

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO



RENATA MARIA BARROS BRAGA

**Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de
biorretenção**

Maceió
2017

RENATA MARIA BARROS BRAGA

**Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de
biorretenção**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira
Passos das Neves.

Maceió
2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

B813e Braga, Renata Maria Barros.
Estudo da remoção de poluentes de águas de drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção / Renata Maria Barros Braga. – 2017.
67 f. : il.

Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa
de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 63-65.

1. Drenagem urbana. 2. Águas pluviais. 3. Biorretenção. 4. Remoção de poluentes. 5. Poluição difusa. I. Título.

CDU: 628.1(1-21)



Folha de Aprovação

RENATA MARIA BARROS BRAGA

ESTUDO DA REMOÇÃO DE POLUENTES DE ÁGUAS DA DRENAGEM
URBANA POR UM DISPOSITIVO DE BIORRETENÇÃO

Dissertação apresentada no dia 26 de abril de 2017 ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
(Orientador- PPGRHS)

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
(Examinador interno – PPGRHS-UFAL)

Prof.ª Dr.ª Alexandra Rodrigues Finotti
(Examinadora externa – PPGEA/UFSC)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus que sempre esteve guiando minhas escolhas e iluminando meu caminho.

Agradeço aos meus pais, Rubens e Zenil, por todo o empenho que tiveram em minha criação, sempre me proporcionando boas oportunidades. Por todo o apoio, incentivo e conselhos tão importantes em minha trajetória.

A minha irmã, Luiza, por todo o companheirismo, apoio, confiança e amizade. A minha tia Zenivalda, que sempre me teve como uma filha e sempre acompanhou de perto todos os meus passos.

Aos meus avós paternos, Amélia (in memoriam) e Darci (in memoriam), e maternos, João Batista (in memoriam) e Luiza (in memoriam). Aos meus tios que me acompanharam desde a infância e àqueles que eu não tive a oportunidade de conhecer, em especial, meu tio Renato o qual eu tive a honra de receber o nome em homenagem.

Aos amigos que sempre estiveram presentes em minha vida e sempre souberam criticar e apoiar minhas decisões. Em especial, agradecer a Rebecca, que vem me dando muita força, além de ter me ajudado a transportar 24 galões de água do canal da UFAL.

Aos meus queridos companheiros nessa jornada (nada fácil) de mestrado, Alane, Tainara, Cristiano, Marconi, Tardelly, Juliana e Teté, por todos os momentos de distração, seja nos horários do café ou em idas a congressos, e por terem me ajudado bastante nas coletas e no laboratório. O apoio de cada um foi imprescindível. Foi muito bom poder compartilhar esses momentos com vocês.

Um agradecimento especial a Camila Agra, minha “maga”, por ter tido muita paciência pra me aturar durante esses dois anos de mestrado, principalmente, na nossa ida a São Carlos. Se eu tivesse que relatar todos os motivos pelos quais quero te agradecer, daria outra dissertação.

Um grande agradecimento a todos os professores do programa pela dedicação e grande contribuição na minha formação. Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Marllus Neves, que não mediu esforços para me ajudar na elaboração deste trabalho, ao Prof. Dr. Vladimir Caramori, pela contribuição para o desenvolvimento do trabalho, a Prof. Dra. Nélia Callado e

ao Prof. Dr. Roberto Caffaro, que me auxiliaram nos ensaios laboratoriais. À técnica de laboratório, Nadjane.

Ao projeto Casadinho, que proporcionou minha ida a EESC/USP, uma experiência única e motivação para continuar na área acadêmica. A ida a São Carlos foi melhor ainda devido ao acolhimento e companheirismo da minha “manacaense”, sertaneja e agora gaúcha Pariconha Feitoza. Muito obrigada, miga.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da UFAL (PPGRHS/UFAL) por ter me proporcionado várias oportunidades, principalmente, a de lecionar uma disciplina na graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro proporcionado durante o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que contribuíram, de alguma forma, para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

A biorretenção é um tipo de técnica de controle da drenagem urbana que contempla os processos de filtração, armazenamento e infiltração, contendo uma camada superior de vegetação. Dessa forma, esse dispositivo pode ser utilizado para várias finalidades na área de gestão de águas pluviais, entre elas, para reduzir a vazão de pico, para manutenção da recarga de águas subterrâneas e para remoção de poluentes. Porém, o desempenho dessa técnica está condicionado a fatores que vão desde a regionalidade (clima, características do solo) a concepção de seu projeto. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho foi de realizar uma análise da qualidade da água em uma biorretenção construída no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (CTEC/UFAL), com ênfase na eficiência de remoção dos poluentes (DQO, DBO_{5,20}, SST, *E coli*, P, Nitrogênio amoniacal, NO₃, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu e óleos e graxas). Para isso, foram realizadas análises em lançamentos de três tipos de águas da drenagem urbana, as escoadas em telhado, em sarjeta e em um canal. Uma metodologia de coleta e lançamento desses dois últimos efluentes teve que ser desenvolvida. Durante o acompanhamento presencial de eventos chuvosos, verificou-se a formação de lâmina d'água superficial. Os estudos realizados com infiltrômetro e com os dados do sensor de nível resultaram em taxas de infiltração na superfície de 70mm/h a 179mm/h. Em relação aos resultados das águas do telhado, foram notadas falhas na concepção do procedimento de coleta desse tipo de efluente. O efeito da primeira lavagem e da contribuição de águas do terreno adjacente não foi considerado, descaracterizando a água de entrada na biorretenção. Os resultados dos lançamentos de outros efluentes foram bastante satisfatórios. Com exceção de alguns valores de SST, houve boa remoção de poluentes, com destaque para as reduções de fósforo total (72,6 – 76,5%), nitrogênio amoniacal (68,0 – 74,8%) e metais pesados (71,4 – 85,7%). Dessa forma, a biorretenção em estudo mostrou bom desempenho na retenção de poluentes.

Palavras-chave: Remoção de poluentes, eficiência da biorretenção, águas pluviais.

ABSTRACT

Bioretention is a type of urban drainage control technique that contemplates filtration, storage and infiltration processes, containing an upper layer of vegetation. Thus, this device can be used for various purposes in the area of storm water management, among them, to reduce the peak flow, to maintain groundwater recharge and to remove pollutants. However, the performance of this technique is conditioned by factors ranging from regionality (climate, soil characteristics) to the design of its project. In this sense, the main objective of this work was to perform a water quality analysis in a bioretention constructed at the Technology Center of the Federal University of Alagoas (CTEC / UFAL), with emphasis on the efficiency of removal of pollutants (COD, BOD_{5,20}, TSS, *E coli*, P, Ammonia, NO₃, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu and oils and greases). For this, analyzes were carried out on the launching of three types of urban drainage water, the drainage in a roof, a gutter and a stream. A methodology for collecting and launching the last two effluents had to be developed. During the monitoring of rainy events, the formation of a superficial water level was verified. Studies with infiltometer and level sensor data resulted in surface infiltration rates from 70mm/h to 179mm/h. Regarding the results of the roof waters, it was noticed flaws in the design of the procedure for collecting this type of effluent. The effect of the first flush and the contribution of adjacent soil water was not considered, depriving the incoming water in the bioretention. The results of the releases of other effluents were quite satisfactory. With the exception of some values of TSS, there was good removal of pollutants, especially the reductions of total phosphorus (72.6 - 76.5%), ammonia-N (68.0 - 74, 8%) and heavy metals (71.4 - 85.7%). Thus, the bioretention under study showed good performance in the retention of pollutants.

Keywords: Removal of pollutants, efficiency of bioretention, storm water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrogramas de comparação entre a bacia rural e depois de urbanizada (impermeabilizada).....	20
Figura 2 - Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.	25
Figura 3 - Exemplos de medidas de controle estruturais.....	26
Figura 4 - Tipos de biorretenção: a) Infiltração/recarga total; b) Infiltração/recarga parcial; c) Filtração/infiltração/recarga parcial; d) Apenas filtração.....	28
Figura 5 - Localização da biorretenção.	34
Figura 6 - Dados de precipitação média mensal da estação pluviométrica 935004.....	35
Figura 7 - Planta do lote onde foi construída a biorretenção.....	35
Figura 8 – a) Planta Baixa; b) Corte Longitudinal da Biorretenção segundo Menezes (2015).	36
Figura 9 - Imagem da biorretenção em 2016.....	38
Figura 10 - Fluxograma adotado durante a realização do trabalho.	39
Figura 11 - Pluviômetro instalado.	40
Figura 12 - Vertedor triangular utilizado no monitoramento. a) ilustração; b) vertedor real...	41
Figura 13 - Procedimento utilizado para calibração da curva do vertedor.....	41
Figura 14 - Curva da vazão em função do nível da água acima da crista do vertedor.	42
Figura 15 - a) Perfil do equipamento de coleta; b) equipamento confeccionado; c) utilização do equipamento.	43
Figura 16 – a) Ensaio de duplo anel; b) Localização aproximada de onde foram realizados os ensaios.	44

Figura 17 - Esquema de lançamento e monitoramento da biorretenção.....	45
Figura 18 - Esquema para lançamento de água na biorretenção.	46
Figura 19 - Imagem da entrada principal da UFAL em um dia de chuva, com acúmulo de água na sarjeta.....	48
Figura 20 - Ponto de coleta do canal de drenagem do Campus A. C. Simões da UFAL.	48
Figura 21 - Altura do nível d'água na biorretenção e no poço de coleta.	49
Figura 22 - Dados de precipitação mensal em pluviômetros próximos a UFAL.	53
Figura 23 – Localização dos pluviômetros de referência.	54
Figura 24 – Presença de nível d'água acima da camada superior da biorretenção, no evento de 02 de junho de 2016: a) contribuição do telhado; b) contribuição do terreno.....	55
Figura 25 - Perfil longitudinal da Biorretenção após realização do levantamento em dezembro de 2016	56
Figura 26 – Dados dos ensaios de infiltração de duplo anel.	56
Figura 27 - Nível da água (cm) na superfície da biorretenção e acima da crista do vertedor (Evento de 03 de junho de 2016).....	58
Figura 28 – Gráficos de dispersão dos parâmetros quantitativos dos 10 eventos em relação a taxa de infiltração.	59
Figura 29 - Gráficos de dispersão dos parâmetros quantitativos dos 10 eventos em relação lâmina d'água máxima formada.	60
Figura 30 – Ilustração dos níveis de água, no perfil da biorretenção, quando a lâmina d'água atinge seu máximo (evento de 19/06/2016).....	61
Figura 31- Amostras coletadas no dia 04 de junho de 2016.....	63
Figura 32 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 04 de junho de 2016...65	
Figura 33- Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 14 de junho de 2016....	65

Figura 34 – Gráficos com os instantes de amostragem na entrada – (a) e (c); e na saída – (b) e (d).	67
Figura 35 – Amostras do ensaio realizado em 31/08/2016.	71
Figura 36 - Concentrações de cor e turbidez na coleta do dia 31 de junho.	72
Figura 37 -Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 31 de agosto de 2016. .	73
Figura 38 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 13 de outubro de 2016.	74
Figura 39 – Amostras retiradas: a) dia 06 de dezembro; b) dia 21 de dezembro de 2016.	76
Figura 40 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 06 de dezembro de 2016.	79
Figura 41 – Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 21 de dezembro de 2016.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Origem e natureza dos poluentes na drenagem urbana.	22
Tabela 2 - Comparação das cargas poluentes das águas pluviais e servidas.	23
Tabela 3 - Concentrações de poluentes na drenagem urbana.	24
Tabela 4 - Caracterização dos estudos na área de qualidade da água em biorretenção.	29
Tabela 5 - Remoções de poluentes na biorretenção obtidas por outros autores.	33
Tabela 6 - Datas das coletas.	50
Tabela 7 - Parâmetros analisados no LSA, metodologias utilizadas e limites de detecção.	50
Tabela 8 - Parâmetros analisados em laboratório externo.	51
Tabela 9 – Dados de 10 eventos ocorridos em junho de 2016, referentes a formação de lâmina d'água na camada superior da biorretenção.	57
Tabela 10 - Valores do coeficiente de correlação linear r	61
Tabela 11 - Características da chuva em cada evento e do escoamento gerado.	62
Tabela 12- Parâmetros físicos e pH das coletas de água escoadas pelo telhado.	63
Tabela 13 - EMC das amostras referentes ao lançamento de água escoada pelo telhado.	64
Tabela 14 - Dados de concentração das coletas na sarjeta em comparação com os resultados apresentados por outros trabalhos.	69
Tabela 15 - Precipitações no dia da coleta e nos dias antecedentes.	70
Tabela 16 - Valores de parâmetros físicos e pH de entrada e saída na biorretenção -s lançamentos de água de sarjeta.	71
Tabela 17 - Concentrações médias de entrada e saída na biorretenção das águas coletadas na sarjeta.	73

Tabela 18 - Precipitações antecedentes aos dias 06 e 21 de dezembro de 2016.	75
Tabela 19 – Características físicas e pH das amostras referentes ao lançamento de água do canal.	76
Tabela 20 – EMC dos demais parâmetros químicos e microbiológicos do lançamento de águas do canal.....	77
Tabela 21 - Comparação das taxas de remoção de poluentes com a literatura.	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

BMP	Best Management Practices
Cd	Cádmio
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
CT	Coliformes totais
CTEC	Centro de Tecnologia
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E coli	Escherichia coli
EMC	Event mean concentration
IMP	Integrated Management Practices
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LID	Low Impact Development
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
MO	Matéria Orgânica

Ni	Níquel
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
SUDS	Sustainable Urban Drainage System
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
WSUD	Water Sensitive Urban Desing
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 Situação da Drenagem Urbana.....	20
3.2 Qualidade da Água na Drenagem Urbana.....	21
3.3 Medidas de Controle.....	24
3.4 Qualidade da Água em Biorretenção.....	28
3.4.1 Remoção de sólidos suspensos.....	30
3.4.2 Remoção de metais pesados.....	30
3.4.3 Remoção de patogênicos.....	31
3.4.4 Remoção de nutrientes (P e N).....	31
3.4.5 Remoção de óleos e graxas.....	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	34
4.2 Metodologia.....	38
4.2.1 Equipamentos utilizados no monitoramento.....	40
4.2.2 Metodologia para avaliação da formação de lâmina d'água na superfície da biorretenção.....	43
4.2.3 Metodologia para monitoramento da biorretenção em eventos chuvosos....	44
4.2.4 Metodologia para lançamento de outros efluentes.....	46
4.2.5 Análises de qualidade da água.....	50
4.2.6 Análise dos dados coletados.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1 Precipitação durante o Período de Coleta.....	53
5.2 Avaliação da Formação de Lâmina d'água da Superfície da Biorretenção.....	54
5.3 Escoamento de Água do Telhado.....	62
5.4 Lançamento de Água de Sarjeta.....	68

5.4.1 Caracterização da água da sarjeta	68
5.4.2 Concentrações no fundo da biorretenção.....	71
5.5 Lançamento de Água de Canal	75
5.6 Eficiência de Remoção de Poluentes na Biorretenção	80
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
6.1 Conclusões	83
6.2 Recomendações.....	84
REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

O sistema convencional de drenagem urbana consiste em coletar as águas pluviais e transportá-las rapidamente para jusante. Essa medida amplia a descarga de pico superficial da bacia, tornando-a propícia a inundações e conseqüente proliferação de doenças (TUCCI, 2007). Uma solução para essa problemática é reduzir o volume escoado a partir da fonte, através das chamadas técnicas compensatórias, ou agir no contexto de uma abordagem maior, de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID – *Low Impact Development*) que visa prever os impactos e as ações antes da ocupação, de modo que a drenagem seja planejada antes mesmo da previsão dos lotes. Nessa abordagem, há diversas técnicas e dispositivos que auxiliam no alcance do objetivo, sendo uma delas as biorretenções.

As biorretenções são dispositivos que remanejam as águas pluviais para o solo de maneira a obter um comportamento hidrológico similar ao natural, reduzindo a vazão de pico e proporcionando recarga de águas subterrâneas (DAVIS et al, 2009). Essa técnica vem apresentando resultados satisfatórios em relação à diminuição de custos em sistemas de drenagem e à remoção de poluentes. Ela deve ser composta por uma camada filtrante, de armazenamento e de vegetação. Essa camada com plantas deve proporcionar um ambiente visualmente atraente e auxiliar na retenção de sedimentos e nos processos químicos, físicos e biológicos de remoção de poluentes (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

As abordagens de drenagem urbana sustentável são alvos de vários estudos pelo mundo, principalmente na Europa e América do Norte (ROSA, 2016). Os pesquisadores brasileiros também têm contribuição no meio científico, com trabalhos sobre biorretenção, telhados verdes, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, entre outros. Em relação às biorretenções, Melo et al (2014), Daniel Jr (2013), Moura (2013), Menezes (2015), Rosa (2016), Macedo et al (2015) e Ferreira et al (2016) são alguns trabalhos em que foram realizados o monitoramento ou análise do desempenho desse tipo de dispositivo, em relação ao amortecimento de volumes escoados ou ao tratamento das águas.

Em se tratando da qualidade das águas pluviais, alguns pesquisadores avaliaram a eficiência da biorretenção na remoção de poluentes. Devido à complexidade das reações químicas presentes no ciclo do nitrogênio, esse foi o poluente que mais apresentou divergências nos resultados dos trabalhos revisados (DIETZ; CLAUSEN, 2005; DAVIS, 2007; WANG; CHUA; SHANAHAN, 2017). Outros tiveram aumento de *Escherichia coli* (*E coli*) na saída, que foi justificado pelo transporte dessas bactérias presentes no próprio solo do dispositivo (LI; DAVIS, 2009).

Como existem vários processos físicos, químicos e biológicos acontecendo simultaneamente em uma biorretenção, muitos fatores podem influenciar no desempenho dessa técnica. O clima da região onde será instalada, os materiais empregados, as plantas utilizadas, as características do solo natural e da área de drenagem são alguns desses fatores. Assim, uma mesma técnica construída em locais com características diferentes pode apresentar divergências nos resultados.

Nesse sentido, este trabalho propõe dar continuidade aos trabalhos realizados por Rosendo (2013), Menezes (2015) e Mezzomo (2016) e avaliar a eficiência de remoção de poluentes de uma biorretenção situada no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (CTEC/UFAL). Essas análises serão importantes por trazerem mais elementos de discussão acerca da eficiência da remoção de poluentes de uma biorretenção em locais de clima tropical.

A dissertação estará inserida em um contexto de projetos de pesquisa em Hidrologia Urbana, citados a seguir, e diretamente vinculado ao projeto de pesquisa “MAPLU 2 - Manejo de águas pluviais: monitoramento, modelagem, desenvolvimento de tecnologias de baixo impacto e de instrumentos para a gestão de águas pluviais em meio urbano”.

O MAPLU 2 tem o objetivo de desenvolver soluções urbanísticas e ambientalmente adequadas de manejo de águas pluviais para a redução do impacto sobre o hidrograma de enchentes, com especial atenção para a qualidade da água, o controle de vetores e a gestão de resíduos sólidos em bacias experimentais urbanas.

Os demais projetos são:

- “Lote urbano real: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento superficial”, Edital Universal 14/2013 - Faixa A;
- H2Urb: indicadores de eficiência qualiquantitativos de drenagem em bacias urbanas e periurbanas, da Rede Hidroeco: Hidrograma ecológico e modelagem qualiquantitativa de bacias (em andamento), formada a partir da Chamada Pública MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010 com as seguintes instituições: UFRJ, UFSM, EESC-USP, FEIS-UNESP, UFAL.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise do funcionamento de uma biorretenção construída no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas quanto a sua eficiência de remoção de poluentes.

2.2 Objetivos Específicos

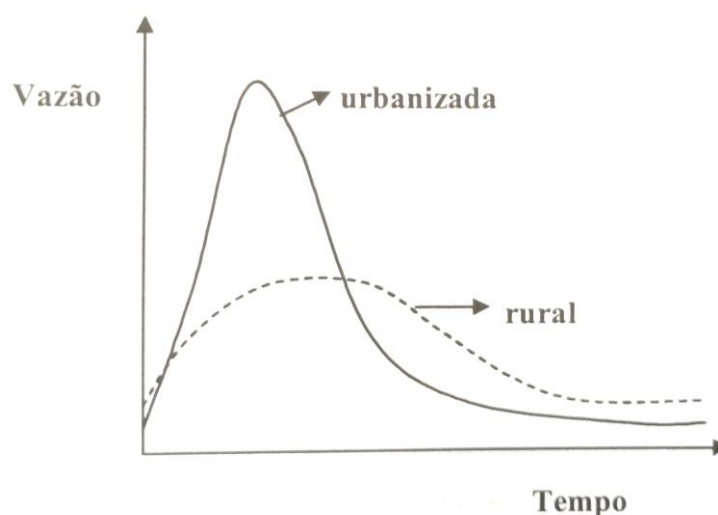
- a) Analisar alguns condicionantes da formação de lâmina d'água na superfície da biorretenção;
- b) Verificar as concentrações médias de entrada e saída da biorretenção em relação a parâmetros físico-químicos e bacteriológicos quanto ao escoamento de águas pluviais de telhado;
- c) Verificar se o funcionamento da biorretenção se repete ao receber contribuição de efluentes provenientes de outras estruturas de drenagem urbana, com parâmetros de concentrações diferentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Situação da Drenagem Urbana

É comum, em várias cidades do Brasil, ocorrer inundações durante o ano, causando vários impactos negativos para população. As principais causas dessas enchentes são a ocupação populacional em áreas ribeirinhas e o aumento de áreas impermeabilizadas devido ao crescimento da população. Ao impermeabilizar o solo, há mudança no hidrograma da bacia, com aumento e antecipação da vazão de pico (Figura 1). Como consequência, são verificados: perdas materiais e humanas; o comércio da região afetada é interrompido; contaminação por doenças de veiculação hídrica; contaminação da água pelos resíduos presentes nas áreas impermeáveis; degradação dos cursos d'água; entre outros (TUCCI, 2007).

Figura 1 - Hidrogramas de comparação entre a bacia rural e depois de urbanizada (impermeabilizada).



Fonte: Tucci (2007).

