZ, M.; HAN, Y. M.; TSCHUNG-ILKIM, MANZOOR, U.; AMIN, T. M. **Silver disinfection of pseudomonas aeruginosa and E. coli in rooftop harvested rainwater for potable purposes.** Science of the Total Environment, v. 431, p. 20-25, 2012.

ONU, United Nations Organization. World Urbanization Prospects. The 2007 Revision. Highlights. Disponível em: <[http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP\\_Highlights\\_web.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_Highlights_web.pdf)> Acesso em: 05 Jan. 2015.

ONU, United Nations Organization. International Decade for Action “Water for Life” 2005 – 2015. 2008. Disponível em: <<http://www.un.org/waterforlifedecade/quality.shtml>> Acesso em: 02 fev. 2015.

PARANÁ, Governo do Estado do Paraná. Lei Estadual nº. 17.084 de março de 2012. Dispõe sobre o aproveitamento de água da chuva na construção de prédios públicos. CASA CIVIL. Sistema Estadual de Legislação.

PIZA, A. V. T. **Avaliação da capacidade adsorptiva de carvões ativados para remoção de diuron e hexazinona.** 2008. 110p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, São Paulo. 2008.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – Uso racional da água - Dicas de economia. 2015. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=140>> Acesso em: 03 de ago. 2015.

SANTOS, A. dos; PEREIRA, J. V. I.; ZACAR, C. R. H.; COSTA JUNIOR, J.; DE JESUS, V.; ENRICONI, A. **Coleta de água de chuva: identificação de oportunidades de inovação através do Design.** 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2010.

SÃO PAULO, Governo de São Paulo. Lei Estadual nº. 12526 do ano de 2007. Dispõe sobre a obrigatoriedade da implantação de sistemas de captação e retenção de água da chuva. Disponível em: <[http://www.saobernardo.sp.gov.br/SECRETARIAS/sp/geoportal/LEGISLACAO/LEI12526\\_2007.pdf](http://www.saobernardo.sp.gov.br/SECRETARIAS/sp/geoportal/LEGISLACAO/LEI12526_2007.pdf)> Acesso em: 13 de jul. 2014.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. **Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece.** Water Research, v. 41, p. 2039-2047, 2007.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina. 2006.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2010. Brasília, 2012.

SOUZA, B. J.; SARTORI, L.; DANIEL, A. L. **Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação UV.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2000.

STEFANELLI, A.; OLIVEIRA, M. A. Estudo sobre o uso racional de água no centro universitário da fundação educacional de Barretos. 2009. 100 p. TCC (Grau de Engenharia Civil) – Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Barretos, São Paulo. 2009.

TESTEZLAF, R. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: Teoria e prática.** Engenharia Agrícola: Jaboticabal, v. 28, p. 604-613, 2008.

TINÔCO, D. J.; **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica.** 2011. 229 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 2011.

TOMAZ, PLINIO. **Aproveitamento de água de chuva.** São Paulo, Navegar, 2003, 180p. ISBN: 85-87678-23-x.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. **Comparativo das propriedades do concreto autoadensável (CAA) utilizando areia fina e cinza volante.** Revista Ibracon de estruturas e materiais, v. 4 (2), p. 247 – 276, 2011.

UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas. **Rufo coletor de águas pluviais.** Jornal da Unicamp ed. 287. 2005. Disponível em: <[www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/maio2005/ju287pag8b.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/maio2005/ju287pag8b.html)> Acesso em: 05 mar. 2015.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **What is a rain barrel?** Environmental Assessment & Innovation Division. EPA Region 3, Philadelphia, PA. 2009.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse.** EPA/600/R – 12/618. Setembro 2012.



VALIX, M.; CHEUNG, W.H.; MCKAY, G. Preparation of activated carbon using low temperature carbonisation and physical activation of high ash raw bagasse for acid dye adsorption, **Chemosphere**, v.56, n. 5, p. 493-501, 2004.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R. **Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH – Bento Gonçalves, 2013.

VENTURA, C. da S.; HÉLLER, L.; CARNEIRO, M. **Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil: um estudo na área rural do semiárido de Minas Gerais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, n. 4, p. 393 – 400, 2012.