O sistema de drenagem urbana no Brasil, adotado por vários manuais de drenagem, consiste em recolher as águas pluviais e lançá-las para jusante, o que apenas transfere as inundações para outros locais (SOUZA, 2013). Como resultado, passa a ser necessário redimensionar toda a canalização a jusante, gerando mais custos com obras. Além disso, nesse conceito não são considerados os problemas de qualidade das águas pluviais (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Devido a isso, alguns países passaram a adotar outros conceitos para manejo das águas das chuvas. Inicialmente, a medida tomada foi a utilização de estruturas de armazenamento. Com o tempo, surgiram técnicas para o controle quali-quantitativo dessas águas, utilizando solo

e vegetação para promover infiltração, evapotranspiração e contato entre bactérias presentes nas plantas e poluentes (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Esses novos sistemas de manejo de águas pluviais cresceram em vários países. Na América do Norte, surgiu o conceito de BMP (*Best Management Practices*) que se trata de práticas estruturais e não-estruturais, caracterizadas por dispositivos que visam lidar com problemas tanto de qualidade quanto de quantidade da água. Dentro desse contexto, encontra-se a LID (*Low Impact Development* – Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), uma abordagem que busca minimizar as áreas impermeabilizadas e manter áreas naturais. São exemplos de técnicas utilizadas dentro da abordagem LID: biorretenção, telhados verdes, valas de infiltração. Já no Reino Unido, um conceito similar, o SUDS (*Sustainable Urban Drainage System*), consiste na utilização de técnicas para drenar águas pluviais de maneira mais sustentável que a drenagem convencional, baseando-se na filosofia de reproduzir o que acontece naturalmente. SUDS são mais voltados para o controle de quantidade da água do que da qualidade (FLETCHER, 2014).

Burns et al.(2012) afirmam que, para o controle na drenagem urbana, existem três fases: a primeira focada na eficiência da drenagem, com sistemas capazes de conduzir o escoamento superficial às águas receptoras de forma eficiente, a segunda com foco na redução das cargas poluidoras (e potencialmente nos picos de vazão), na qual se enquadram as técnicas ditas de baixo impacto LID e a WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), e a terceira fase com foco ou baseada no gerenciamento do regime de escoamento, onde se procura atingir metas além do simples controle da poluição ou do pico de vazão, propondo-se manter a integridade do ecossistema das águas receptoras, avaliando as vazões mínimas também.

No Brasil, o emprego desses conceitos na drenagem urbana ainda está em estágio inicial. A medida de controle mais utilizada é a bacia de amortecimento de cheias, mas já existem legislações que obrigam a utilização de telhados verdes de acordo com o tipo da edificação, por exemplo. Além disso, as secas ocorridas no país despertaram para o aproveitamento de águas pluviais. Os tipos de medidas de controle serão explicados no item 3.3.

3.2 Qualidade da Água na Drenagem Urbana

A influência das águas pluviais na poluição de corpos d'água é incontestável, mas ainda é considerado um processo complexo devido à diversidade de fontes poluidoras durante a

lavagem das superfícies. As principais origens das cargas de poluente em cidades estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Origem e natureza dos poluentes na drenagem urbana.

Origem	Natureza dos poluentes
Circulação de automóveis	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarbonetos (óleos, graxas e gasolina) • Metais provenientes do desgaste dos pneus (zindo, cádmio, cobre) e de peças metálicas (titânio, cromo, alumínio...), chumbo (gasolina) • Óxido de nitrogênio (gases do escapamento) • Poluentes provenientes da erosão de pavimentos de vias (elementos procedentes do cimento ou do pavimento das calçadas, das pinturas do pavimento, notadamente o chumbo)
Indústria	<ul style="list-style-type: none"> • Metais (chumbo, cádmio e zinco) • Resíduos do petróleo e micro poluentes orgânicos rejeitados sob forma líquida ou gasosa podendo ser carreados por longas distâncias
Animais	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica proveniente de despejos animais (domésticos ou selvagens) que podem constituir-se em fonte de contaminação bacteriana ou viral
Resíduos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica, plásticos, metais diversos, papéis, etc. rejeitados diretamente nas bocas de lobo, provenientes da lixiviação das superfícies urbanas pelas águas pluviais, de depósitos ilegais de resíduos sólidos ou de aterros sanitários mal geridos • Poeiras contendo diferentes poluentes (em particular, o zinco que provém de usinas de incineração emitindo grandes quantidade de poluentes)
Erosão dos solos e em canteiros de obras	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria em suspensão (poluição mineral que pode conter agentes ativos como o asfalto)
Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> • Matérias carbônicas, mais ou menos biodegradáveis (folhas mortas, polens) • Nitratos e fosfatos provenientes de adubos • Compostos organo-clorados (pesticidas e herbicidas)

Fonte: (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Como consequências dessa poluição difusa, pode-se citar: colmatação dos leitos e diminuição da transparência devido às partículas carreadas; consumo de oxigênio, crescimento excessivo de bactérias e eutrofização nos rios devido a presença de matéria orgânica e nutrientes; toxicidade; comprometimento à produção de água potável; inibição da vida aquática; risco à balneabilidade; entre outras (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Apesar de só contribuir para degradação dos rios durante eventos de chuva, as cargas poluidoras transportadas na drenagem urbana podem causar mais danos que as águas servidas, quando comparadas em um espaço de tempo curto (Tabela 2). Isso se deve às elevadas concentrações lançadas durante o período chuvoso, causando efeitos imediatos ou de “choque” no meio (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Tabela 2 - Comparação das cargas poluentes das águas pluviais e servidas.

Poluente	Relação da carga poluente das águas pluviais e de esgotamento sanitário		
	Ano	Dia	Hora
SST	1/2	1/2	50
DBO _{5,20}	1/27	1/6	4
DQO	1/9	1/2	12
TKN	1/27	1/7	3,5
Pb	27	80	2.000
Zn	1/1	4	100
Hg	1/1	7	-
Cd	1/1	5	-

Fonte: (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Um conceito importante para o estudo da qualidade da água da drenagem, e que o torna ainda mais complexo, é o efeito das “primeiras lavagens” ou mais comumente conhecido por *first flush*. Esse fenômeno é frequentemente considerado a porção mais poluída do escoamento e só ocorre em um escoamento quando uma parcela alta da massa total de poluentes é carregada por uma pequena parte do volume total escoado. Sua ocorrência depende de fatores como a intensidade e duração da chuva, o período seco antecedente e as características da área de captação.

Berndtsson (2014) realizou um estudo em Trelleborg, uma cidade do sul da Suécia, para avaliar o efeito do *first flush* em quatro bacias urbanas dessa cidade com diferentes intensidades de tráfego. As coletas foram realizadas em galerias de águas pluviais, durante as estações do ano com exceção do inverno. A autora verificou que a poluição das águas, nos quatro pontos, diminuiu da primavera para o verão e do verão para outono. Esse decréscimo pode estar relacionado à precipitação total de cada estação (primavera foi a que apresentou valor menor) e também por a primavera ser a estação de derretimento da neve.

Outros resultados apresentados no trabalho de Berndtsson (2014): a via de tráfego mais intenso (7000 automóveis por dia) apresentou maiores concentrações de poluentes; e houve uma correlação positiva entre o parâmetro de sólidos suspensos totais (SST) e os valores de

metais pesados e de fósforo total. Essa correlação permite concluir que a redução de SST das vias (por meio da limpeza das mesmas, por exemplo) pode diminuir consideravelmente as cargas poluidoras de metais e fósforo. Os valores das concentrações de alguns poluentes estão apresentados na Tabela 3.

A finalidade do uso do solo é também fator determinante na qualidade das águas pluviais. Sarukkalgige, Priddle e Gamage (2012) estudaram a poluição da água em três tipos distintos de áreas do Parque da Cidade de Victoria, na Austrália Ocidental: residencial, comercial e industrial. O estudo não se baseou em analisar apenas o *first flush* e, sim, todo o evento. Os resultados obtidos por eles estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentrações de poluentes na drenagem urbana.

Parâmetro	Berndtsson (2014)			Sarukkalgige, Priddle e Gamage (2012)		
	Área residencial* no verão	Área residencial* no outono	Área de tráfego médio** no verão	Comercial	Residencial	Industrial
pH	-	--	-	5,74	6,73	6,49
SST (mg/L)	43 (6-86)	19 (6-32)	105(55-150)	0,007	0,016	0,039
Turbidez (NTU)	-	-	-	1,164	1,900	1,762
Nitrito (mg/L)	-	-	-	0,008	0,006	0,007
Nitrato (mg/L)	-	-	-	0,003	0,015	0,081
Amônia (mg/L)	-	-	-	0,019	0,004	0,063
Cr (µg/L)	2,5 (0,5-4)	0,7 (0,5-1)	4,0 (0,5-7,4)	-	-	-
Pb (µg/L)	3,7 (1,5-6,5)	1,7 (1,5-2)	5,6 (1,5-9,2)	-	-	-
Zn (µg/L)	49 (42-59)	25 (18-33)	59 (7-100)	-	-	-
Cd (µg/L)	0,09 (0,06-0,13)	0,07(0,05-0,09)	0,09(0,05-0,14)	-	-	-
Ni (µg/L)	2,6 (1,9-3,9)	1,5 (1,5-1,5)	3,6 (1,5-5,4)	-	-	-
Cu (µg/L)	19,6 (14-25)	4,4 (3,4-6,3)	16,8 (8,4-25)	-	-	-

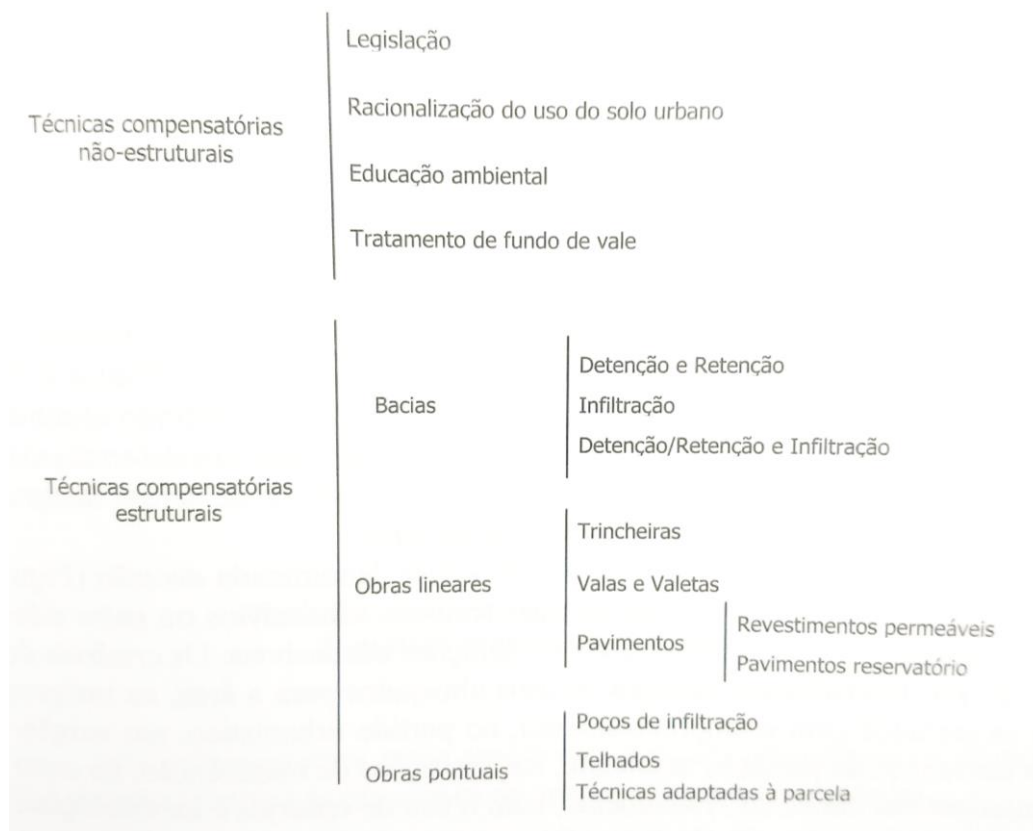
*Área composta por superfície de concreto, asfalto e grama (tráfego de 80 carros por dia)
 **Avenida principal com tráfego de 3000 carros por dia.
 (mínimo – máximo)

Fonte: Elaborada pela autora.

3.3 Medidas de Controle

As medidas de controle da drenagem urbana são técnicas que buscam uma abordagem integrada da prevenção de riscos de inundações, de poluição e na saúde pública, com o projeto de ordenamento urbano. Diferente do modelo clássico de drenagem, essas medidas buscam resolver o problema na fonte. Nesse contexto, foram desenvolvidas medidas não-estruturais e estruturais, exemplificadas na Figura 2.

Figura 2 - Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.



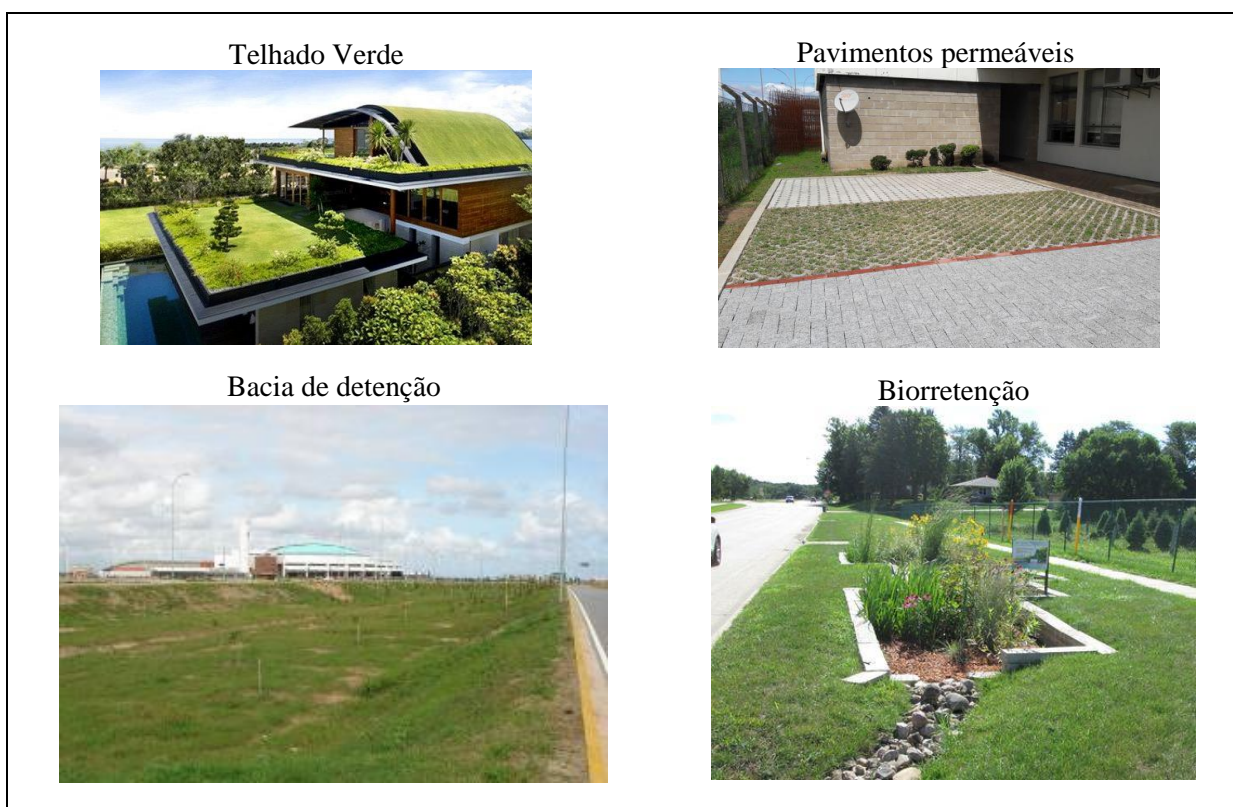
Fonte: (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

As medidas estruturais podem se dividir em técnicas de retenção e de infiltração, ou utilizá-las em conjunto. O uso de técnicas de infiltração depende do valor da percolação do solo natural, que deve ser suficiente para que não haja extravasamento de água. São exemplos desse tipo de medida: as trincheiras, que são técnicas que permitem aumentar a recarga do lençol freático e reduzir o escoamento superficial, recolhendo águas escoadas em telhados e outras superfícies impermeáveis; os pavimentos permeáveis, poços de infiltração, planos de infiltração, entre outros. As medidas de armazenamento acumulam água e lançam na rede de drenagem com uma vazão menor, buscando uma vazão de pico similar ao da bacia sem impermeabilização. São técnicas de armazenamento: os telhados armazenadores, as bacias de retenção e os reservatórios (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A utilização de estruturas corretivas apenas de armazenamento ou infiltração não minimizam efetivamente os impactos causados em relação à qualidade da água pluvial. Devido a isso, surgiram as práticas de manejo integrado ou IMPs (*Integrated Management Practices*) que se diferenciam das demais técnicas por tentar se aproximar das condições hidrológicas pré-existentes, como por exemplo as biorretenções e os telhados verdes (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). A utilização de plantas contribui para o processo de evapotranspiração, e as raízes podem

ajudar a melhorar a permeabilidade do meio e a adsorver poluentes não biodegradáveis, além de acomodar populações microbiológicas responsáveis pelos processos de degradação dos poluentes da água (DAVIS et al, 2009). Por ser composta por camada filtrante, de armazenamento e de vegetação, a biorretenção é uma medida de controle promissora no que se refere ao tratamento de águas pluviais. Imagens de algumas dessas medidas de controle estão ilustradas na Figura 3.

Figura 3 - Exemplos de medidas de controle estruturais.



3.3.1 Biorretenção

A biorretenção é uma técnica de controle de águas pluviais que, além de funcionar para reduzir vazões de pico, auxilia na melhora da qualidade das mesmas. As propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes – solos e plantas – podem causar, em seu interior, processos como adsorção, filtração, volatilização, troca de íons e decomposição. A presença de plantas nessa técnica não só auxilia na remoção de poluentes como contribui esteticamente para o local onde foi instalada (PGDER, 2007).

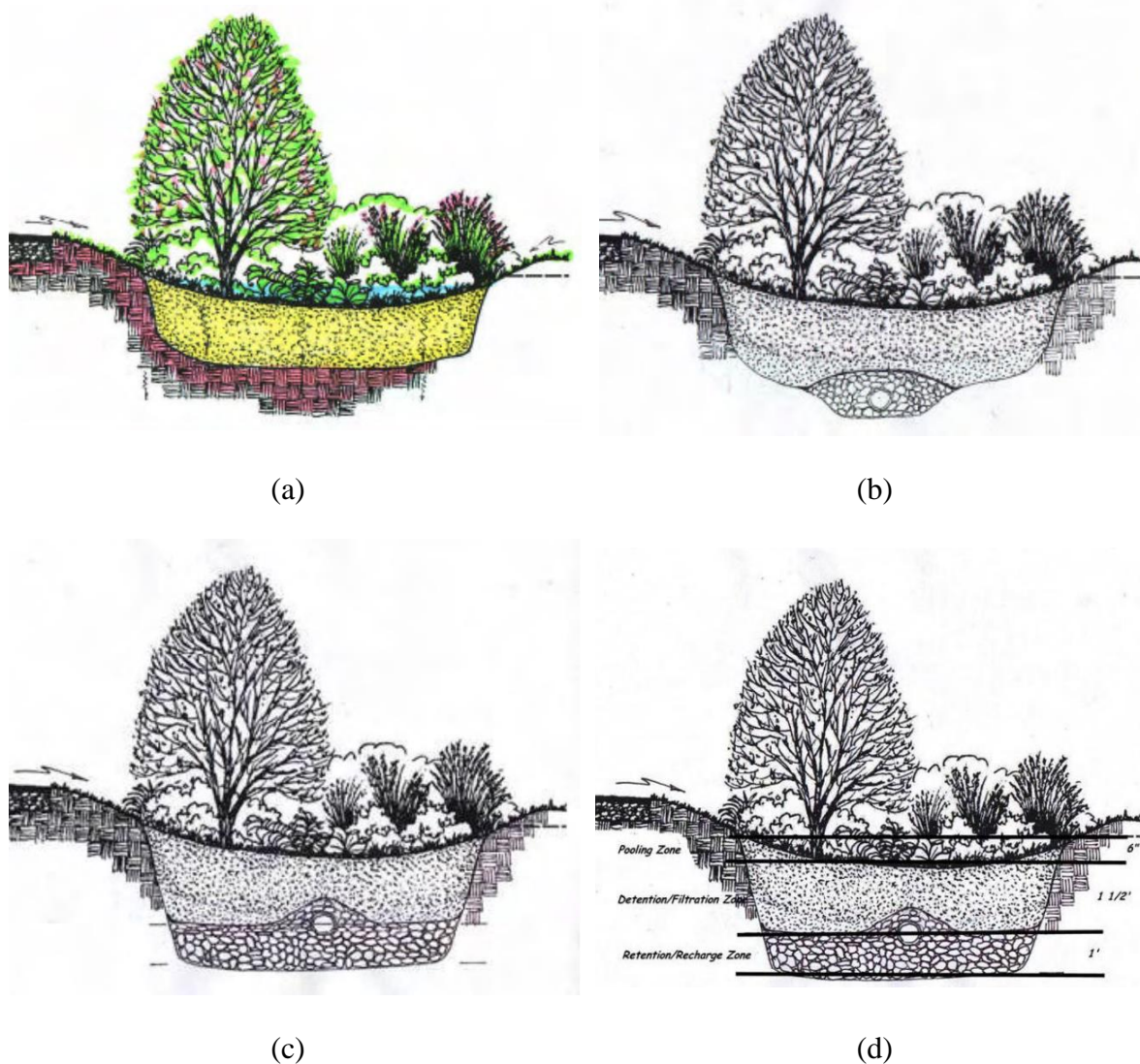
Em um sistema de biorretenção podem ocorrer os processos de: interceptação, infiltração, assentamento das partículas, evaporação, filtração, absorção de partículas, transpiração, evapotranspiração, assimilação de nutrientes, adsorção, nitrificação,

desnitrificação, volatilização, atenuação térmica da água, degradação e decomposição (PGDER, 2007). Devido a essa complexidade, o dimensionamento de uma biorretenção tem que ser bem detalhado para garantir bom desempenho, englobando todos esses processos.

A aplicação dessa técnica pode ser tanto em áreas comerciais, como em industriais e residenciais. Podem ser encontradas em perímetros de estacionamentos, calçadas, jardins, entre outros. Além disso, pode ter composições diferentes de acordo com a finalidade (infiltração total, infiltração parcial, filtração). Esses tipos de biorretenção estão descritos a seguir (PGDER, 2007) e podem ser visualizados na Figura 4:

- a) Biorretenção de infiltração e recarga subterrânea: utilizada em locais onde a taxa de infiltração no solo é superior a 1 pol/h (~25mm/h). Nesse tipo, a profundidade mínima é de 2,5 pés (igual a 0,762m), para permitir filtração adequada da água, e não há utilização de dreno.
- b) Biorretenção de filtração e recarga parcial: similar a primeira, só que a recarga subterrânea é parcial devido a instalação de um dreno na região de cascalho. Além disso, é recomendado utilizar uma manta geotêxtil.
- c) Biorretenção para filtração, infiltração e recarga: utilizada para receber e tratar água com alta carga de nitrato. Essa técnica foi projetada para incorporar uma zona de variação aeróbia/anaeróbia abaixo do tubo de descarga. Assim, são geradas condições para a desnitrificação natural, removendo o nitrato.
- d) Biorretenção de filtração: utilizada em locais onde podem ter cargas de poluentes acidentais, como os postos de gasolina por exemplo. Nesse caso, o dispositivo serve apenas para filtração. Assim, é impermeabilizado para não contaminar o solo e a água sai da biorretenção através de um dreno.

Figura 4 - Tipos de biorretenção: a) Infiltração/recarga total; b) Infiltração/recarga parcial; c) Filtração/infiltração/recarga parcial; d) Apenas filtração.



Fonte: (PGDER, 2007).

3.4 Qualidade da Água em Biorretenção

A preocupação em relação a melhora da qualidade da água da drenagem urbana surgiu com o aparecimento de novas abordagens e conceitos sobre o manejo das águas pluviais. Inserida nessas abordagens, a biorretenção vem ganhando destaque por apresentar ótimas remoções de poluentes. Nesta sessão serão apresentados alguns trabalhos (HUNT et al, 2008; LI; DAVIS, 2009; ROSA, 2016; WANG; CHUA; SHANAHAN, 2017) que avaliaram a remoção de vários poluentes em sistemas de biorretenção com características e condições climáticas distintas. Davis et al (2009) fizeram uma revisão bibliográfica sobre a eficiência de remoção de poluentes em biorretenções e, esse trabalho, será utilizado para complementar as

informações. A caracterização do ambiente de estudo e a metodologia dos trabalhos que avaliaram a qualidade da água em biorretenções estão detalhadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização dos estudos na área de qualidade da água em biorretenção.

Autores	Características da biorretenção	Características da área de contribuição	Características das coletas.
Hunt et a (2018)	Área superfície: 229m ² ; Volume: 41 m ³ ; Profundidade: 1,2m; Tipo do solo: areia; Contém 17 espécies de plantas	Área: 0,37 ha; Descrição: pavimento asfáltico antigo em um estacionamento municipal; Local: Charllote, C.N; Clima: quente e úmido; Temp: 16,3 a 26,8°C; Precip. anual: 1.108 mm.	Fluxo de entrada medido por um vertedor triangular de 120 graus; Coleta de entrada: à montante do vertedor; Coleta de saída: tubulação de drenagem; Período de coletas: evereiro de 2004 a março de 2006; Total: 23 coletas; Parâmetros avaliados: NT, NO ₂ , NO ₃ , NTK, NH ₄ , SST, P, Zn, Cu, Fe, Pb, <i>E coli</i> e coliformes fecais.
Li e Davis (2009)	Analisou 2 biorretenções em locais diferentes. CP – College Park: Forma trapezoidal; área de 181m ² ; profundidade variando entre 0,5 e 0,8m. SS – Silver Spring: Forma triangular; área de 102m ² ; profundidade de 0,9m.	Biorretenção de College Park (CP), Maryland, EUA: recebe contribuição de estacionamento e de uma estrada local; Área: 0,28 ha (90% impermeabilizada). Biorretenção de Silver Spring (SS), Maryland, EUA: recebe escoamento de um estacionamento de instalações de serviços de saúde. Área: 0,45ha (90% impermeabilizada).	Uso de amostrador automático ponderado pelo fluxo; Monitoramento de abril de 2006 a julho de 2007; Coleta de amostra nas tubulações de entrada e de saída; Total de 15 coletas de qualidade da água em cada biorretenção.
Rosa (2016)	Área superfície: 63m ² ; Largura: 5,2 m.	Biorretenção localizada em São Carlos, SP. Área de contrib.: 2,3ha;	Coleta na entrada com amostrador automático, na área de armazenamento e na saída. Total de 3 eventos chuvosos analisados (todos aconteceram no período de seca da região)
Wang, Chua e Shanahan (2017)	Área superfície: 240m ² ; Área de tratamento dividida em duas células, interligadas hidraulicamente por 10 tubos; Possui tubulação de drenagem subterrânea e uma calha para transbordamento; Possui uma zona de saturação para favorecer a desnitrificação.	Área: 16.800 m ² ; 88% é impermeável; Tempo de concentração de 10 min; Está em uma bacia residencial; Situada em Cingapura.	Coletas realizadas com um amostrador automático; Amostras: 6 coletas em 4 pontos: entrada, saída (tubulação de drenagem), calha de transbordamento e na superfície da biorretenção; Parâmetros avaliados: série de nitrogênio e fósforo, SST e DQO.

Fonte: Elaborada pela autora.

3.4.1 Remoção de sólidos suspensos

Sólidos suspensos é a parcela dos sólidos totais presentes na água cujo diâmetro é superior a $1,2\mu\text{m}$. Além disso, a presença desses sólidos confere turbidez à água (PIVELI; KATO, 2006). A eficiência em remover os sólidos suspensos pode ser justificada pela retenção dos mesmos nos poros do material das camadas, e isso se torna um fator determinante para o processo de colmatação do meio.

A colmatação não se deve apenas à obstrução dos poros por sólidos suspensos, mas também por criação de biofilme, desgaste do material suporte, detritos vegetais, entre outros. Esse processo ocorre mais intensamente na região onde o afluente é lançado (GUIMARÃES, 2013) e, quanto menor for a área de entrada para receber o afluente, mais rápido será a colmatação nessa região (PAOLI; VON SPERLING, 2013).

Em relação à eficiência da biorretenção em reter os sólidos, Davis et al (2009) verificaram que esse tipo de técnica apresenta bons resultados, diferente do que foi observado por Daniel Jr (2013). Este autor verificou aumento de turbidez, sólidos totais e suspensos na saída de uma biorretenção construída em Santa Maria, RS, Brasil. Como justificativa, o autor sugere que pode ter sido erosão do solo do meio e, também, à agitação provocada pelo equipamento de coleta da água. Wang, Chua e Shanahan (2017) teve oscilação nos resultados referente a remoção de SST. Dos 6 eventos analisados nesse estudo, os que apresentaram menores remoções foram os de maior precipitação e intensidade de chuva, obtendo-se redução negativa (-12%) em um deles.

3.4.2 Remoção de metais pesados

Em águas naturais, a presença de metais pesados normalmente é encontrada em baixas concentrações (na ordem de $\mu\text{g/L}$), vindo a ser enquadrada como traços de poluentes inorgânicos por alguns autores (SAWYER, 2002; MCKEE E GILBREATH, 2015). Apesar de se apresentarem em baixos valores, os metais pesados possuem efeito bastante nocivo aos organismos aquáticos e ao próprio ser humano, além de se acumularem ao longo da cadeia alimentar (PIVELI E KATO, 2005). Chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) são exemplos desse tipo de contaminante.

A poluição devido ao escoamento de águas pluviais é uma fonte desses tipos de metais em cursos d'água, devido à lavagem de partículas e resíduos que ficam acumulados na superfície durante o período sem chuva. No trabalho desenvolvido por McKee e Gilbreath

(2015), realizado em uma bacia urbana de São Francisco, Califórnia, as coletas mostraram que 85-95% de todas as cargas de alguns metais foram transportados durante o período de chuva.

Sistemas de biorretenção são eficazes na remoção de metais pesados, pois os mesmos ficam retidos já nas camadas superiores (DAVIS et al, 2009). Rosa (2016) também observou este resultado, obtendo boas remoções de Zn, Pb, Ni, Mn (manganês), Cu e Cd (cádmio).

3.4.3 Remoção de patogênicos

A detecção de grande quantidade de patogênicos no escoamento de águas pluviais urbanas é um fator determinante para o avanço do estudo de técnicas eficientes na remoção dos mesmos. Biorretenções vêm se destacando na remoção de *E. coli* e coliformes fecais (CF) devido ao seu design que permite reter as bactérias expondo-as a condições secas e luz solar (DAVIS et al, 2009).

Zhang et al (2011) avaliaram durante 18 meses a eficiência a longo prazo de biorretenção na remoção de *E coli*, aplicando efluente sintético em colunas com camadas de solo similares as de uma biorretenção, e concluíram que a eficiência aumentou com o tempo de operação (atingiu 97% de remoção em 6 meses). Verificaram, também, que as bactérias morriam durante os intervalos de aplicação de efluente. Kim et al (2012) constataram que, ao estudarem 5 unidades com plantas diferentes (1 delas era não-plantada), o tipo de vegetação utilizada influencia na retenção de *E coli*. As unidades com gramíneas não tiveram bons resultados (aproximadamente apenas 50% das bactérias ficaram retidas), enquanto que as demais removeram de 76% a 97%.

Hathaway, Hunt e Jadlocki (2009) avaliaram a qualidade da água de seis técnicas de drenagem (bacias de detenção, *wetlands* e uma biorretenção) quanto à remoção de coliformes fecais e *E coli*. Os resultados permitiram verificar que a biorretenção foi a que apresentou melhor eficiência, removendo 89% de coliformes e 92% de *E coli*. Hunt et al (2008) obtiveram remoção positiva desses parâmetros (69% e 71%, respectivamente), mas não as consideraram expressivas comparadas aos resultados de outras técnicas. Supuseram que a grande quantidade de plantas, presentes na biorretenção estudada por eles, diminuía a passagem de luz solar, melhorando as condições de sobrevivência desses microrganismos.

3.4.4 Remoção de nutrientes (P e N)

A presença de nutrientes em águas pode ser devido à contaminação por esgoto, apresentando nitrogênio na forma amoniacal e fósforo (contidos em detergentes), devido à

lavagem de superfícies poluídas com partículas contendo nitrogênio orgânico e nitratos e à lavagem de solos com fertilizantes (PIVELI; KATO, 2006).

O tratamento de fósforo e nitrogênio em unidades de biorretenção é o que mais apresenta divergência nos resultados dos trabalhos realizados na área. Davis (2007) estudou duas biorretenções instaladas na Universidade de Maryland e encontrou remoção de 47% de fósforo e 86% de nitrato, enquanto que Dietz e Clausen (2005) tiveram resultados muito ruins para esses dois nutrientes, sendo encontrado aumento da concentração de fósforo na saída do jardim de chuva. Os autores acreditam que esse aumento se deve à deposição de folhas de árvores próximas no meio de estudo.

Davis et al (2009) relatam que a remoção de nitrogênio depende muito de condições de matéria orgânica (MO) disponível (fonte de carbono e receptor de elétrons na desnitrificação), oxigênio dissolvido (OD) e tempo de detenção hidráulica. Isso porque, para que a amônia se transforme em nitrogênio gasoso (uma forma benigna do nitrogênio e que é liberado na atmosfera), esse composto deve passar primeiro pelo processo de nitrificação (condições aeróbias), que tem como produto final o nitrato, e depois, desnitrificação (anóxica), onde há formação de N_2 (DAVIS; TRAVER; HUNT, 2010).

As condições de desnitrificação podem ser conseguidas quando a biorretenção é dimensionada para ter uma zona de saturação (PGDER,2007). Hunt et al (2008) constataram que a falta dessa zona influencia na remoção de nitrogênio. Esses autores avaliaram as concentrações da série de nitrogênios (NT, NTK, NH_4-N , NO_3 e NO_2) na entrada e na saída de uma biorretenção sem zona saturada. Só não houve redução de nitrato (aumento de 4,7%), verificando, assim, a ocorrência de nitrificação e a ausência de desnitrificação.

Wang, Chua e Shanahan (2017) também encontraram aumento de nitrato na saída, mesmo utilizando uma técnica com a zona de saturação. Os autores verificaram que a desnitrificação só ocorreu no período seco.

3.4.5 Remoção de óleos e graxas

Óleos e graxas compreendem as gorduras animais, sabões, graxas, óleos vegetais, ceras, óleos minerais, entre outros. Algumas fontes desses poluentes em águas são: a contribuição de esgoto doméstico, lavagem de superfícies de posto de gasolina e oficinas mecânicas e vazamentos de automóveis. Por não serem solúveis em água, óleos e graxas em ambientes

aquáticos ficam acumulados na superfície, reduzindo a área de contato entre a água e o ar atmosférico e dificultando a transferência de oxigênio (CETESB, 2009).

Na revisão realizada por Davis et al (2009), foi verificada boa remoção de óleos e graxas pelas biorretenções, mais de 90% desses poluentes ficaram retidos. As bactérias presentes na camada com vegetação degradam rapidamente os hidrocarbonetos que ficam retidos.

Um resumo com as remoções dos poluentes obtidas por Wang, Chua e Shanahan (2017), Rosa (2016), Hunt et al (2008) e Li e Davis (2009) está exposto na Tabela 5.

Tabela 5 - Remoções de poluentes na biorretenção obtidas por outros autores.

Parâmetro	Remoção (%)				
	Wang, Chua e Shanahan (2017)	Rosa (2016)	Hunt <i>et al</i> (2008)	Li e Davis (2009) - (CP)	Li e Davis (2009) - (SS)
DQO	-94,0 – 60,0	–	–	–	–
DBO5,20	–	–	63,0	–	–
<i>E coli</i>	–	–	71,0	-15.550,0 – 99,0	- 1.000,0 – 50,0
P Total	-7,0 –75,0	–	31,0	-1.750,0 – 71,0	0,0 – 50,0
Nitrogênio amoniacal	-120,0 – 96,0	–	73,0	–	–
NO ₃	-55,0 – 96,0	–	-5,0	-1.160,0 – 21,0	15,0 – 90,0
SST	-12,0 – 92,0	–	60,0	38,0 – 99,0	13,0 – 99,0
Cr	–	–	–	-150,0 –90,0	0,0 – 67,0
Pb	–	69,4 – 94,9	31,0	–	–
Zn	–	65,1 – 88,7	77,0	20,0 – 97,0	29,0 – 95,0
Ni	–	40,8 – 65,8	–	–	–
Cu	–	74,7 –89,4	54,0	–	–
Óleos e Graxas	–	–	–	–	–

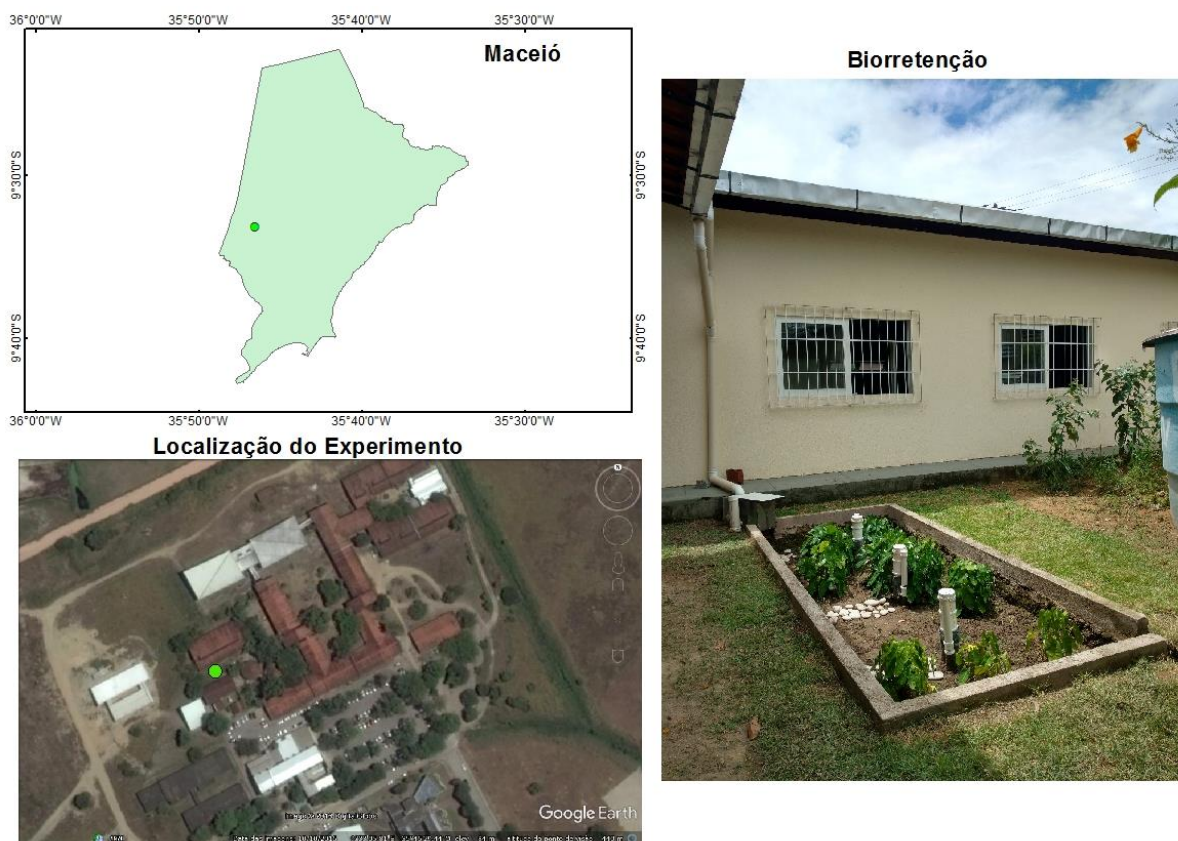
Fonte: Elaborada pela autora.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

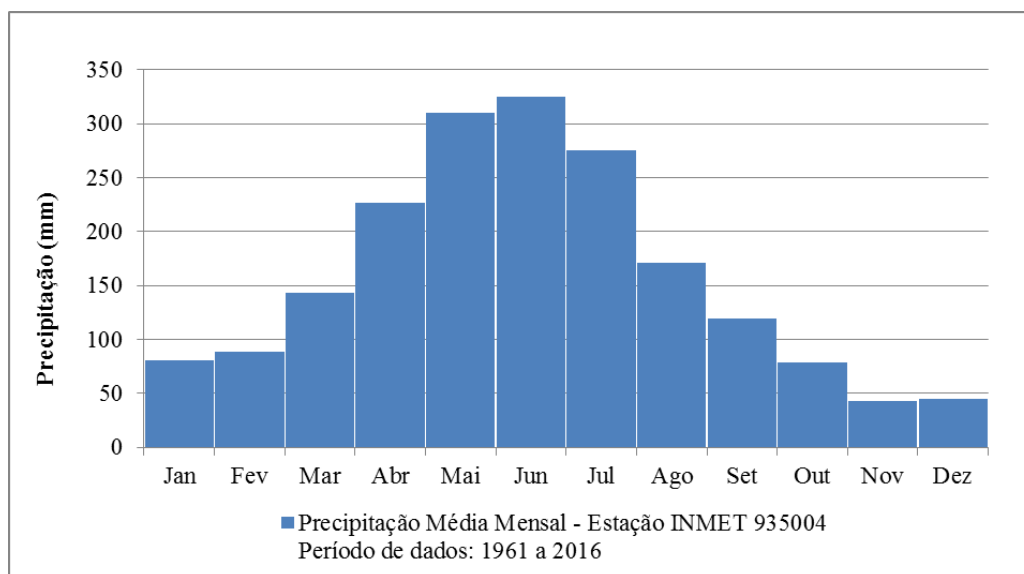
A biorretenção está localizada no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (CTEC/UFAL), situado no bairro do Tabuleiro do Martins, em Maceió/AL (Figura 5), cujas coordenadas geográficas são: latitude – $9^{\circ}33'6.87''\text{S}$; longitude – $35^{\circ}46'31.96''\text{O}$. Nessa região, o período chuvoso é caracterizado pelos meses de abril a agosto, segundo os dados de chuva média mensal (Figura 6), referente aos anos de 1961 a 2016 (com algumas falhas) da estação pluviométrica 935004. Essa estação é monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os dados foram coletados no site da ANA (2016).

Figura 5 - Localização da biorretenção.



Fonte: Elaborada pela autora.

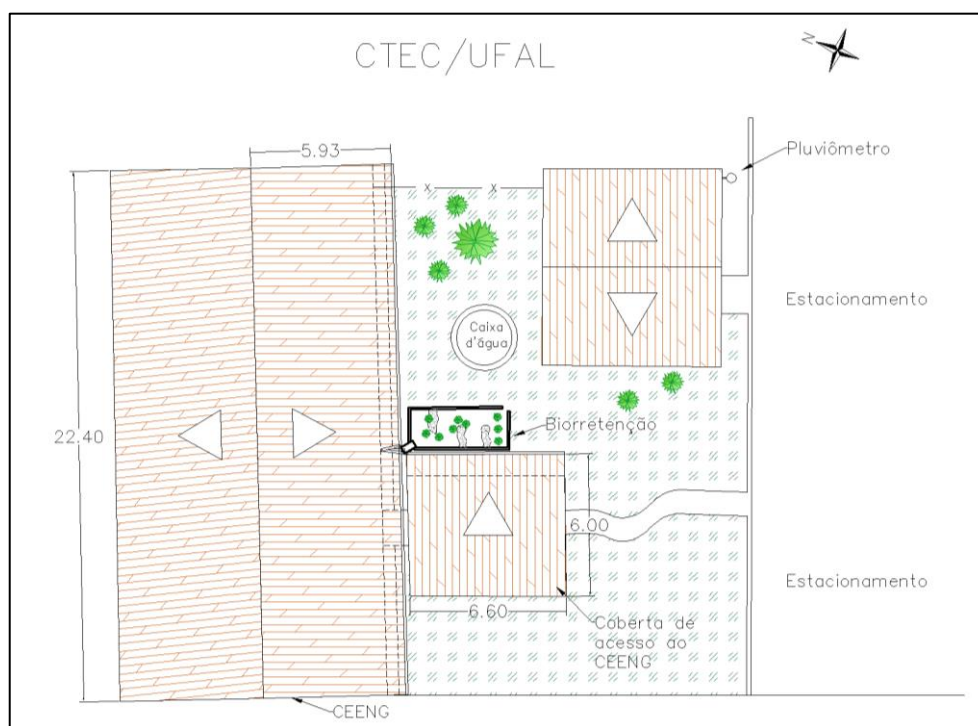
Figura 6 - Dados de precipitação média mensal da estação pluviométrica 935004.



Fonte: Elaborada pela autora.