WISBECK, E.; SANDRI, K. E.; SOARES, M. L. A.; MEDEIROS, W. H. S. **Desinfecção da água da chuva por radiação ultravioleta**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, p. 337-342, 2011.

WILBERS, G. J.; SEBESVAVI, Z.; RECHENBURG, A.; RENAUD, G. F. **Effects of local spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam**. Environmental Pollution, v. 182, p. 225-232, 2013.

ZAGO, Jaqueline Francischetti. **Influência das características físico-químicas de carvões ativados na adsorção de saxitoxinas**. 2010. 182 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

## APÊNDICE

APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS FILTRANTES.

Para ensaio de granulometria foi coletada uma massa de cada material filtrante, levado a estufa (Figura 20) durante 3 h e depois de retirada da estufa a amostra foi esfriada à temperatura ambiente. Foram separadas as peneiras das séries normal e intermediária e colocadas em ordem uma sobre a outra conforme a norma ABNT NBR NM 28 (2001).

As peneiras foram colocadas no agitador mecânico de peneiras (Figura 21) e a amostra seca foi colocada sobre a peneira superior do conjunto. Promoveu-se agitação mecânica durante 15 minutos para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Após a agitação a peneira

superior do conjunto é destacada manualmente (com tampa de fundo falso encaixado) e agitada até que, após um minuto, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado. O material retido foi removido para uma bandeja identificada e a próxima peneira foi verificada depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido identificadas. A massa do material retido em cada peneira foi determinada em uma balança (Figura 21) e anotada. Este ensaio foi realizado em triplicata, tanto para a série normal como para a intermediária, para areia (massa utilizada de 1,5 Kg), brita (massa utilizada de 1,5 Kg) e carvão ativado (massa utilizada de 500 g).

Para a determinação do pH dos materiais filtrantes o ensaio foi realizado da seguinte forma: 10 g de amostra do material filtrante foram colocados em contato com 100 mL de água destilada. Esta mistura foi aquecida até aproximadamente 90 °C e agitada por 15 minutos. Em seguida a suspensão foi imediatamente filtrada em papel filtro qualitativo e deixou-a esfriar a temperatura ambiente até aproximadamente 50 °C. Em seguida foi realizada a leitura do pH. O pHmetro foi inicialmente calibrado em solução tampão de pH 4 e pH 7.

O teor de umidade foi realizado de acordo com o método de secagem em estufa. Assim, foram pesadas massas de 10 g de cada material filtrante (areia, brita e carvão ativado) em béqueres de 100 mL, previamente tarados em balança analítica (Figura 22), e anotado as massas dos béqueres, dos materiais filtrantes e dos conjuntos.

Em seguida, os béqueres contendo os materiais filtrantes foram colocados em estufa a 150 °C durante 3 h. Após este período os béqueres foram retirados da estufa, resfriados em dessecador com sílica gel até a temperatura ambiente e determinadas suas massas em balança analítica para efetuar o cálculo de determinação do teor de umidade utilizando a Equação 7.

$$TU = (C-D)/(C-B) \times 100$$

Equação 7

Em que:

TU é o teor de umidade (%);

B é a massa do recipiente (g);

C é a massa do recipiente com a amostra original (g);

D é a massa do recipiente com a amostra seca (g).

Para a determinação de material volátil, foi calcinado um cadinho de porcelana em mufla (Figura 23) a 950 °C por 30 min, resfriado em dessecador com sílica gel, até atingir a temperatura ambiente, e pesado em balança analítica e anotada a sua massa.

Em seguida foi acrescentado ao cadinho 5 g de amostra do material filtrante e colocado na mufla, a 950 °C, por 7 min. Após este período, o cadinho foi retirado da mufla e resfriado em dessecador. Após ser resfriado, o cadinho foi pesado em balança analítica e sua massa anotada. Para o cálculo do teor de material volátil foram usadas as Equações 8 e 9:

$$\text{Perda de peso} = (C-D)/(C-B) \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

B é a massa do cadinho calcinado (g);

C é a massa do cadinho com a amostra original (g);

D é a massa do cadinho com a amostra calcinada (g).

$$VM = E-F \quad \text{Equação 9}$$

Em que:

VM é a quantidade de material volátil contido na amostra (%);

E é a perda de peso (%);

F é a umidade (%).