O local, escolhido por Rosendo (2013), trata-se de um ponto com topografia favorável para a drenagem pluvial do lote. Dessa forma, a biorretenção foi construída com a finalidade de receber a contribuição de águas escoadas diretamente dos telhados da edificação do CTEC/UFAL, onde funciona o programa Conhecer e Experimentar Engenharia (área impermeabilizada igual a 173,8 m²), e da área do terreno natural adjacente (124,6 m²), a qual é composta por grama e plantas (Figura 7).

Figura 7 - Planta do lote onde foi construída a biorretenção.

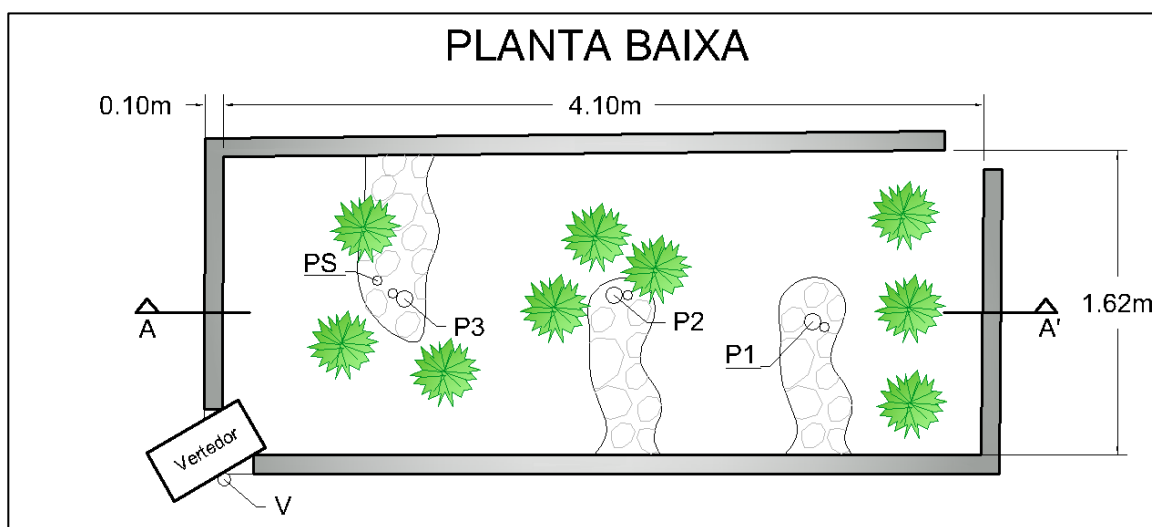


Fonte: Elaborada pela autora.

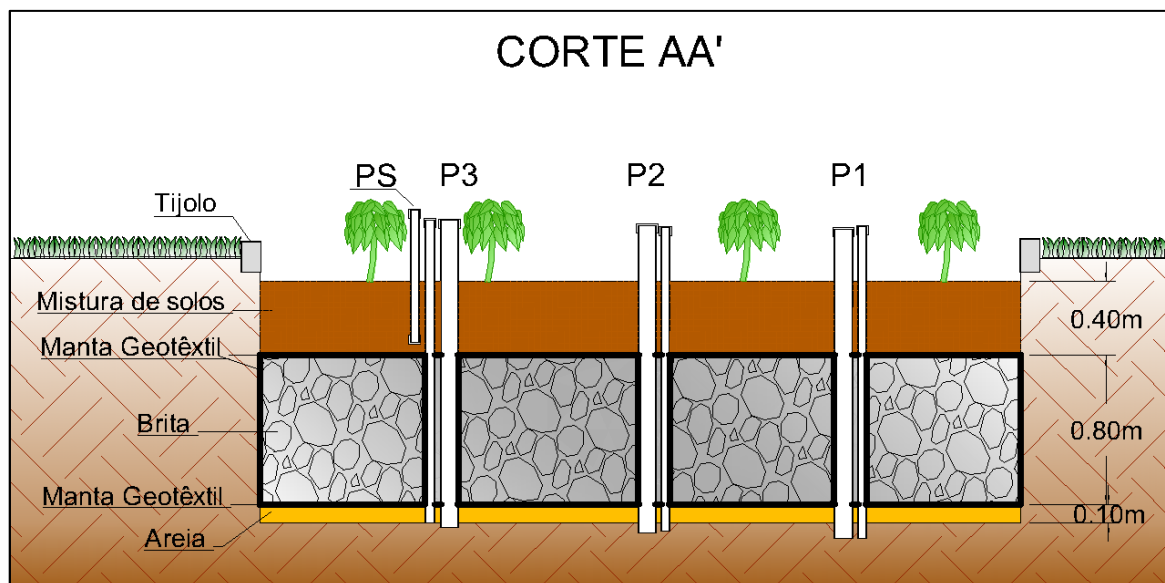
A biorretenção foi projetada pelo método da precipitação efetiva, obtendo-se volume total de 8,30 m³ (ROSENDO, 2013). Suas dimensões e geometria foram determinadas por Menezes (2015), atendendo tanto ao volume calculado por Rosendo (2013) quanto aos critérios estabelecidos por (USEPA, 1999). O dispositivo foi, então, construído em forma prismática, com volume total de 8,32 m³, área superficial de 6,64 m² e altura de material de 1,30 m (Figura 8), e encontra-se em operação desde maio de 2015.

Menezes (2015) também definiu os materiais e as alturas de cada camada da biorretenção em estudo. A camada inferior, com espessura de 10 cm, constituída de areia com porosidade de 25%, proporciona filtração da água; acima dela, uma camada com 80 cm de brita (porosidade de 43,5%), envolvida por uma manta geotêxtil (BIDIM), serve para o armazenamento da água; e na parte superior, uma camada de 40 cm de altura, composta por substrato com húmus e terra preta (na proporção de 1:1), permite o plantio e o desenvolvimento de algumas plantas *Philodendron sagittifolium*, cujo nome popular é Imbé (Figura 8). O BIDIM é utilizado não só para evitar a passagem de sólidos para a região de armazenamento, mas também para complementar o processo de filtração da água.

Figura 8 – a) Planta Baixa; b) Corte Longitudinal da Biorretenção segundo Menezes (2015).



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Menezes (2015).

Para realizar as coletas de dados, foram instaladas tubulações de PVC para funcionar como poços de amostragem (DN 100 mm) e de monitoramento do nível de água (DN 50 mm e 75 mm). Os pontos P1, P2 e P3 contêm, cada, uma tubulação perfurada de DN 50mm e uma de DN 100mm, cujo fundo encontra-se abaixo da camada inferior da biorretenção e o topo acima do nível do terreno natural. O ponto V contém uma de DN 75 mm, conectada ao vertedor por um flange na parte inferior de ambos. O ponto PS, uma de DN 50 mm, perfurada, com o fundo a uma distância de 10 cm acima da camada de brita e o topo acima do terreno natural (Figura 8). Este último ponto só foi instalado em junho de 2016, quando foi verificada a necessidade de analisar o comportamento hidráulico da camada superior.

Não foi aplicado nenhum tipo de impermeabilização ao redor do dispositivo. Dessa forma, o destino da água em seu interior é completamente por infiltração no solo natural, tanto pelo fundo quanto pelas paredes laterais.

A barreira de tijolos, que contorna a biorretenção, serve para direcionar a água escoada no terreno adjacente para um único ponto – local oposto a V, onde há uma abertura – com a finalidade de facilitar a medição dessa quantidade de água, quando for necessário. Além disso, essa barreira somada ao desnível entre o terreno natural e a superfície da biorretenção delimitam a biorretenção para evitar o transbordamento de água. Essas medidas foram adotadas apenas para melhorar o monitoramento.

A Figura 9 é uma imagem recente da biorretenção em estudo e permite a visualização melhor das tubulações de coleta, do vertedor, das plantas utilizadas e de como é o meio ao redor.

Figura 9 - Imagem da biorretenção em 2016.



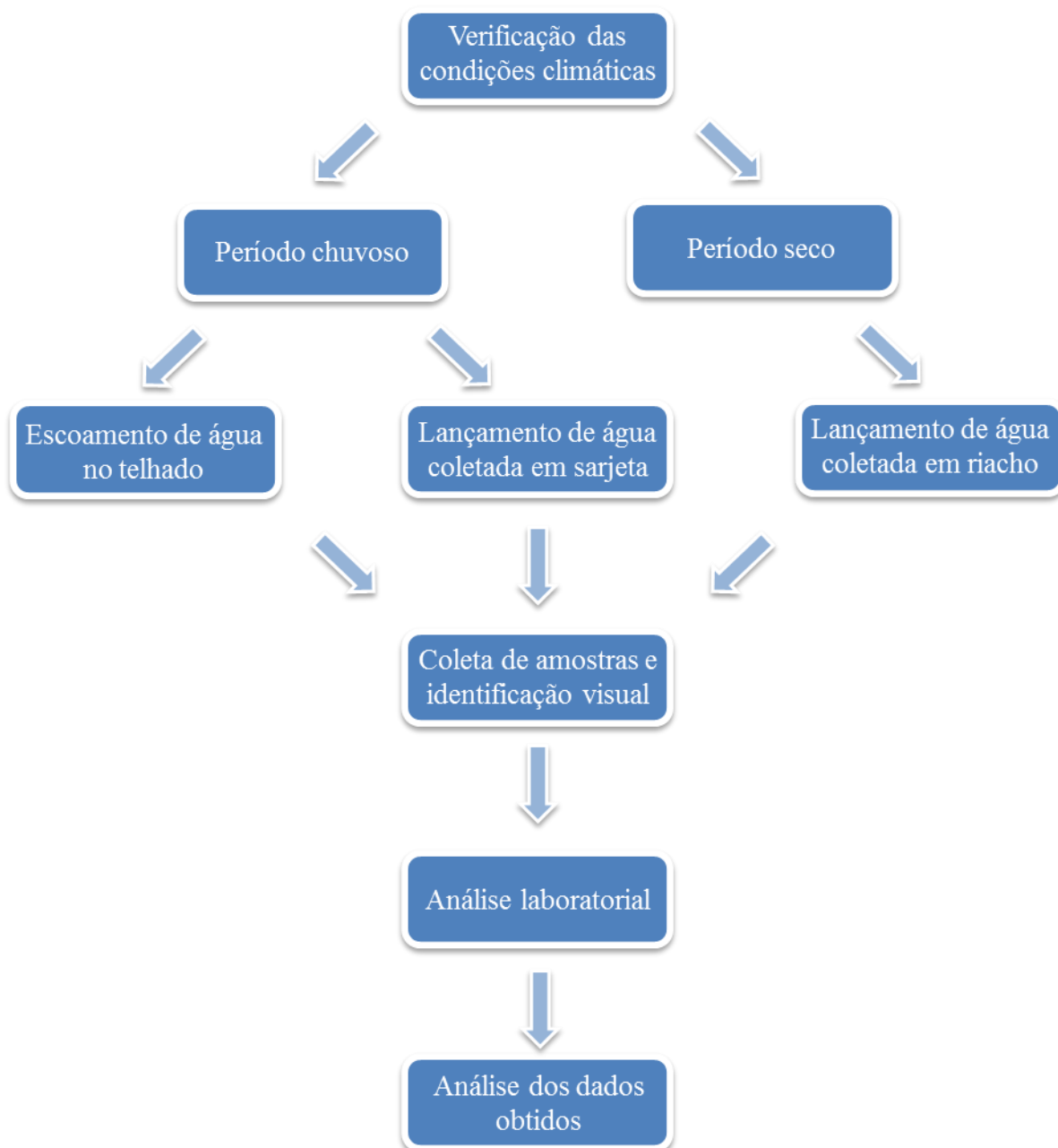
Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 Metodologia

Neste trabalho, foram realizadas coletas para analisar a qualidade de águas pluviais na entrada e na saída da biorretenção. Nessa análise, foram consideradas como “entrada” apenas as águas passadas pelo vertedor e como “saída”, as amostras no interior da biorretenção, retiradas dos poços de coleta P1, P2 ou P3.

Com a finalidade de lançar águas com características distintas, as coletas foram divididas em três etapas: as duas primeiras ocorreram durante período chuvoso, aproveitando o volume de água escoada no telhado (1ª etapa) e na sarjeta (2ª etapa); e a terceira, durante período seco, lançando águas de um riacho. Cada etapa foi composta duas amostragens em dias distintos. A Figura 10 apresenta o fluxograma com os passos adotados.

Figura 10 - Fluxograma adotado durante a realização do trabalho.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para o lançamento de água, foram adotados dois procedimentos distintos. Os volumes escoados em telhados foram captados e lançados através de calhas e tubulações. Já as águas da sarjeta e do riacho tiveram que ser coletadas e transportadas até a biorretenção. Essas metodologias serão detalhadas nos itens 4.2.3 e 4.2.4.

Durante os procedimentos, além das coletas, julgou-se necessário anotar os detalhes do escoamento da água pelo dispositivo e registrá-los através de fotos e vídeos. Esse artifício, aqui denominado “identificação visual”, serviu para verificar problemas no funcionamento da

biorretenção e obter algumas hipóteses a respeito dos mesmos, apesar de não dar argumentos suficientes para comprová-las.

Um dos pontos observados foi o aparecimento de lâmina d'água na superfície da biorretenção. Isso pode ser indicativo de colmatção do solo, de erro de dimensionamento, de erro de execução ou até mesmo da escolha dos materiais empregados. Assim, neste trabalho também foi realizado um estudo sobre a formação dessa lâmina d'água na camada superior, descrito no item 4.2.2.

4.2.1 Equipamentos utilizados no monitoramento

A medição da precipitação na área de contribuição da biorretenção foi feita, inicialmente, pela estação pluviométrica “Cidade Universitária” – 270430216A do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), situada a aproximadamente 2km do local de estudo. Como há variabilidade espacial no quantitativo de chuva, considerou-se que a distância dessa estação à biorretenção poderia influenciar nos resultados. Assim, para obter a precipitação mais próxima da realidade, foi instalado um pluviômetro de báscula RG3-M, da marca *Onset*, com um *data logger* acoplado (Figura 11), no telhado da edificação ao lado (Figura 7).

Figura 11 - Pluviômetro instalado.

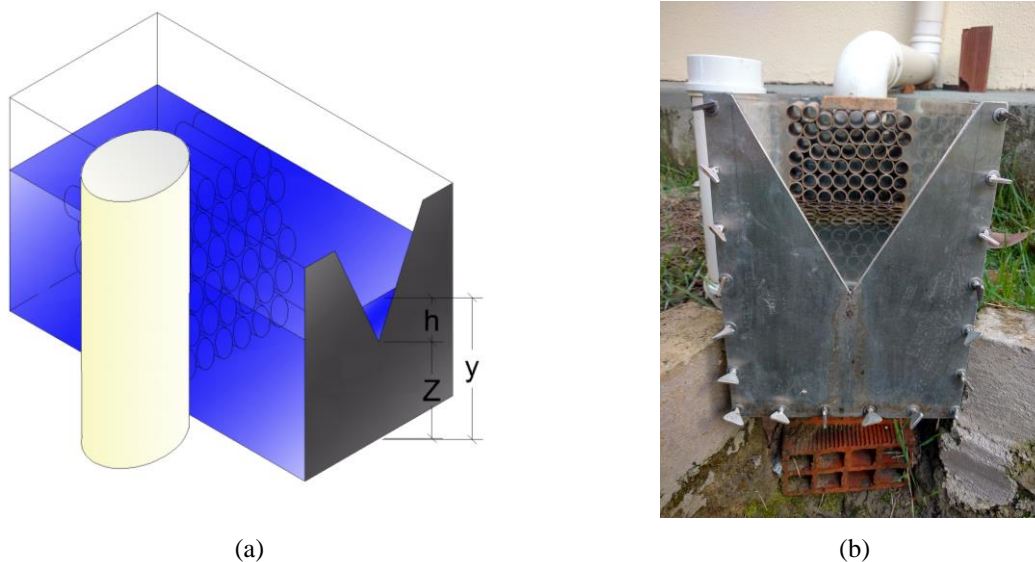


Fonte: Elaborada pela autora.

As vazões de entrada de água foram obtidas através das leituras de lâminas d'água no vertedor triangular de ângulo central de 60 graus e altura da crista de 13,1 cm (Figura 12). As paredes desse vertedor são de acrílico para visualização do escoamento e do nível d'água, e a parede frontal são de aço inoxidável para garantir durabilidade do equipamento, resistência à

pressão exercida pela água e espessura delgada. Em seu interior, foram inseridos seixos e uma estrutura com tubulações de PVC, com a finalidade de reduzir a turbulência na entrada. Por fim, foi acoplada uma tubulação lateral de DN 75mm, 30 cm à montante da crista, para acomodar um sensor de nível, quando for necessário monitoramento automático.

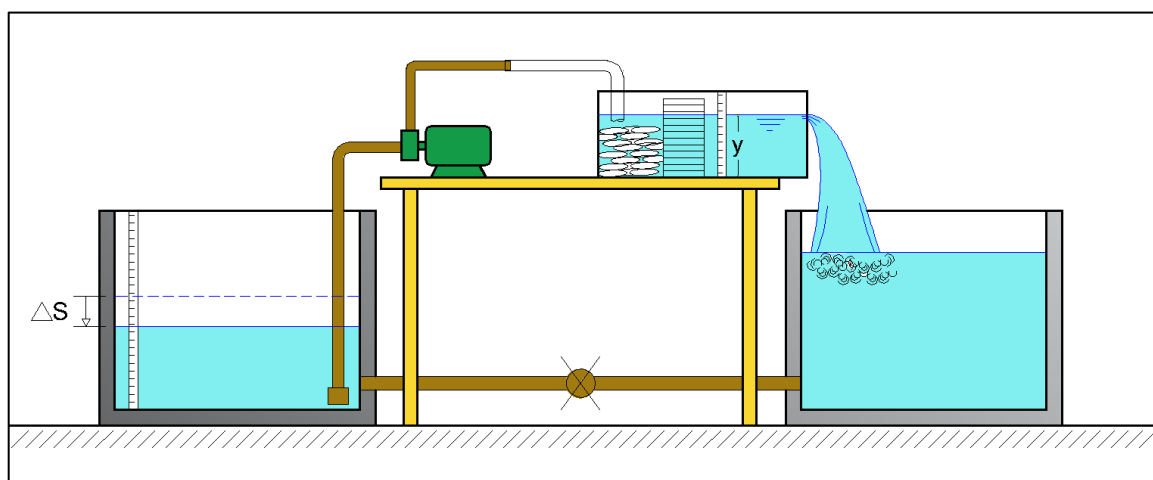
Figura 12 - Vertedor triangular utilizado no monitoramento. a) ilustração; b) vertedor real.



Fonte: Elaborada pela autora.

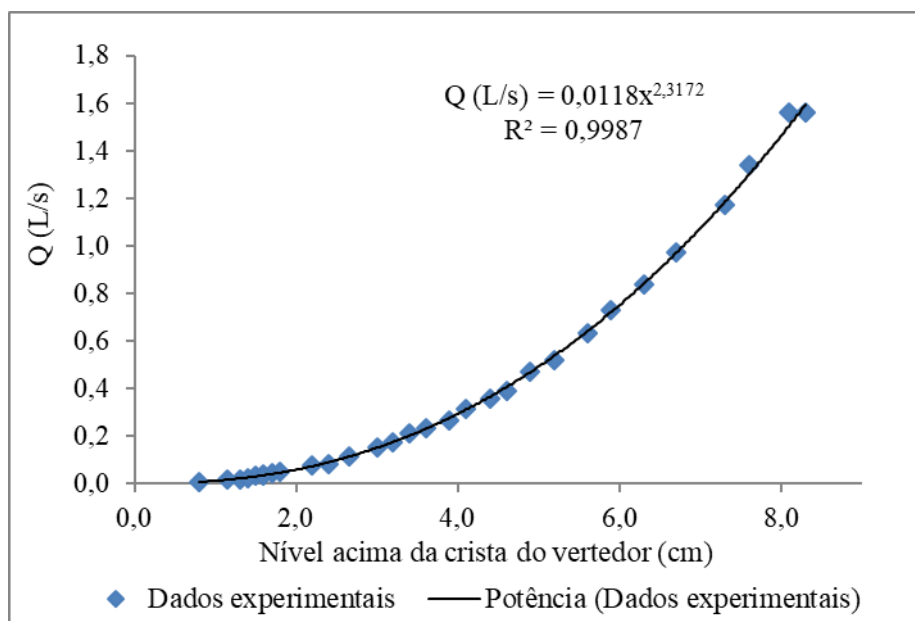
Para obter uma equação da vazão em função da lâmina d'água acima da crista do vertedor, foi realizado o procedimento ilustrado na Figura 13, utilizando o princípio do método volumétrico de medição de vazões. O ajuste da curva (Figura 14) foi obtido através de 30 dados coletados nesse procedimento, obtendo-se a Equação (1) com R^2 igual a 0,9987.

Figura 13 - Procedimento utilizado para calibração da curva do vertedor.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 14 - Curva da vazão em função do nível da água acima da crista do vertedor.



Fonte: Elaborada pela autora.

$$Q = 0,0118 * h^{2,3172} \quad (1)$$

onde Q é a vazão em L/s e h é a diferença entre a altura da lâmina d'água e a altura da crista do vertedor em cm.

Para que o monitoramento dos volumes de água fosse realizado de forma automática, foram instalados sensores de nível do tipo *Levellogger F100/M30* da marca *Solinst* nos poços P1, P3 e PS e na tubulação acoplada ao vertedor. Esses sensores retornam valores de níveis de água como leituras de pressões absolutas, necessitando, assim, de uma compensação barométrica através de dados de um *Barologger* para obtenção do nível em metros. Dessa forma, esse último equipamento também foi instalado em uma sala próxima à biorretenção, para aferições de pressões atmosféricas do local. As medições foram sincronizadas e programadas para obtenção do nível a cada 1 minuto. Esse mesmo tipo de sensor foi instalado no vertedor.

A utilização dos sensores no interior da biorretenção permite calcular o volume que está armazenado em um instante de tempo pela Equação (2).

$$V_i = A_b * h_i * \varepsilon \quad (2)$$

onde V_i é o volume armazenado na biorretenção no instante i , A_b é a área superficial da biorretenção, h_i é a altura do nível d'água em seu interior no instante i e ε é a porosidade do meio (43,5%).

As coletas de amostra de água para análise dos parâmetros de qualidade foram realizadas por um amostrador (Figura 15) similar a um Bailer, equipamento de coleta de águas subterrâneas. Esse equipamento foi confeccionado com uma tubulação de PVC de DN 88mm, uma garrafa pet, epóxi, barbante e uma bola pequena com densidade superior a da água.