Para determinar o teor de cinzas foram colocados em mufla a 650 °C três cadinhos de porcelana durante uma hora. Passado este tempo, os cadinhos foram retirados da mufla e resfriados em dessecador, até atingirem a temperatura ambiente e em seguida, determinadas suas massas em balança analítica e devolvidos ao dessecador. Aproximadamente 9 g de material filtrante, previamente seco em estufa a 150 °C por 3 horas, foram adicionados a cada cadinho e então levado novamente para a mufla a 650 °C por um período de 8 horas. Após este tempo, os cadinhos foram retirados da mufla, resfriados em dessecador e, posteriormente, pesados em balança analítica e anotado os valores das massas. Para o cálculo do teor de cinzas foi utilizada a Equação 10.

Teor de cinzas = massa sólidos restantes/massa amostra inicial Equação 10

Para determinar a massa específica da areia foi utilizado um picnômetro de 500 mL, construído de maneira que seu volume seja invariável. Primeiramente o picnômetro foi pesado, em balança analítica, e anotada a sua massa. Depois foi colocada água destilada no frasco de forma a ocupar todo o seu volume, pesada em balança analítica e anotada a massa. O frasco foi esvaziado e secado em estufa por 30 min, para retirar o resíduo de água, e resfriado a temperatura ambiente. Após resfriado foi adicionada areia até ocupar aproximadamente um terço do volume do picnômetro. Este conjunto foi pesado em balança analítica e a massa anotada. No frasco com areia foi adicionada água destilada até completar o volume e novamente pesado. A massa do conjunto frasco mais areia mais água foi anotada para calcular a massa específica da areia através da Equação 11.

Para determinar a massa específica do carvão ativado, foi usado querosene no lugar da água, pois o querosene tem densidade menor que a da água, assim o carvão ativado não boia no querosene.

$$d = (A - P)/(W - P) - (C - A) \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

d é a massa específica da areia ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

A é a massa do frasco mais areia (g);

P é a massa do frasco (g);

W é a massa do frasco mais água (g);

C é a massa frasco mais areia mais água (g).

Neste caso é necessário fazer a conversão:  $1\text{ mL água} = 1\text{ g} = 1\text{ cm}^3$ . Assim a massa específica é obtida em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Para determinar a massa específica da brita utilizou-se uma balança hidrostática (Figura 24), destinada ao estudo do empuxo exercido por líquidos sobre os corpos neles imersos e seu funcionamento é baseado no princípio de Arquimedes. Este aparato é especialmente destinado para determinação de densidade de sólidos e líquidos.

Primeiramente a balança foi calibrada e depois foi pesado aproximadamente 500 g de amostra, previamente seca em estufa a  $150\text{ }^\circ\text{C}$  durante 3 horas. Essa mesma massa de material foi colocada em um recipiente amarrado por uma corrente

de ferro ligado ao prato da balança e mergulhado em outro recipiente contendo água. Após 24 horas foi feita a leitura da massa do material submerso em água. Para calcular a massa específica da brita utilizou-se a Equação 12:

$$d = m_s / (m_s - m_a) \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

$d$  é a massa específica da brita ( $\text{g/cm}^3$ );

$m_s$  é a massa de brita seca (g);

$m_a$  é a massa submersa (g).

Para determinar a massa unitária do carvão ativado, primeiramente secou-se uma massa de carvão ativado suficiente para encher uma proveta de 100 mL em estufa a 130 °C durante 3 horas e uma proveta de 100 mL por 30 minutos. Após o resfriamento do carvão e da proveta em dessecador, a massa da proveta foi medida em balança analítica e anotou-se o valor. Então a proveta foi preenchida com o carvão ativado até a marca de 100 mL, o conjunto foi pesado e a massa anotada. O valor medido foi subtraído pela massa da proveta para obter a massa do carvão. O fundo da proveta foi batido sobre uma superfície de borracha até a compactação do volume do carvão ativado. Anotou-se a marca do volume ocupado pelo carvão ativado na proveta após a compactação e a massa unitária do carvão ativado foi calculada pela Equação 13:

$$\rho_a = M_2 - M_1 / V \quad \text{Equação 13}$$

Em que:

$\rho_a$  é a massa unitária ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_1$  é a massa da proveta (g);

$M_2$  é a massa do carvão ativado mais a massa da proveta (g);

$V$  é o volume ocupado pelo carvão após a compactação ( $\text{cm}^3$ ).