Figura 15 - a) Perfil do equipamento de coleta; b) equipamento confeccionado; c) utilização do equipamento.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.2 Metodologia para avaliação da formação de lâmina d'água na superfície da biorretenção

Para esse estudo, foram utilizados três procedimentos distintos:

- Foi feito um levantamento altimétrico do perfil longitudinal da biorretenção, para avaliar se a formação da lâmina d'água era decorrente da compactação do solo;
- Foram realizados dois ensaios com o infiltrômetro de anéis concêntricos, para aferição da taxa de infiltração da camada superior da biorretenção (Figura 16);
- Foi medida a taxa de infiltração de eventos chuvosos, através dos dados do sensor instalado no ponto PS.

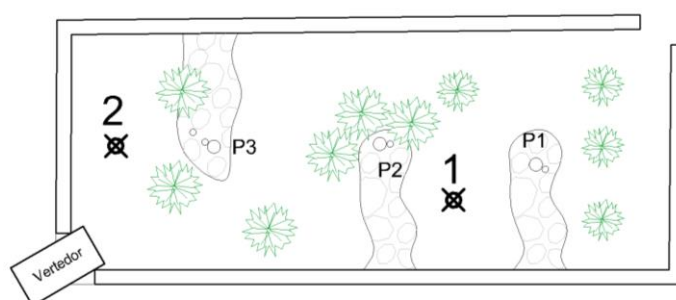
Para o levantamento altimétrico, uma mangueira de nível foi posicionada no sentido longitudinal da biorretenção, sobre os poços de coleta, e utilizada como referencial. A partir dela, foram medidas as alturas dos pontos de interesse.

Os ensaios com o infiltômetro de anéis concêntricos ocorreram em julho de 2016. O primeiro, entre os pontos de coleta P1 e P2, com duração de 4 horas de ensaios; e o segundo, entre o vertedor e o ponto P3, com duração de 5 horas (Figura 16).

Figura 16 – a) Ensaio de duplo anel; b) Localização aproximada de onde foram realizados os ensaios.



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação aos dados do sensor de nível em PS, analisa-se o trecho de recessão de cada evento. O valor da taxa de infiltração é obtido pela divisão do decréscimo do nível da água pelo tempo. Como esse sensor marca o nível automaticamente, todos os eventos de chuva ocorridos depois de sua instalação foram registrados pelo mesmo.

4.2.3 Metodologia para monitoramento da biorretenção em eventos chuvosos

Essa metodologia foi utilizada tanto para obter automaticamente dados quantitativos do escoamento durante eventos chuvosos, quanto para realizar coletas manuais de amostras para qualidade da água. A Figura 17 permite entender como se dá o fluxo dessas águas durante os eventos chuvosos: as calhas recebem o volume escoado no telhado e o carrega até uma tubulação vertical; essa se interliga ao vertedor, por onde a água é lançada na biorretenção; após se distribuir, passa a infiltrar na camada de mistura de solo até atingir a camada de brita, onde fica armazenada; por fim, destina-se a infiltração no solo natural, já que não há impermeabilização nas paredes.

Figura 17 - Esquema de lançamento e monitoramento da biorretenção.



Fonte: Elaborada pela autora.

Como há utilização de sensores de nível automáticos, em cada evento chuvoso, podem ser obtidos vários parâmetros quantitativos. Neste trabalho, os dados dos sensores foram utilizados para calcular o volume no interior da biorretenção no momento de amostragem e verificar a taxa de infiltração da camada superior. Dessa forma, foram de interesse apenas os seguintes parâmetros:

- Precipitação total (P): dada pelo pluviômetro;
- Vazão de entrada a cada 1 min (Q_i): calculada através da Equação 1;
- A vazão média ($Q_{méd}$) e a vazão máxima escoada ($Q_{máx}$);
- Nível de água na camada superficial (h_s) e no interior da biorretenção (h_i), no instante de tempo i : dados registrados pelos sensores de nível;

- Volume no interior da biorretenção no instante i (V_i): calculada pela Equação 2;
- Taxa em que a água infiltra na camada superior (T_s).

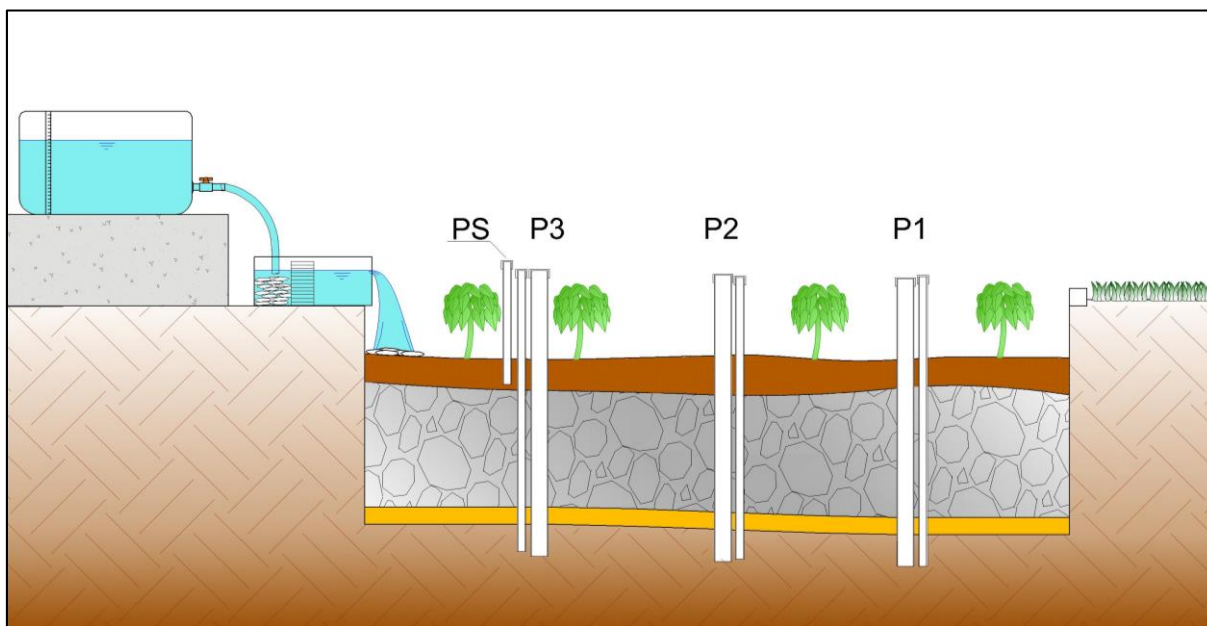
As amostras de água para análise de dois eventos chuvosos (04 e 14 de junho de 2016) foram acondicionadas em garrafas plásticas e levadas ao laboratório. Foram adquiridas, em cada evento, 4 ou 6 amostras referentes à “saída” da biorretenção e uma referente à “entrada”.

4.2.4 Metodologia para lançamento de outros efluentes

Essa metodologia foi empregada para estudar a eficiência da biorretenção em remover poluentes de outros efluentes da drenagem urbana, como volumes escoados em sarjetas. Além de contribuir para análise de águas com diferentes características, o emprego desse procedimento serviu para dar prosseguimento ao estudo em períodos de estiagem.

A diferença dessa metodologia é a maneira como se dá a entrada de água no vertedor. Nessa situação, o efluente fica armazenado em um reservatório de volume conhecido e é lançado no vertedor por uma mangueira espessa ligada a eles. Neste trabalho, foi instalada uma caixa d'água graduada com capacidade 500 L, à montante e em um nível acima do vertedor (Figura 18), para que o escoamento fosse completamente por carga hidráulica, sem a necessidade de bombeamento. Mezzomo (2016) utilizou esse procedimento para realizar testes e ajustes nos sensores inseridos nessa biorretenção em estudo.

Figura 18 - Esquema para lançamento de água na biorretenção.



Fonte: Elaborada pela autora.

A partir desta metodologia é possível trabalhar com qualquer tipo de água na biorretenção, a depender da necessidade do lançamento e da viabilidade do transporte do efluente, seja água de drenagem de estacionamentos ou ruas, de riachos ou de esgotos, efluentes sintéticos, entre outras.

4.2.4.1 Escolha dos efluentes, dos locais de coleta e do volume de lançamento

A importância em realizar o lançamento de outros efluentes na biorretenção vem da preocupação de que muitos dispositivos de drenagem urbana ainda apresentam contaminação por esgoto, seja por ligação direta da tubulação de esgoto em córregos urbanos e sarjetas ou, até mesmo, por transbordamento da rede de esgoto em vias públicas pelos poços de visita. Assim, a biorretenção pode ser estudada como uma alternativa para minimizar os problemas causados pelas águas pluviais com péssima qualidade.

A escolha do tipo de efluente baseou-se na qualidade dessas águas, na disponibilidade para coleta e na facilidade do transporte. Optou-se pelo lançamento de águas escoadas em uma sarjeta e em um riacho. Na própria universidade, foi possível encontrar locais com essas características.

Em relação à água de sarjeta, foram observados locais em que a água se mantinha armazenada após o término da chuva. A entrada principal da UFAL foi um local em que essa situação era recorrente e cujo volume acumulado era suficiente (Figura 19). Essa localização é uma via em que há grande fluxo de automóveis e de pessoas, presença de animais, de resíduos sólidos na calçada, de árvores e de um ponto de ônibus. Para essa sarjeta são drenadas águas da calçada, construída uma parte em concreto e outra com solo aparente ou grama, e da via, em paralelepípedo e em concreto.

Figura 19 - Imagem da entrada principal da UFAL em um dia de chuva, com acúmulo de água na sarjeta.



Fonte: Elaborada pela autora.

O riacho escolhido foi um canal dentro do Campus A. C. Simões da UFAL, projetado em um talvegue natural da bacia do Tabuleiro dos Martins e que corta a UFAL e o Complexo Penitenciário de Maceió, vizinho à universidade. Esse canal deveria receber apenas águas de drenagem desses dois locais e, portanto, somente apresentar escoamento após eventos de chuva. Mas o canal tem escoamento durante o ano todo (Figura 20), por causa da contribuição de águas residuárias. No trabalho desenvolvido por Agra *et al* (2016), foram encontradas elevadas concentrações de poluentes nesse córrego, enquadrando-o apenas na classe 4 da Resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2011).

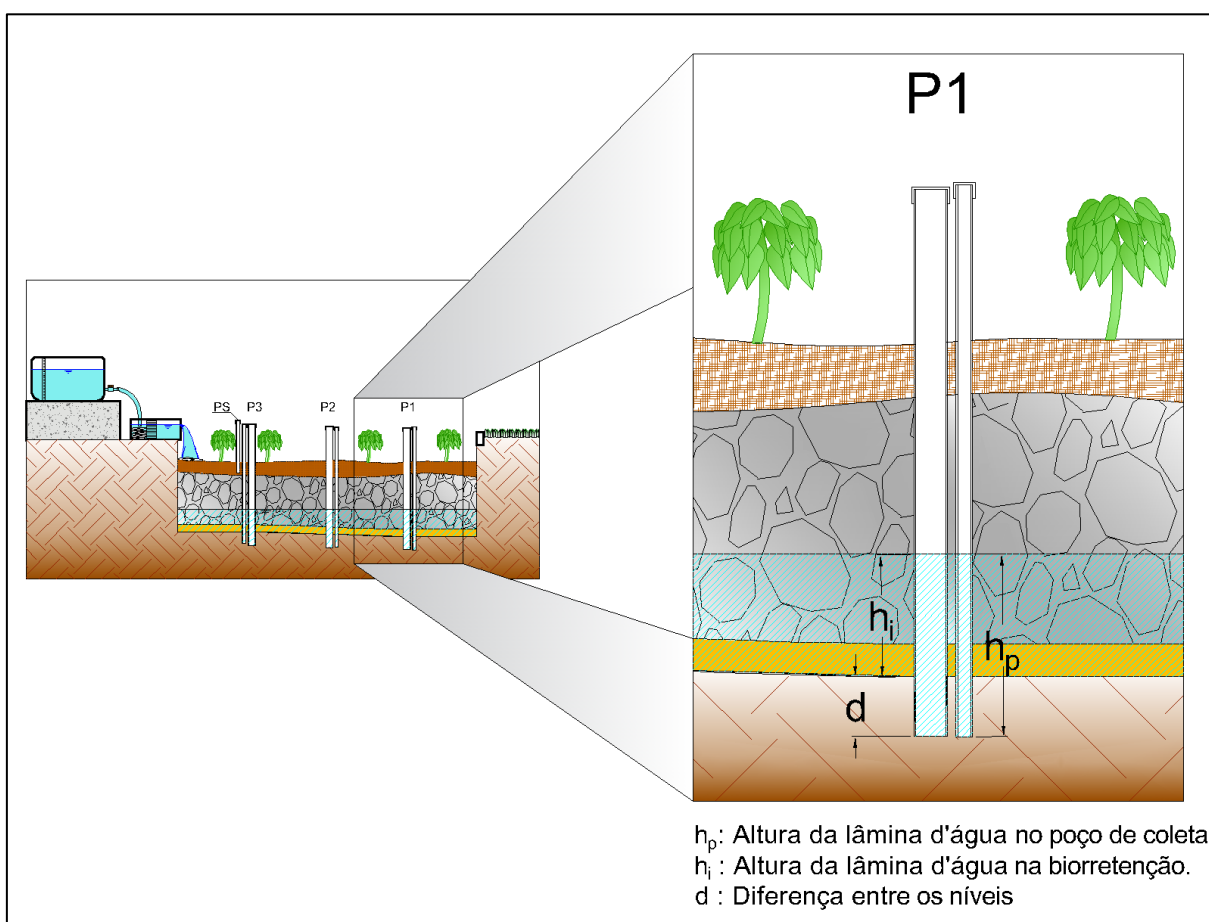
Figura 20 - Ponto de coleta do canal de drenagem do Campus A. C. Simões da UFAL.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a definição do volume mínimo de captação em cada ponto, foram realizados testes na biorretenção, aplicando esta mesma metodologia com água da rede de abastecimento público. Assim, verificou-se que um volume de lançamento de 240 L já satisfazia as condições para coletas de mais de uma amostra na “saída”. Isso só foi possível devido a diferença entre os níveis do fundo dos poços de coleta e da camada inferior da biorretenção, que provoca uma altura de lâmina d’água no interior do poço maior que no interior da camada de armazenamento (Figura 21). Na análise quantitativa, o valor dessa diferença “d” foi subtraído dos dados registrados pelos sensores.

Figura 21 - Altura do nível d’água na biorretenção e no poço de coleta.



Fonte: Elaborada pela autora.

O procedimento de coleta tanto das águas da sarjeta quanto do canal foi realizado com balde, funil e recipientes de plástico com capacidade de 20 L. No total, foram quatro lançamentos, dois de cada tipo de efluente. No primeiro deles, realizado dia 31 de agosto, o volume total de entrada na biorretenção foi de 360L, e nos demais, 240L.

4.2.5 Análises de qualidade da água

As amostragens para análise da qualidade da água iniciaram em junho. A Tabela 6 especifica as datas de cada coleta.

Tabela 6 - Datas das coletas.

Tipo de efluente	Data da coleta
Água do telhado	04/06/2016
	14/06/2016
Água da sarjeta	31/08/2016
	13/10/2016
Água do riacho	06/12/2016
	21/12/2016

Fonte: Elaborada pela autora.

A quantidade de coletas, relativamente baixa, deveu-se às poucas precipitações com intensidade e duração suficientes para provocar escoamento no telhado ou acúmulo de água na sarjeta, durante o período reservado para esses procedimentos, de junho a dezembro de 2016.

Em cada evento estudado, foi retirada 1 amostra de 2 litros de água na saída do vertedor, o que possibilitou avaliar a concentração de poluentes na entrada na biorretenção, e, pelo menos, 4 amostras de mesmo volume nos pontos P1, P2 ou P3, em intervalos de tempo de 15 ou 20 minutos de acordo com o nível d'água no meio, o que representa as concentrações de saída. As amostras foram levadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA/CTEC) da UFAL, onde foram aplicadas as metodologias (Tabela 7) para analisar os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos segundo APHA (2005).

Tabela 7 - Parâmetros analisados no LSA, metodologias utilizadas e limites de detecção.

Parâmetro	Método	Limite Mínimo de Detecção (LD)
pH	Potenciométrico	-
Condutividade Elétrica	Condutímetro	-
Cor	Colorímetro	-
Turbidez	Turbidímetro	-
Sólidos Totais Fixos (STF)	Gravimétrico	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	Gravimétrico	-
Sólidos Totais (ST)	Gravimétrico	-
Sólidos Suspensos (SST)	Gravimétrico	-
Demanda biológica de oxigênio (DBO _{5,20})	Teste de incubação	-

Parâmetro	Método	Limite Mínimo de Detecção (LD)
Demanda química de oxigênio (DQO)	Espectrofotométrico	80 mg/L
Fósforo total (P)	Espectrofotométrico	0,01 mg/L
Nitrogênio amoniacal (NH ₄ ⁺)	Titulométrico	1,44 mg/L*
Nitrito (NO ₂)	Espectrofotométrico	0,00175 mg/L
Nitrato (NO ₃)	Espectrofotométrico	0,02 mg/L
<i>Escherichia coli</i> (<i>E coli</i>)	Chromocult	**
Coliformes Totais (CT)	Chromocult	**

*Valor referente a adição de 0,1ml do ácido usado na titulação.
**Varia de acordo com a diluição realizada na amostra.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os ensaios para cálculo de metais e teor de óleos e graxas foram realizados pela empresa Qualitex Engenharia e Serviços, devido à inexistência de equipamentos e reagentes apropriados no LSA/CTEC. Essas análises só foram realizadas a partir das amostras de outubro, conforme as metodologias da Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros analisados em laboratório externo.

Parâmetro	Método	Limite Mínimo de Detecção (LD)
Cromo Total (Cr)	POPMET 375-R02	0,004 mg/L
Chumbo Total (Pb)	POPMET 375-R02	0,004 mg/L
Zinco Total (Zn)	POPMET 375-R02	0,1 mg/L
Cádmio (Cd)	POPMET 375-R02	0,004 mg/L
Níquel Total (Ni)	POPMET 375-R02	0,004 mg/L
Cobre Total (Cu)	POPMET 375-R02	0,02 mg/L
Óleos e Graxas Totais	SMEWW 5520 D	5,0 mg/L

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Fonte: dados fornecidos pela empresa Qualitex Engenharia e Serviços.

4.2.6 Análise dos dados coletados

A concentração de entrada ($C_{entrada}$) na biorretenção é obtida pela análise da amostra retirada na saída do vertedor. Para poder ter um valor representativo das concentrações de saída, visto que cada coleta gerou pelo menos quatro amostras, optou-se pelo cálculo da EMC (*event mean concentration* – concentração média do evento), dada pela Equação (3).

$$EMC = \frac{\text{Carga total do poluente por evento}}{\text{Volume total escoado no evento}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (3)$$

onde EMC é a concentração média do evento (mg/L); C_i é a concentração do poluente no instante de tempo i (mg/L), calculada pelas metodologias aplicadas em laboratório; e V_i é o volume na biorretenção no instante de tempo i (em L), obtido pela Equação (2).

Uma maneira de verificar a qualidade do tratamento da água em algum dispositivo é através do cálculo da eficiência de remoção dos poluentes (R), que é calculada pela Equação 4. Porcentagens positivas e significativas de remoção são indicativos de que a técnica pode ser empregada na drenagem urbana com a finalidade de reduzir, na fonte, os efeitos da poluição difusa. Os resultados foram comparados aos de trabalhos nacionais e internacionais, para verificar o desempenho desta biorretenção em relação as demais.

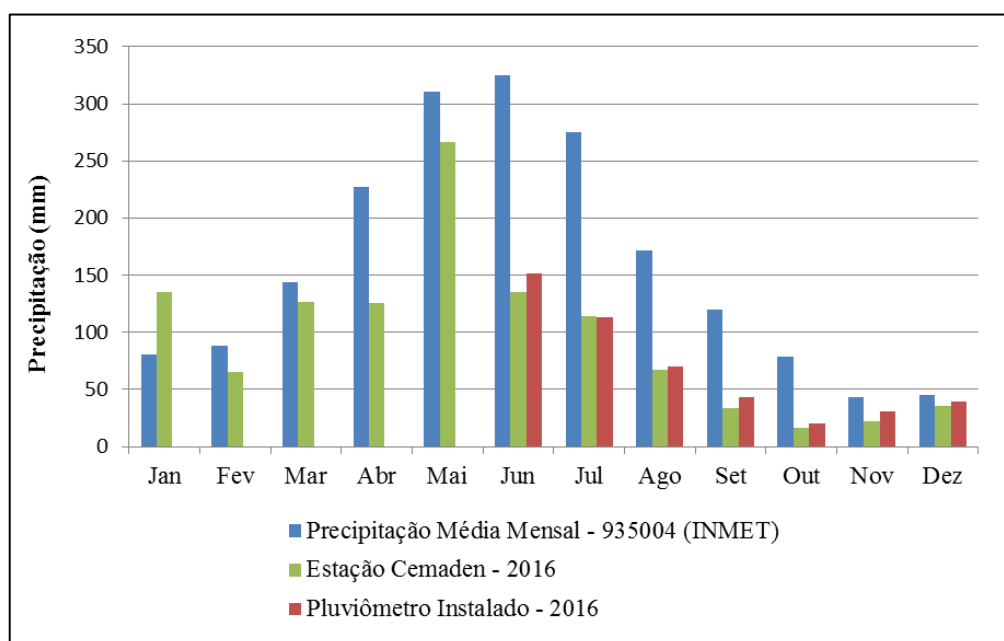
$$R (\%) = \frac{C_{entrada} - EMC_{saída}}{C_{entrada}} * 100 \quad (4)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Precipitação durante o Período de Coleta

A precipitação em 2016 na região onde foi instalada a biorretenção foi bem abaixo da média dos anos anteriores. No local em que a precipitação média anual é de 1.897,8 mm, segundo a série histórica da estação pluviométrica 935004 do INMET, houve nesse ano precipitação anual de 1.143,2 mm, de acordo com a estação 270430216A (Cidade Universitária) do CEMADEN. A Figura 22 mostra um comparativo entre a série histórica e os dados do pluviômetro instalado neste trabalho e do CEMADEN.

Figura 22 - Dados de precipitação mensal em pluviômetros próximos a UFAL.



Fonte: Elaborada pela autora.