Para determinar a massa unitária da areia e brita foi utilizado um recipiente metálico (para que o volume do recipiente seja constante). O volume do recipiente foi obtido pesando na balança (Figura 21) o recipiente vazio e anotando sua massa e depois preenchendo seu volume com água de torneira e anotando a massa do conjunto. Se subtraída a massa do recipiente da massa do conjunto é obtido o volume do recipiente. O material seco deve ser adicionado ao recipiente a partir da

borda sem compactar até o preenchimento total do volume. Depois de pesado o conjunto (recipiente mais material seco) é anotada sua massa. A massa unitária é obtida usando a Equação 14.

$$\rho_a = m_s/V \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

$\rho_a$  é a massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_s$  é a massa do material seco;

$V$  é o volume do recipiente.

O índice de vazios para areia, brita e carvão ativado foi determinado segundo a ABNT NBR NM 45:2006, utilizando-se a massa específica e a massa unitária do material já determinados anteriormente. Para o cálculo do índice de vazios foi utilizada a Equação 15.

$$I_v = 100[(d_{pw}) - \rho_a]/d_{pw} \quad \text{Equação 15}$$

Em que:

$I_v$  é o índice de vazios (%);

$d$  é a massa específica do material ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_a$  é a massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_w$  é a massa específica da água ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Para a determinação do número de iodo do carvão ativado granular é necessário moer o carvão para obter grãos menores ou iguais a 325 *mesh*. Então foi moído cerca de 10 g do carvão ativado até que 95% passe pela peneira de 325 *mesh*. Imediatamente foi realizada secagem em estufa à 130 °C durante 3 horas e, em seguida, resfriado em um dessecador até a temperatura ambiente. Após o resfriamento foi pesado 1,6 g do carvão ativado e adicionado em um béquer de 250 mL, juntamente com 10 mL de ácido clorídrico na proporção 1:5.

O béquer foi colocado sobre uma chapa aquecida por 30 s em ebulição. Após este tempo, o béquer foi retirado e resfriado até a temperatura ambiente. Em seguida adicionou-se 100 mL de solução de iodo 0,1 N e agitou-se durante 30 s com agitador magnético. O conteúdo do béquer foi filtrado com papel filtro qualitativo de Ø 18,5 cm.

Os primeiros 30 mL do filtrado foram descartado e foram retirados 50 mL do restante, para ser titulado com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N até a mistura atingir coloração levemente amarelada. Depois, foi adicionado 2 mL de solução indicadora de amido 5% e continuou-se a titulação até que a coloração azul ficasse incolor.

Ao final da titulação anotou-se o volume total, em mL, de tiosulfato de sódio gasto na titulação ( $V_a$ ) e realizam-se os cálculos de acordo com as Equações 16, 17 e 18.

Na Equação 14 é determinado o número de iodo sem a correção da normalidade do filtrado residual:

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2,2 \times B \times V_a)}{\rho} \quad \text{Equação 16}$$

Em que:

$\frac{X}{M}$  é o número de iodo sem o fator de correção da normalidade do filtrado residual (mg/g);

A é a normalidade da solução de iodo 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução e por 12693;

B é a normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução e por 126,93;

$V_a$  é o volume total da solução de tiosulfato gasto na titulação (mL);

$\rho$  é a massa da amostra de carvão ativado pulverizado (g).

Na Equação 15 é determinada a normalidade do filtrado residual:

$$C = \frac{N_2 \times V_a}{50} \quad \text{Equação 17}$$

Em que:

C é a normalidade do filtrado residual;

$N_2$  é a normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N multiplicada pelo fator de correção da solução;

$V_a$  é volume total da solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação (mL).

Na Equação 18 é determinado o número de iodo.

$$I = \frac{X}{M} \times D$$

Equação 18

Em que:

$\frac{X}{M}$  é o número de iodo sem o fator de correção da normalidade do filtrado residual (mg/g);

D é o fator de correção da normalidade do filtrado residual encontrado na tabela presente na norma ABNT NBR 12073:1991 a partir do valor de C da Equação 15.