Percebe-se que, com exceção do mês de janeiro, todos os outros apresentaram precipitação menor que a média mensal, chegando a menos da metade de junho a outubro. Esse fator influenciou bastante no desenvolvimento da pesquisa, pois as coletas de água para análise da qualidade só tiveram início em junho, quando foi definida a metodologia de amostragem.

O pluviômetro deste projeto somente foi instalado no final de maio de 2016, por isso não há dados do ano todo. Para cálculos anteriores, considerou-se a chuva medida pela estação do CEMADEN, que, apesar de apresentar diferenças em relação aos dados do equipamento instalado, era a mais próxima da biorretenção. A Figura 23 mostra o mapa com a localização de cada pluviômetro.

Figura 23 – Localização dos pluviômetros de referência.



Fonte: Google .

O erro apresentado entre as estações pode estar relacionado a incertezas dos equipamentos ou, principalmente, pela variabilidade espacial e temporal da chuva, visto a distância entre eles na Figura 23. Vale salientar que foi realizada verificação do funcionamento do pluviômetro instalado antes de sua utilização.

5.2 Avaliação da Formação de Lâmina d'água da Superfície da Biorretenção

Neste trabalho, o monitoramento só foi iniciado sete meses após a biorretenção ter sido construída. O acompanhamento inicial foi realizado no trabalho de Menezes (2015). Desde então, foi verificado que a capacidade de infiltração da camada superficial não superava as taxas provocadas por maiores vazões no vertedor, causando lâminas d'água na superfície da biorretenção (Figura 24).

Figura 24 – Presença de nível d'água acima da camada superior da biorretenção, no evento de 02 de junho de 2016: a) contribuição do telhado; b) contribuição do terreno.



Fonte: Elaborada pela autora.

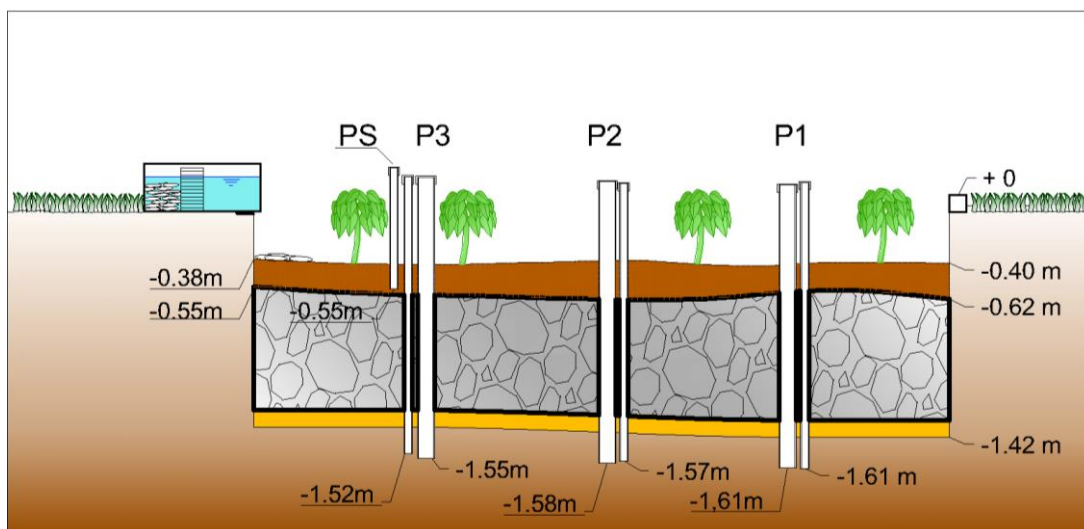
Através do acompanhamento presencial de eventos chuvosos, foram observados os seguintes pontos:

- a) em chuvas mais intensas, foi possível verificar a contribuição das águas do terreno adjacente;
- b) a superfície sofreu um rebaixamento em relação ao nível inicial de operação;

Comparando as imagens (a) e (b) da Figura 24, percebe-se que, no sentido longitudinal da biorretenção, há uma diferença na aparência da água superficial. No lado esquerdo da imagem, a água mais turva permite verificar que a entrada de poluentes no meio não é resultante apenas da drenagem do telhado, como também, do escoamento do terreno adjacente.

O levantamento altimétrico foi realizado ao final de 2016 para verificar o rebaixamento citado na afirmação (b). O resultado está ilustrado na Figura 25, onde pode ser notada a diferença, principalmente, nos níveis da camada de mistura de solos, havendo um rebaixamento de quase 50% da estrutura apresentada em projeto (Figura 8).

Figura 25 - Perfil longitudinal da Biorretenção após realização do levantamento em dezembro de 2016

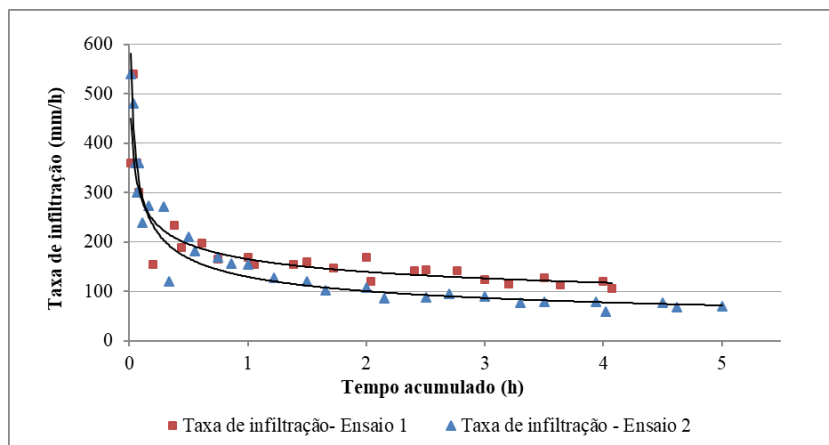


Fonte: Elaborada pela autora.

A diminuição do nível da camada superior pode ser resultante da compactação causada pelo próprio peso da água em eventos chuvosos. Esse fator pode ser, também, um dos motivos da formação de lâmina d'água na superfície.

Os testes com o infiltrômetro de anéis concêntricos resultaram nas curvas da Figura 22. No primeiro ensaio, realizado entre P1 e P2, a taxa de infiltração convergiu para o valor de 120 mm/h, enquanto que no segundo, realizado entre P3 e o vertedor, tendeu para 70 mm/h. De acordo com o que pode ser observado no levantamento altimétrico realizado, a região mais próxima ao vertedor aparece mais compactada, podendo ser essa a causa para a infiltração ser mais lenta nessa região. Pelo gráfico, percebe-se também que a água infiltra, nos dois pontos, a velocidades superiores a 200 mm/h nos primeiros 30 min.

Figura 26 – Dados dos ensaios de infiltração de duplo anel.



Fonte: Elaborada pela autora.

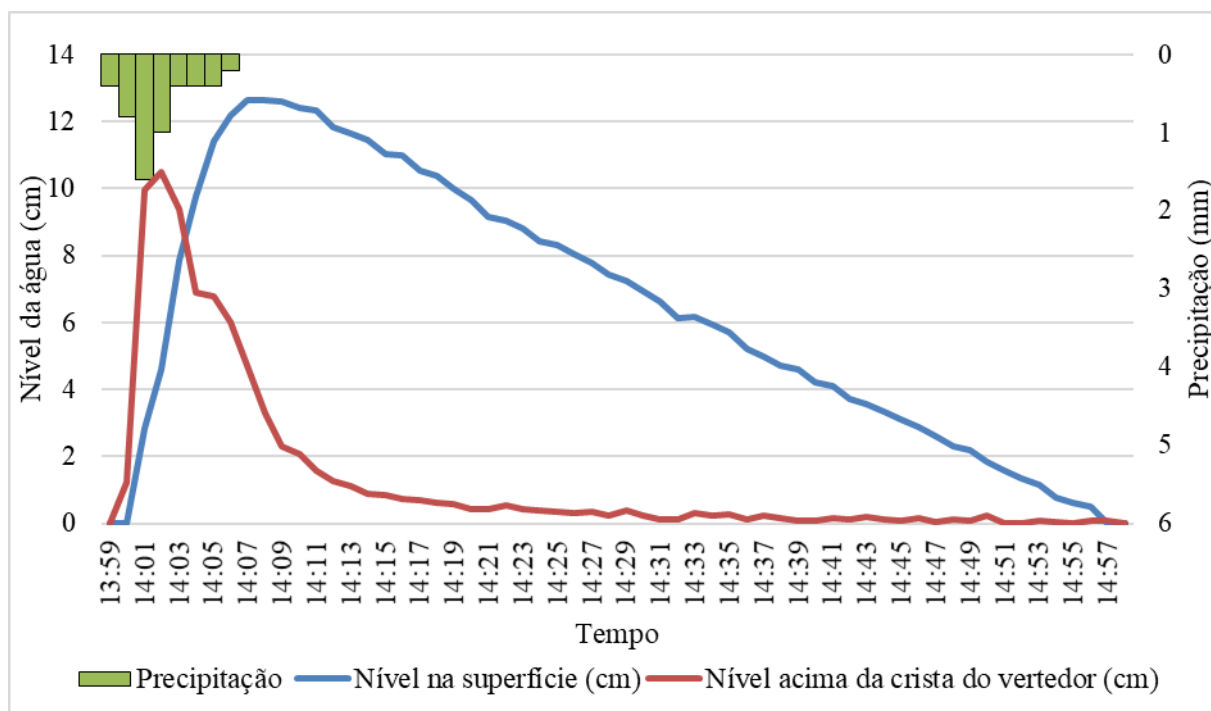
Dos dados obtidos pelo sensor PS, foram selecionados 10 eventos ocorridos no mês de junho de 2016. Pôde-se calcular parâmetros como vazão de entrada máxima e média ($Q_{\text{máx}}$ e $Q_{\text{méd}}$, respectivamente), lâmina máxima na superfície e, principalmente, a taxa de infiltração (Tabela 9). A Figura 27 mostra o comportamento do nível superficial na biorretenção, registrado pelo sensor PS, durante a chuva de 03 de junho de 2016.

Tabela 9 – Dados de 10 eventos ocorridos em junho de 2016, referentes a formação de lâmina d'água na camada superior da biorretenção.

Data	3-jun	4-jun	19-jun	20-jun	21-jun
Prec. Antecedente (mm) – 12h	4,00	1,60	13,00	1,00	0,00
Precipitação (mm)	5,20	6,20	15,00	2,40	1,40
Duração (h)	0,11	0,14	1,27	0,64	0,28
Intensidade (mm/h)	45,66	44,29	11,82	3,75	5,08
$Q_{\text{máx}}$ (L/s)	2,74	2,15	2,15	0,33	0,31
$Q_{\text{méd}}$ (L/s)	0,57	0,51	0,41	0,04	0,06
Lâmina máxima (mm)	12,64	13,92	12,62	1,44	1,64
Taxa de Infiltração (mm/h)	141,95	133,10	179,59	75,62	91,37
Data	22-jun	23-jun	24-jun	25-jun	27-jun
Prec. Antecedente (mm) – 12h	1,40	0,20	0,60	0,00	4,60
Precipitação (mm)	4,00	2,80	1,80	18,60	3,00
Duração (h)	1,20	0,11	0,56	3,81	0,18
Intensidade (mm/h)	3,32	25,52	3,20	4,89	16,24
$Q_{\text{máx}}$ (L/s)	0,58	0,99	0,37	0,73	2,02
$Q_{\text{méd}}$ (L/s)	0,04	0,11	0,05	0,11	0,20
Lâmina máxima (mm)	2,01	2,79	2,26	4,35	5,27
Taxa de Infiltração (mm/h)	71,27	135,32	78,58	116,91	131,22

Fonte: Elaborada pela autora.

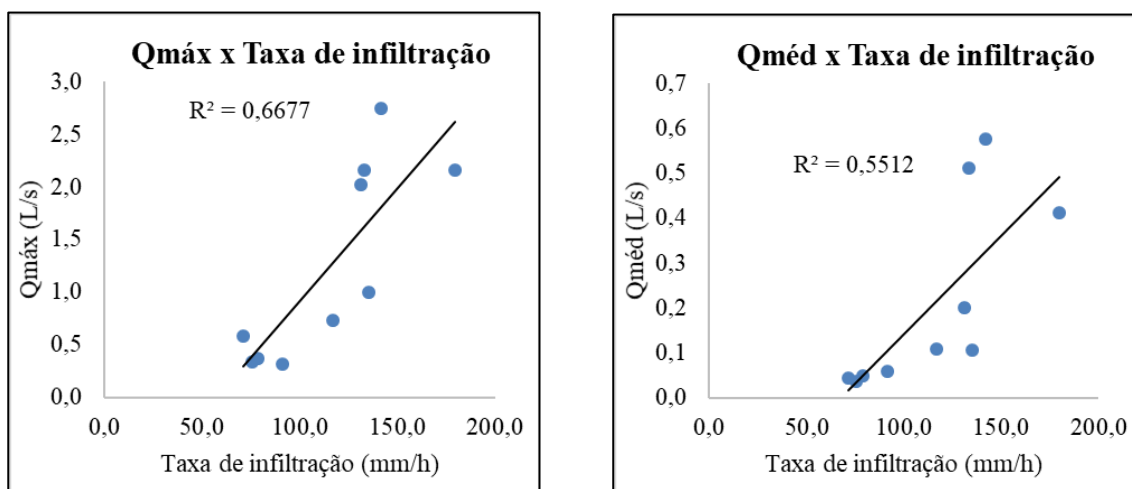
Figura 27 - Nível da água (cm) na superfície da biorretenção e acima da crista do vertedor (Evento de 03 de junho de 2016).



Pela Figura 27, verifica-se que, quando a contribuição de água pelo vertedor se aproxima de zero, a lâmina d'água na superfície passa a sofrer infiltração a uma taxa praticamente constante. Nesse evento, depois de ser atingido o nível máximo de 12,64 cm, a infiltração total da água durou aproximadamente 50 minutos.

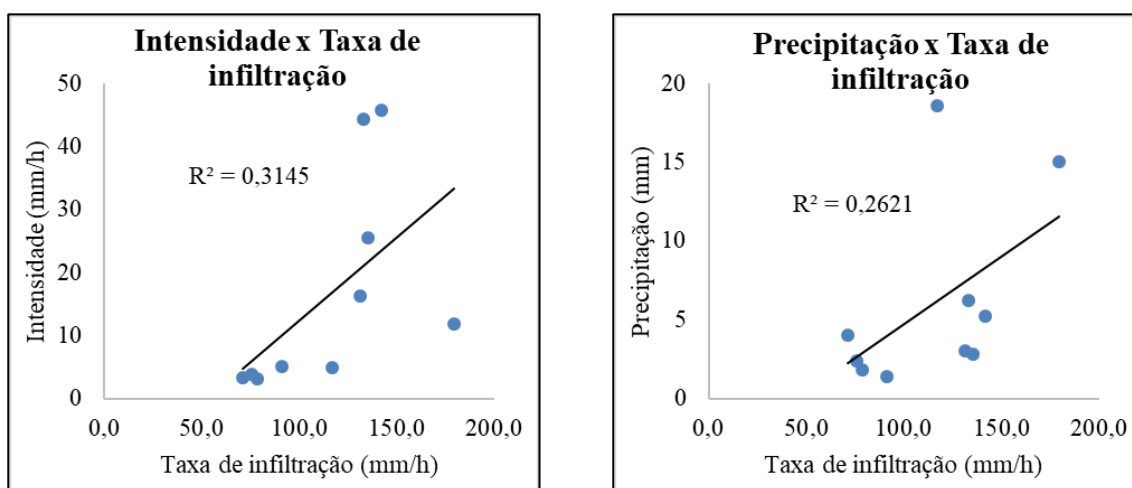
As taxas de infiltração, apresentadas na Tabela 9, tiveram valores próximos aos dos dois ensaios de duplo anel. A média das taxas de infiltração foi de 115,5 mm/h, com um desvio padrão de 35,4 mm/h. Essa variação de cerca de 30% da média pode estar relacionada a fatores como a umidade do solo antes da chuva, a intensidade da chuva, o volume total escoado, a magnitude total da precipitação, entre outros. Devido a isso, foi feito um estudo de correlação linear entre as variáveis com os dados desses 10 eventos, como pode ser visto nos gráficos de dispersão apresentados na Figura 28 e na Figura 29.

Figura 28 – Gráficos de dispersão dos parâmetros quantitativos dos 10 eventos em relação a taxa de infiltração.



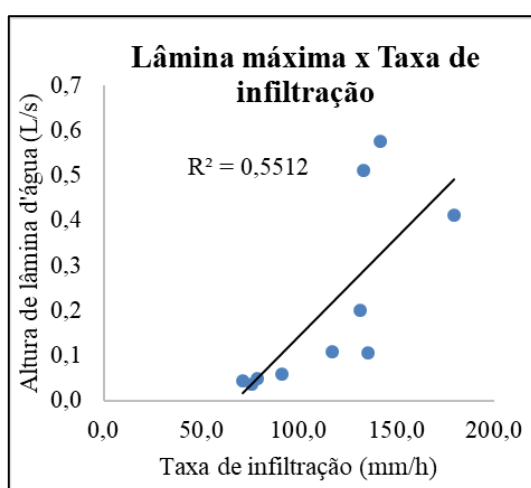
(a)

(b)



(c)

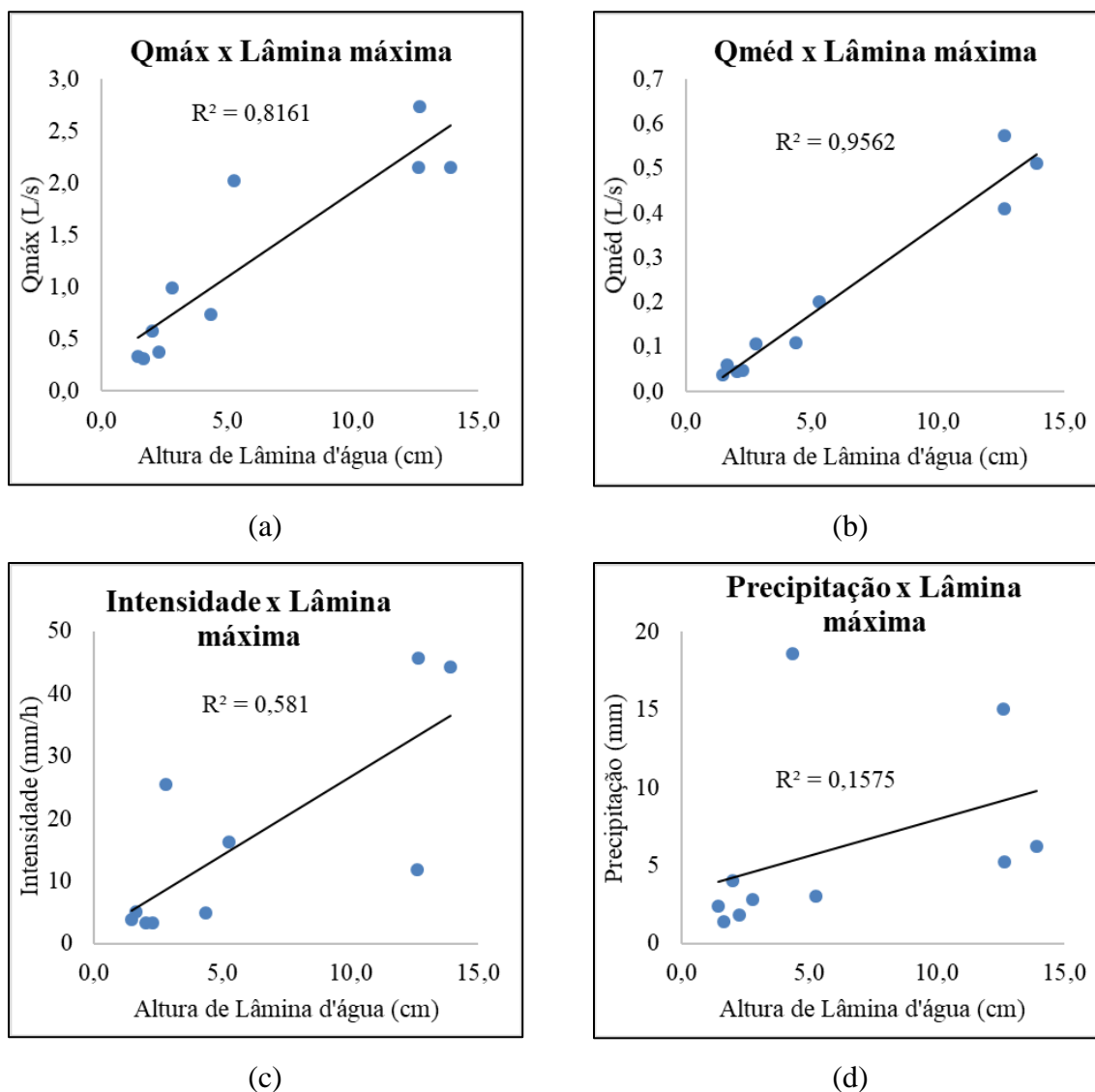
(d)



(e)

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 29 - Gráficos de dispersão dos parâmetros quantitativos dos 10 eventos em relação lâmina d'água máxima formada.



Fonte: Elaborada pela autora.

Todas as correlações foram positivas, mas apenas a relação entre os parâmetros vazão média e lâmina d'água máxima tiveram coeficiente de determinação R^2 maior que 0,9. Calculou-se também o coeficiente de correlação linear para esses dois parâmetros e o valor de r foi de 0,98. Isso significa que quando o volume escoado é maior para um mesmo período de tempo, a tendência é que o nível de água superficial também seja maior. Os valores de r para os outros parâmetros estão na Tabela 10, e essa mesma tendência foi apresentada pela relação da vazão máxima com a lâmina máxima e com a taxa de infiltração.

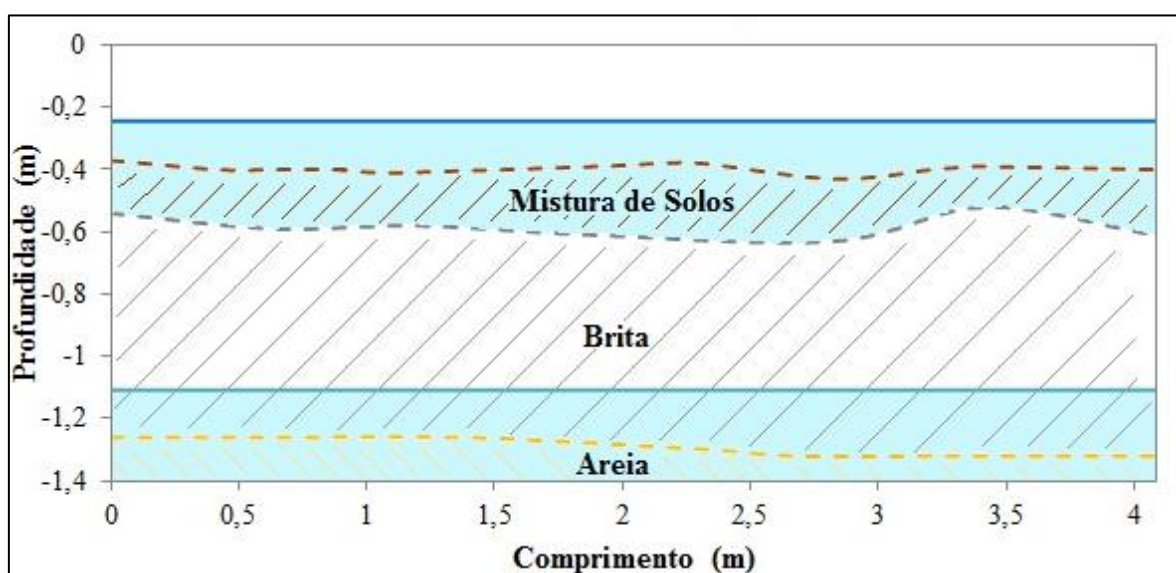
Tabela 10 - Valores do coeficiente de correlação linear r .

	Precipit.	Duração	Intensid.	$Q_{\text{máx}}$	$Q_{\text{méd}}$	Lâmina máxima	Taxa de Infiltração
Lâmina máxima	0,40	-0,13	0,76	0,90	0,98	1,00	0,78
Taxa de Infiltração	0,51	-0,02	0,56	0,82	0,74	0,78	1,00

Fonte: Elaborada pela autora.

Para averiguar se o acúmulo de água na superfície não era decorrente do enchimento total da camada de armazenamento, verificou-se os níveis dentro da biorretenção e da camada superior simultaneamente. A Figura 30 ilustra o momento em que o nível de água na superfície atinge seu máximo, no dia 19 de junho de 2016. Por esta imagem, é possível observar que a camada de armazenamento (brita) não atingiu nem metade de sua capacidade.

Figura 30 – Ilustração dos níveis de água, no perfil da biorretenção, quando a lâmina d'água atinge seu máximo (evento de 19/06/2016).



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores das taxas de infiltração encontrados neste trabalho variaram de 70 a 179 mm/h. Tecedor (2014) encontrou uma taxa de 180 mm/h no início de operação de um plano de infiltração, em São Carlos/SP. Já Melo et al (2014) utilizou um infiltômetro de anel simples em dois pontos do jardim de chuva, construído em Pernambuco, e obteve velocidade de infiltração de 179,3 mm/h e 444,7 mm/h. A autora adotou a média desses valores (312 mm/h) como taxa de toda a biorretenção, um valor muito superior em relação ao deste estudo. Mas se for comparado apenas o menor de seus resultados, tanto a taxa verificada por Tecedor (2014) quanto a apresentada pelo evento de 19 de junho (Tabela 9), os valores foram muito próximos.

Assim, verifica-se que o solo da camada superior tem boa permeabilidade, mesmo depois de ter passado pelo processo de compactação. Além disso, a capacidade de armazenamento foi suficiente para os eventos analisados neste estudo, descartando a possibilidade de esse ser um causador da formação da lâmina d'água.

A presença dessa lâmina é inevitável. Com o tempo, as estruturas passam pelo processo de colmatção e reduzem sua capacidade de infiltração. O que não é desejável é um nível de água elevado, podendo ocasionar transbordamento. Dessa forma, fazer uma análise do dimensionamento da área superficial pode ser a solução para construções futuras.

5.3 Escoamento de Água do Telhado

Estas coletas foram as que mais apresentaram limitações para realização, devido à falta de um amostrador automático e consequente necessidade de coleta simultânea ao evento chuvoso. Os eventos estudados nesta análise tiveram as características apresentadas na Tabela 11. No primeiro, a precipitação, a intensidade da chuva, o volume escoado e a vazão média foi maior que no segundo.

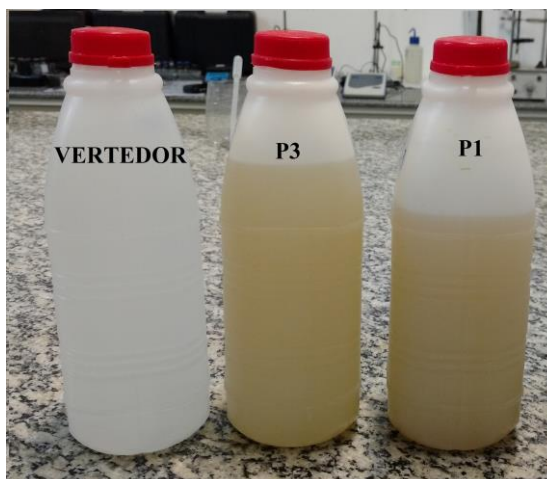
Tabela 11 - Características da chuva em cada evento e do escoamento gerado.

Evento	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm/h)	Volume escoado (L)	Vazão média (L/s)
04/06/2016	6,20	0,14	44,29	627,36	0,57
14/06/2016	3,20	0,09	35,55	311,42	0,21

Fonte: Elaborada pela autora.

O evento do dia 04 de junho foi a primeira coleta realizada neste trabalho. De início, antes mesmo da realização das análises no laboratório, percebeu-se a diferença entre as aparências das amostras (Figura 31). Nota-se que as amostras na saída da biorretenção (P1 e P3) apresentam turbidez elevada, em contraste com a água retirada no vertedor. O mesmo se repetiu na coleta do dia 14 de junho. Isso pode ser constatado nos resultados da Tabela 12.

Figura 31- Amostras coletadas no dia 04 de junho de 2016.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 12- Parâmetros físicos e pH das coletas de água escoadas pelo telhado.

Parâmetro	04/06/2016			14/06/2016		
	Entrada	Saída	Desvio Padrão	Entrada	Saída	Desvio Padrão
pH	7,64	7,35	0,08	F	F	F
Turbidez (NTU)	0,7	376,2	52,5	1,1	302,0	47,1
Cond. Elétrica (mS/L)	0,010	0,041	0,040	0,013	0,061	0,012
ST (mg/L)	92,0	1.598,0	-	NR	NR	-
SST (mg/L)	34,0	734,0	-	NR	NR	-
SDT (mg/L)	58,0	864,0	-	NR	NR	-
STF (mg/L)	F	1.476,0	-	NR	NR	-
STV (mg/L)	F	122,0	-	NR	NR	-

NR – análise não realizada.
F – falha no procedimento.

Fonte: Elaborada pela autora.

A concentração alta de sólidos na saída da biorretenção pode ser decorrente do carreamento das partículas da camada de mistura de solo. Além disso, nota-se uma grande parcela de sólidos dissolvidos nas amostras de saída, os quais possuem mais facilidade de passar pela manta geotêxtil.

O pH apresentou redução ao passar pela biorretenção, porém a diferença não foi grande. Já a condutividade elétrica aumentou, o que era esperado devido à presença de sais e minerais no solo. Os demais parâmetros analisados estão expostos na Tabela 13. As concentrações de saída estão expressas em função do EMC, mas os valores de concentrações de alguns desses

parâmetros estão representados na Figura 32 e na Figura 33, bem como o volume no instante da coleta de água.

Tabela 13 - EMC das amostras referentes ao lançamento de água escoada pelo telhado.

Parâmetro	04/06/2016			14/06/2016		
	Entrada	EMC - Saída	Remoção (%)	Entrada	EMC - Saída	Remoção (%)
DQO (mg/L)	<LD	<LD	-	<LD	<LD	-
DBO _{5,20} (mg/L)	NR	NR	-	NR	NR	-
E coli (UFC/100mL)	500	5.327	-965,5	170	1.075	-532,9
Coliformes Totais (UFC/100mL)	3700	22.247	-501,3	2.260	20.300	-798,2
Fósforo (mg/L)	0,8	1,5	-90,9	0,3	1,5	-349,8
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	<LD	<LD	-	<LD	<LD	-
Nitrito (mg/L)	0,01	0,03	-212,8	<LD	0,0	-
Nitrato (mg/L)	0,00	0,05	-	<LD	0,1	-

NR – Análise não realizada.
F – falha na análise do parâmetro.
< LD – Concentrações abaixo do limite de detecção do método.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 32 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 04 de junho de 2016.

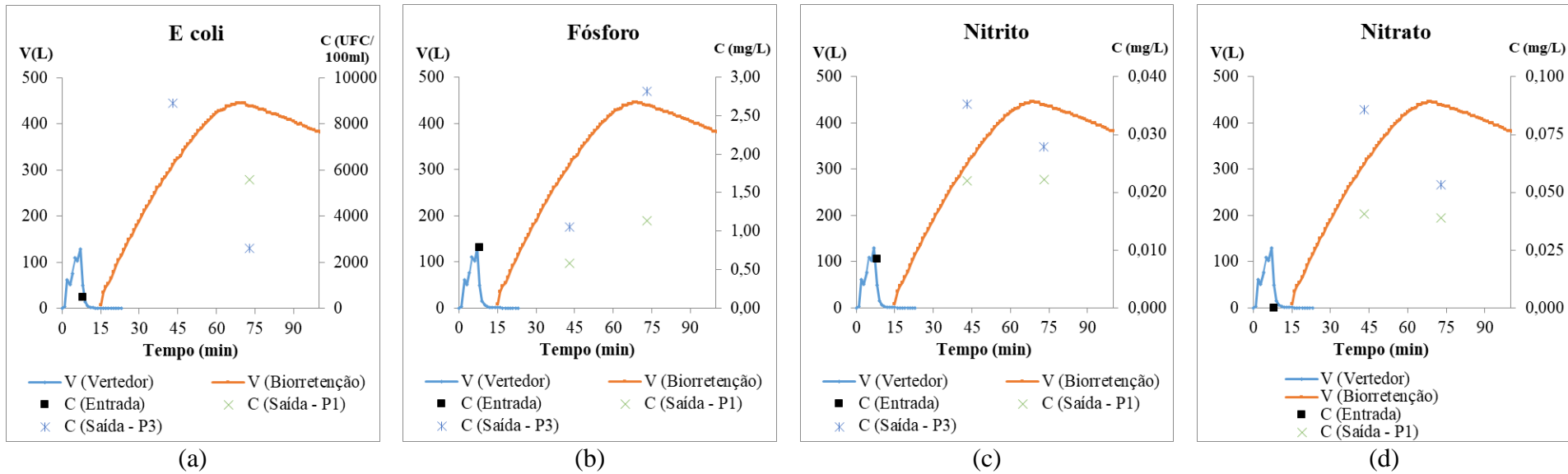
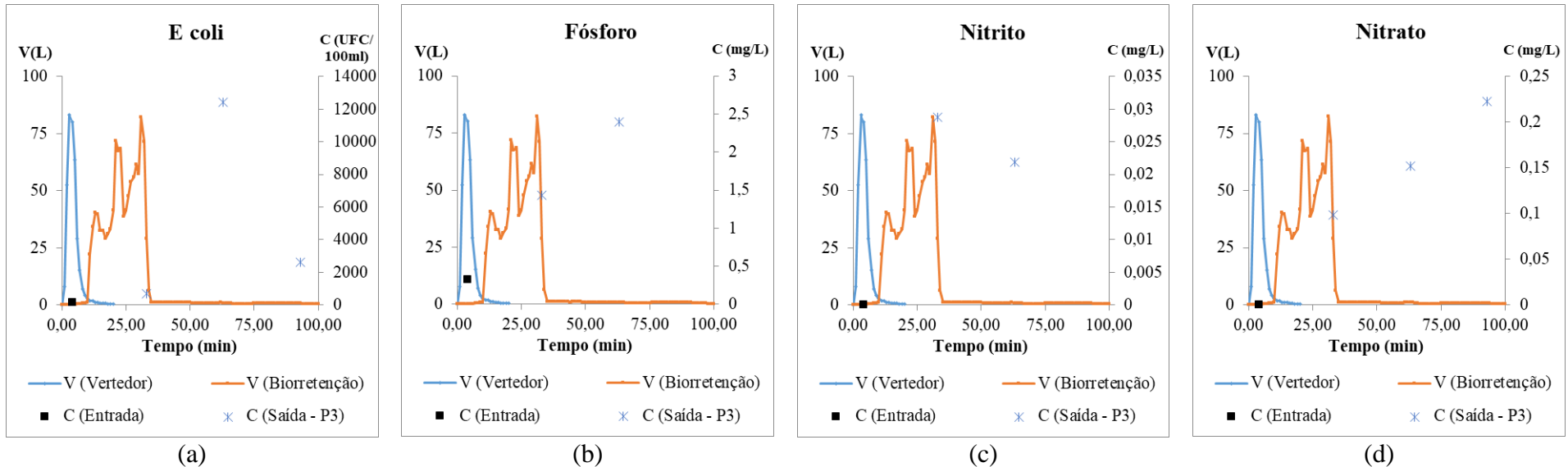


Figura 33- Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 14 de junho de 2016.



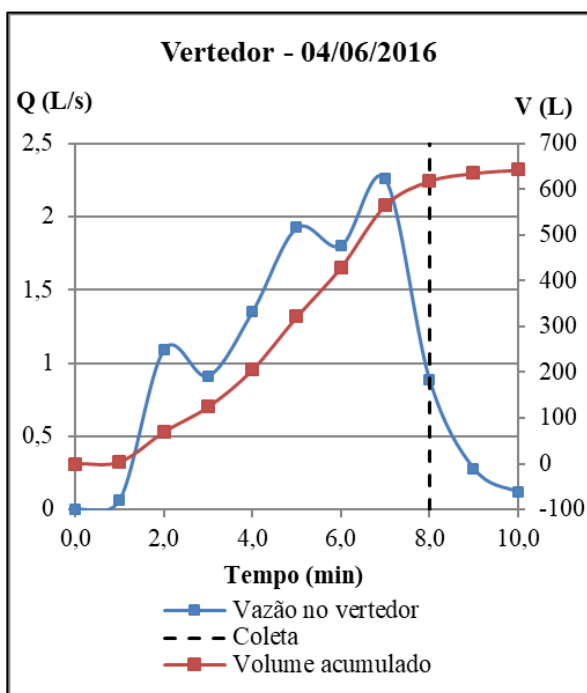
Verifica-se que a maioria dos parâmetros de entrada, nas duas coletas, apresentou valores baixos, até mesmo menores que o limite de detecção da metodologia aplicada. Esse foi um dos motivos pelo qual se viu a necessidade de lançar na biorretenção outras águas de drenagem com concentrações maiores de poluentes.

É importante ressaltar, pelo que foi percebido durante o acompanhamento presencial de eventos chuvosos, que a “entrada” da biorretenção tem também contribuição da água escoada no solo adjacente. Como a qualidade dessas águas não foi analisada neste trabalho, sua contribuição foi desconsiderada. Dessa forma, o aumento verificado no interior da biorretenção pode estar associado à qualidade dessa água, sendo a diferença expressiva de coliformes totais e *E. coli* um indício desse fato.

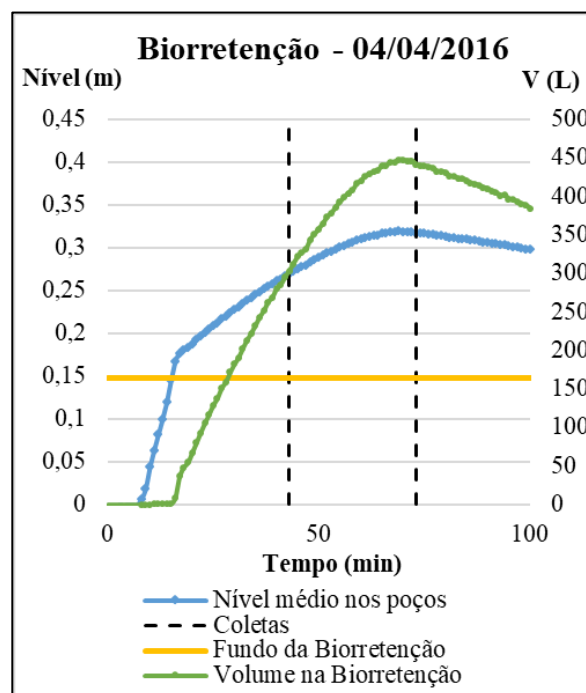
A ausência de nitrogênio amoniacal e os baixos valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio) durante todo o evento permite concluir que não há contribuição significativa de matéria orgânica nem contaminação por esgoto. Porém, a presença de fósforo e de traços de nitrito e nitrato no interior da biorretenção indica que esses nutrientes, por estar contidos em solos, podem ter vindo tanto da camada de mistura de solos (camada de substrato) como, também, da água escoada no terreno adjacente.

Os valores das concentrações no fundo da biorretenção apresentaram variação no tempo, tanto em relação às concentrações em cada poço de coleta (P1 e P3) quanto ao volume interno. Na coleta do dia 14 de junho só foi realizada amostragem no poço P3, pois não houve entrada de água suficiente para coleta no ponto P1. A Figura 33 mostra que algumas amostragens foram realizadas quando o volume interno era muito baixo, próximo a zero. Isso só foi possível devido a diferença entre os níveis do fundo do poço e da biorretenção, como foi explicado no item 4.2.4. A Figura 34 mostra, em uma escala melhor, o nível no poço de coleta e o volume na biorretenção nos instantes de amostragem.

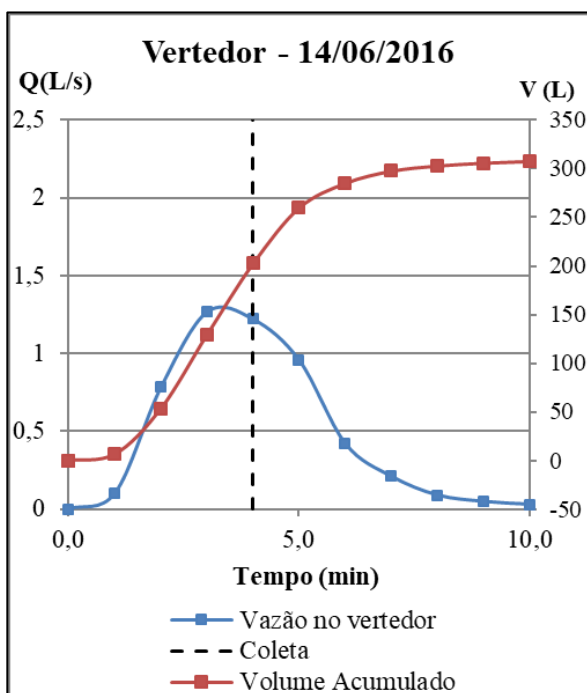
Figura 34 – Gráficos com os instantes de amostragem na entrada – (a) e (c); e na saída – (b) e (d).



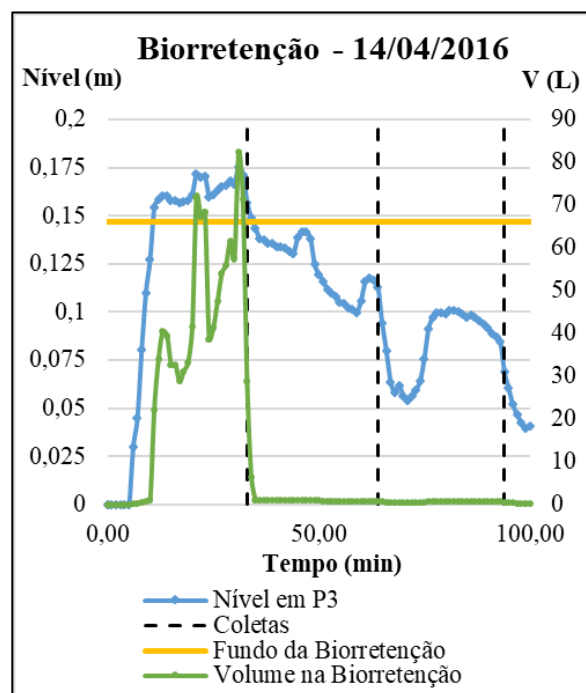
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaborada pela autora.

Os gráficos de entrada de água, (a) e (c), mostram que, quando a coleta foi realizada, grande parte do volume escoado já havia sido lançado na biorretenção. Esse é outro fator que pode ter influenciado nas baixas concentrações de entrada, visto que a maioria dos poluentes da drenagem urbana é carregado na primeira lavagem, ou *first flush* (SARUKKALIGE, PRIDDLE, GAMAGE, 2012).

A Figura 34(d) confirma que o volume de água no poço P3, no momento da coleta, foi baixo porque a água estava a um nível inferior ao do fundo da biorretenção. Em comparação aos dois eventos, percebe-se que, no primeiro, o volume escoado foi o dobro do segundo, a vazão média de entrada foi aproximadamente o triplo (Tabela 11), e isso proporcionou um volume armazenado máximo na biorretenção quatro vezes maior.

5.4 Lançamento de Água de Sarjeta

A coleta de águas de sarjeta foi importante não só para verificação da eficiência da biorretenção como, também, para caracterização da qualidade da água desse tipo de dispositivo de drenagem, contribuindo para estudos voltados para poluição difusa.

5.4.1 Caracterização da água da sarjeta

Na Tabela 14 estão valores de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água coletada na sarjeta para dois eventos simulados e os valores desses mesmos parâmetros em outros trabalhos. A Tabela 15 apresenta os dados de precipitação nos dias de coleta e nos antecedentes.

Tabela 14 - Dados de concentração das coletas na sarjeta em comparação com os resultados apresentados por outros trabalhos.

Parâmetro	31/08/2016	13/10/2016	Berndtsson (2014)			Sarukkalige, Priddle e Gamage (2012)		
			Área residencial no verão	Área residencial no outono	Área de tráfego médio no verão	Comercial	Residencial	Industrial
pH	7,26	6,88	-	-	-	5,74	6,73	6,49
Cor (uC)	324,00	326,00	-	-	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	714,00	766,10	-	-	-	1,164	1,900	1,762
DQO (mg/L)	267,69	631,51	-	-	-	-	-	-
E coli (UFC/100mL)	30.200	196.000	-	-	-	-	-	-
CT (UFC/100mL)	860.000	>LD	-	-	-	-	-	-
P total (mg/L)	NR	2,73	-	-	-	-	-	-
ST (mg/L)	NR	1.504,00	-	-	-	-	-	-
STV (mg/L)	NR	252,00	-	-	-	-	-	-
STF (mg/L)	NR	1.252,00	-	-	-	-	-	-
SST (mg/L)	NR	1.110,00	43 (6-86)	19 (6-32)	105(55-150)	0,007	0,016	0,039
SDT (mg/L)	NR	394,00	-	-	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	0,06	NR	-	-	-	0,003	0,015	0,081
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< LD	< LD	-	-	-	0,019	0,004	0,063
Cr (mg/L)	NR	0,07	2,5 (0,5-4)*	0,7 (0,5-1)*	4,0 (0,5-7,4)*	-	-	-
Pb (mg/L)	NR	0,08	3,7 (1,5-6,5)*	1,7 (1,5-2)*	5,6 (1,5-9,2)*	-	-	-
Zn (mg/L)	NR	0,44	49 (42-59)*	25 (18-33)*	59 (7-100)*	-	-	-
Cd (mg/L)	NR	< LD	0,09(0,06-0,13)*	0,07(0,05-0,09)*	0,09(0,05-0,14)*	-	-	-
Ni (mg/L)	NR	0,01	2,6 (1,9-3,9)*	1,5 (1,5-1,5)*	3,6 (1,5-5,4)*	-	-	-
Cu (mg/L)	NR	0,14	19,6 (14-25)*	4,4 (3,4-6,3)*	16,8 (8,4-25)*	-	-	-

NR – Análise não realizada.
LD – Concentrações abaixo/acima do limite de detecção do método.
* - Concentração em (µg/L).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 15 - Precipitações no dia da coleta e nos dias antecedentes.

	Precipitação (mm)	
	31/08/2016	13/10/2016
Dia da coleta	3,8	7,6
1 dia	3,2	0,4
3 dias	18,0	0,4
5 dias	24,0	0,4
7 dias	24,0	0,4
15 dias	53,4	5,8

Fonte: Elaborada pela autora.

Em comparação às duas amostras, o pH de ambas foi aproximadamente 7, conferindo-lhes caráter praticamente neutro. Os parâmetros de cor e turbidez foram bastante semelhantes e altos, o que pode ser notado, também, pela excessiva quantidade de sólidos presentes na amostra do dia 13 de outubro.

Percebe-se que a maior parcela dos sólidos totais é fixa (83,25%), ou seja, a maioria é de partícula inorgânica como a areia, por exemplo. Pelas características do local de coleta citadas na metodologia, há presença de solo exposto ao lado, e suas partículas devem ter sido transportadas durante o escoamento causado pela chuva.

Os resultados de *E. coli* e DQO da segunda coleta foram muito superiores, 650% e 236% maior que os valores da primeira coleta, respectivamente. A diferença pode estar relacionada à precipitação do período antecedente à coleta. Quanto mais dias sem chuva, mais impurezas se acumulam na superfície, contribuindo para elevadas cargas de poluentes em eventos chuvosos. Na Tabela 15, verifica-se que nos dias anteriores a 31 de agosto choveu mais comparado às precipitações diárias ao longo de 2016, enquanto que na outra coleta, a chuva dos sete dias anteriores foi bem menor.

No que se diz respeito à quantidade de nutrientes nas amostras, a concentração de fósforo foi maior que a observada na coleta da água do telhado do CEENG, o nitrogênio na forma amoniacal ficou abaixo do limite de detecção e o nitrato apareceu em concentração muito baixa.

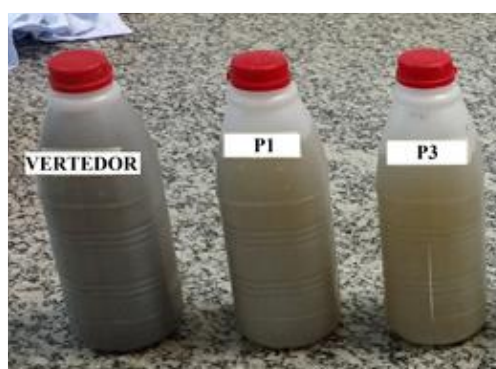
Em relação ao que foi observado na literatura, com exceção do pH, os valores de todos os poluentes foram mais elevados do que nos trabalhos de Sarukkalige, Priddle e Gamage (2012) e Berndtsson (2014). Enquanto, nessas pesquisas, as amostras foram retiradas durante o escoamento; neste trabalho, as coletas foram feitas em uma sarjeta onde estava água acumulada, e, junto a ela, as partículas transportadas durante toda a chuva. Além disso, parte da água já

tinha passado pelo processo de evaporação, e ainda havia contribuição de mais poluentes devido a passagem de carros, animais, entre outros. Isso contribui para o aumento da concentração dos poluentes, mas não é o único motivo da diferença com os valores da literatura. Trata-se, também, da própria característica da água de lavagem do local. Dessa forma, percebe-se que as águas pluviais desse local possuem altos valores de metais, sólidos, DQO e *E coli*.

5.4.2 Concentrações no fundo da biorretenção

Na sessão 5.3, foi observado que a água na saída da biorretenção apresentava turbidez elevada em relação à entrada. Nessa etapa do trabalho, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** já nos indica a presença de muitos sólidos na própria água que foi lançada. A Figura 35 mostra a aparência das amostras coletadas no dia 31 de agosto e verifica-se que ambas possuem os parâmetros físicos elevados, com diferença na cor das mesmas. Essas observações podem ser constatadas pelos valores da Tabela 16.

Figura 35 – Amostras do ensaio realizado em 31/08/2016.



Fonte: Elaborada pela autora.

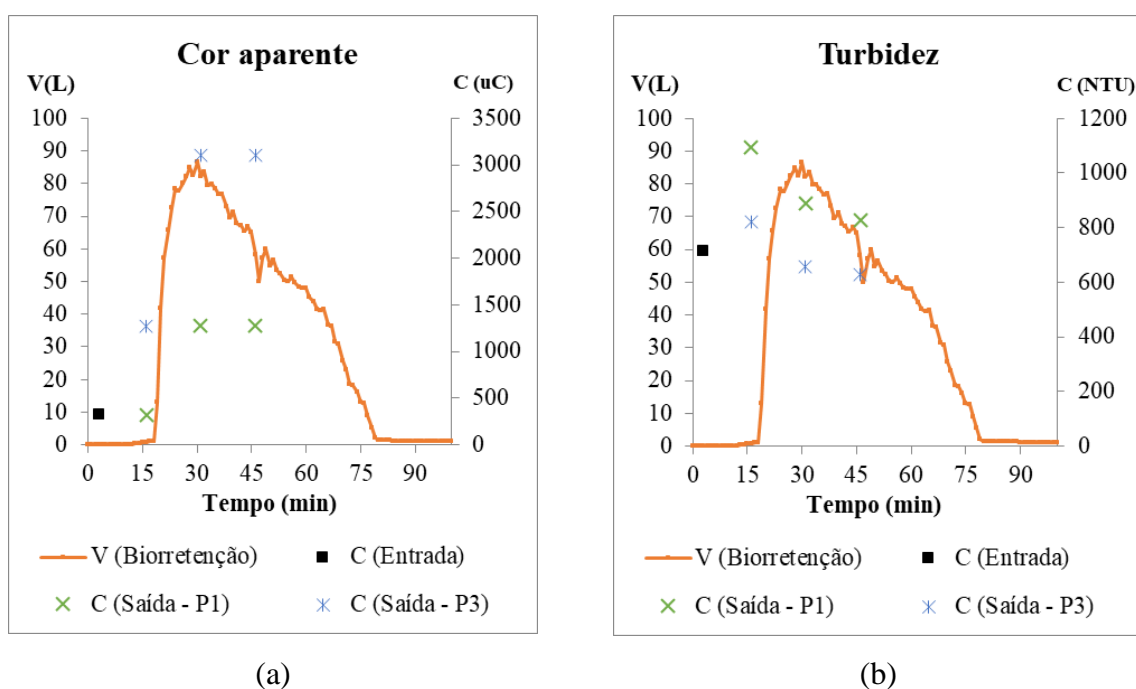
Tabela 16 - Valores de parâmetros físicos e pH de entrada e saída na biorretenção -s lançamentos de água de sarjeta.

Parâmetro	31/08/2016			13/10/2016		
	Entrada	Saída	Desvio Padrão - saída	Entrada	Saída	Desvio Padrão - saída
pH	7,3	6,8	0,02	6,9	7,0	0,02
Cor (uC)	324,0	2.005,2	879,8	326,0	324,5	0,75
Turbidez (UNT)	714,0	764,0	98,4	766,1	645,3	23,36
ST (mg/L)	NR	NR	-	1.504,0	1.463,0	-
SST (mg/L)	NR	NR	-	1.110,0	1.163,3	-
SDT (mg/L)	NR	NR	-	394,0	299,7	-
STF (mg/L)	NR	NR	-	1.252,0	1.330,0	-
STV (mg/L)	NR	NR	-	252,0	133,0	-

NR – Análise não realizada.

A quantidade de sólidos se manteve predominantemente em suspensão e fixos. Os valores de pH não apresentaram diferenças significativas ao passar pelo interior da biorretenção, mantendo-se próximo da neutralidade. Já a cor aparente e a turbidez, apesar de terem concentrações de entrada semelhantes em relação aos dois lançamentos, apresentaram comportamentos contrários na saída. Além disso, esses dados apresentaram desvio padrão elevado. A Figura 36 permite visualizar como foi o comportamento dessas concentrações durante as coletas.

Figura 36 - Concentrações de cor e turbidez na coleta do dia 31 de junho.



Fonte: Elaborada pela autora.

Enquanto a cor aparente foi maior com o aumento do volume no interior da biorretenção, a turbidez foi menor. Notou-se, também, que o poço de coleta P1 apresentou maior turbidez e o poço P3, maior cor aparente. Como esses parâmetros estão relacionados à presença de sólidos na água, os aumentos podem ser decorrência do carreamento dos sólidos da própria biorretenção, da mesma maneira como ocorreu nas análises de água do telhado.

A Tabela 17 mostra as concentrações médias dos eventos (EMC) e a remoção dos demais parâmetros analisados nesses dois lançamentos. O primeiro evento não possui resultados de metais, pois não haviam ainda sido contratadas as análises no laboratório externo. A Figura 37e a Figura 38 mostram a variabilidade das concentrações no interior da biorretenção.

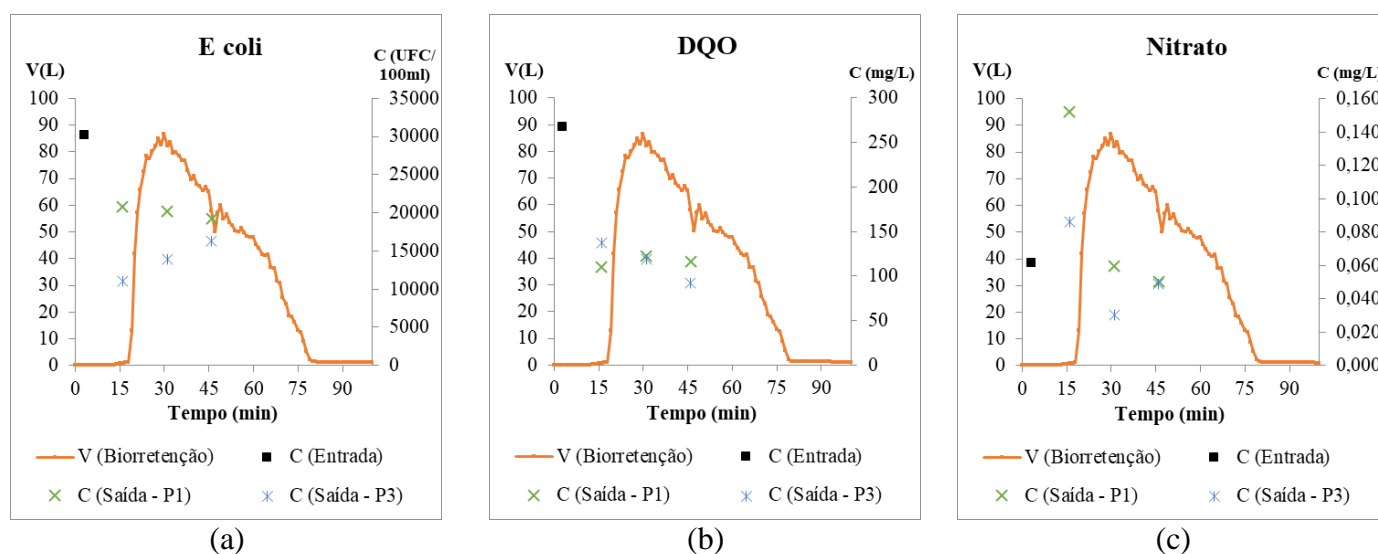
Tabela 17 - Concentrações médias de entrada e saída na biorretenção das águas coletadas na sarjeta.

Parâmetro	31/08/2016			13/10/2016		
	Entrada	EMC Saída	Remoção (%)	Entrada	EMC Saída	Remoção (%)
DQO (mg/L)	267,7	113,9	57,5	631,5	303,08	52,01
DBO _{5,20} (mg/L)	NR	NR	-	NR	NR	-
E coli (UFC/100mL)	30.200	17.350	42,5	196.000	68.518	65,04
Coliformes Totais (UFC/100mL)	860.000	>LD	-	>LD	>LD	-
Fósforo (mg/L)	NR	NR	-	2,73	0,75	72,6
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	<LD	<LD	-	<LD	<LD	-
Nitrito (mg/L)	NR	NR	-	NR	NR	-
Nitrato (mg/L)	0,062	0,047	23,06	NR	NR	-
Cromo Total (Cr) (mg/L)	NR	NR	-	0,07	0,01	78,95
Chumbo Total (Pb) (mg/L)	NR	NR	-	0,08	0,01	85,69
Zinco Total (Zn) (mg/L)	NR	NR	-	0,44	0,11	75,7
Cádmio (Cd) (mg/L)	NR	NR	-	< LD	< LD	-
Níquel Total (Ni) (mg/L)	NR	NR	-	0,01	0,004	71,4
Cobre Total (Cu) (mg/L)	NR	NR	-	0,14	0,03	76,4

NR – Análise não realizada.
LD – Concentrações abaixo/ acima do limite de detecção do método.

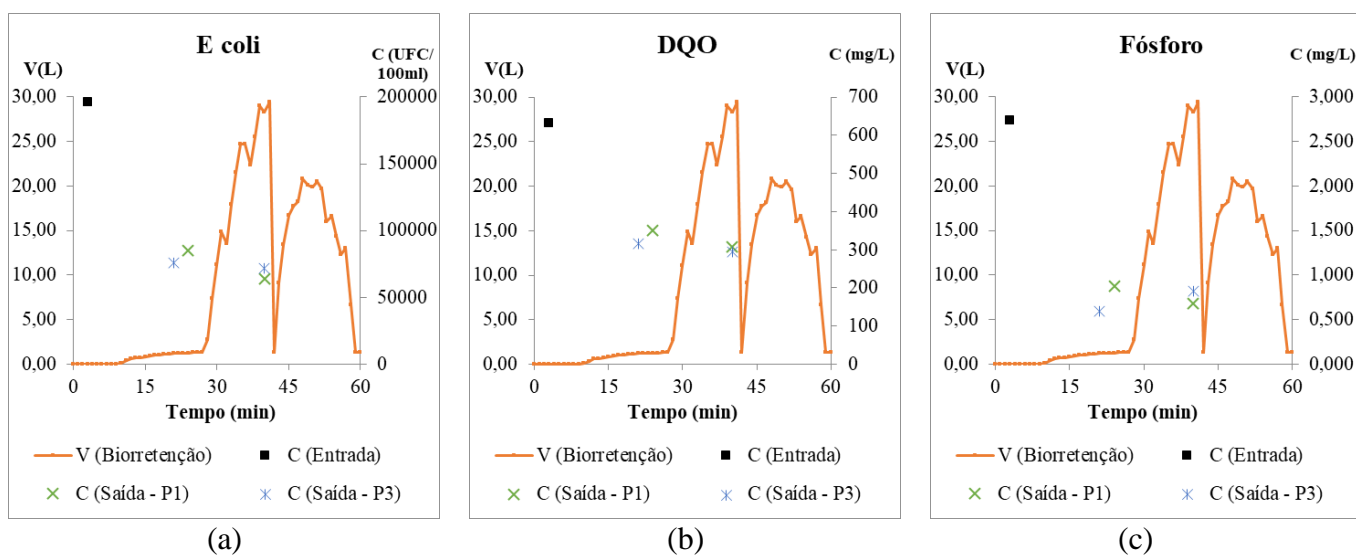
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 37 -Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 31 de agosto de 2016.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 38 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 13 de outubro de 2016.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores de EMC nos poços de coletas mostraram redução em relação às concentrações de entrada de todos os parâmetros, indicando que o dispositivo reteve grande parte dos poluentes. Os metais tiveram ótima remoção, mais de 70% de todos eles não passaram para o interior da biorretenção. A porcentagem de retenção de DQO foi similar nos dois eventos. Já para *E. coli*, no segundo evento, a biorretenção se mostrou mais eficiente.

O nitrogênio só foi detectado na forma de nitrato e, mesmo assim, em concentrações insignificantes. A baixa remoção pode estar associada a erros laboratoriais que são mais perceptíveis quando se trabalha com valores dessa ordem de grandeza. A remoção de fósforo foi bastante satisfatória, principalmente, por apresentar concentração na saída menor que as calculadas nas coletas de águas pluviais do telhado (Tabela 13).

Em relação aos gráficos, verifica-se que, na primeira amostragem dos dois lançamentos de água da sarjeta, o volume no interior da biorretenção ainda era muito baixo. Porém, com exceção do nitrato, não se percebe variação significativa nas concentrações dos poluentes com o aumento desse volume.

O volume máximo interno foi maior no dia 31 de agosto, porque nesse ensaio foram lançados 120 L a mais que no do dia 13 de outubro. Como o poço de amostragem e o do sensor de nível ficam juntos, o processo de coleta da água altera os níveis de ambos numa proporção maior do que na própria biorretenção. Por isso, nos gráficos, podem ser notadas variações bruscas do volume.

É importante salientar que, antes de lançar esses volumes de água, esperou-se o esvaziamento da biorretenção para não haver interferência nos dados. Além disso, durante o lançamento, não teve precipitação nem contribuição de outra água. O único fator que pode influenciar nos resultados é a saturação do solo, principalmente, nos valores de taxa de infiltração.

5.5 Lançamento de Água de Canal

As duas coletas de água do canal da UFAL foram realizadas no mesmo horário, entre 10h e 12h do dia, para que os efluentes pudessem ter características similares. Isso porque, no trabalho realizado por Agra et al (2016), foi verificada variação nas concentrações dos poluentes ao longo do dia, devido às atividades realizadas no campus, como o horário de funcionamento do restaurante universitário, por exemplo. Além disso, no mês de dezembro as condições de tráfego de pessoas e veículos na universidade não variaram muito, pois o período era de greve dos técnicos e de professores.

A única diferença percebida nas condições dos dias de coletas que pode ter influência nas cargas poluentes foi a precipitação antecedente (Tabela 18), pois a chuva pode contribuir com o acréscimo de alguns poluentes pelo transporte de sedimentos ou causar a diluição de outros. Percebe-se que, no dia 06 de dezembro, a região passava por um período de pelo menos três dias sem chuva, enquanto o período antecedente ao dia 21 houve chuva nos sete dias anteriores.

Tabela 18 - Precipitações antecedentes aos dias 06 e 21 de dezembro de 2016.

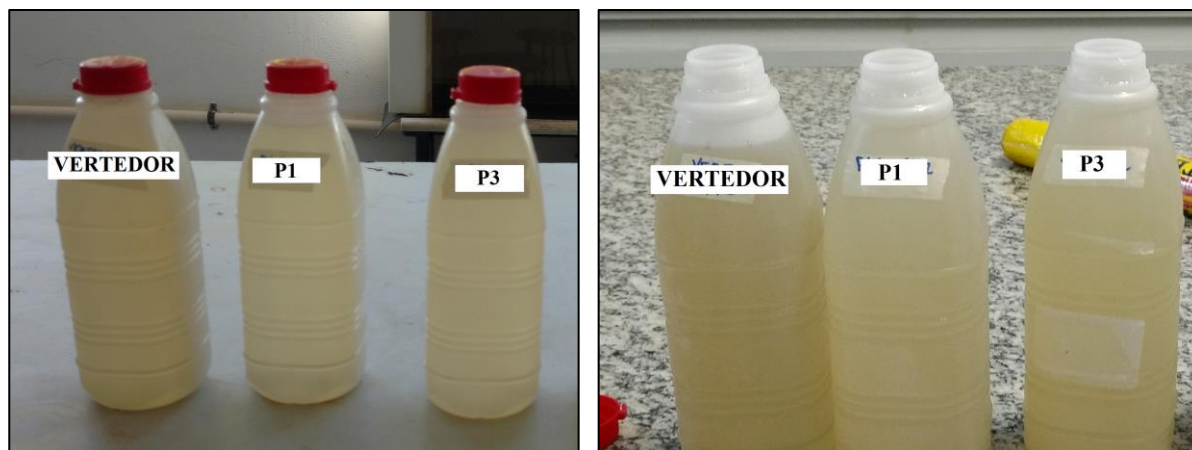
	Precipitação (mm)	
	06/12/2016	21/12/2016
Dia da coleta	0	1,8
1 dia	0	5,4
3 dias	0	8,6
5 dias	1,4	14,8
7 dias	1,4	21,4
15 dias	3,8	21,4

Fonte: Elaborada pela autora.

As amostras do lançamento desses efluentes na biorretenção teve aparência bem diferente comparada às demais coletas (Figura 39). Nota-se que, dentre os parâmetros físicos, o que se destaca nas amostras é a cor aparente das mesmas e não a turbidez. Dessa forma, suas

características visuais já sugerem que as águas possuem mais sólidos dissolvidos do que em suspensão. Essa afirmação é confirmada através dos dados da Tabela 19.

Figura 39 – Amostras retiradas: a) dia 06 de dezembro; b) dia 21 de dezembro de 2016.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 19 – Características físicas e pH das amostras referentes ao lançamento de água do canal.

Parâmetro	06/12/2016		21/12/2016	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
pH	7,7	7,4	7,8	7,3
Cor (uC)	169,0	158,3	187,0	181,8
Turbidez (UNT)	13,6	27,1	13,9	33,2
Cond. Elétrica (mS/L)	0,831	0,550	0,772	0,428
ST (mg/L)	486,0	371,9	380,0	342,2
SST (mg/L)	18,0	71,6	56,5	66,1
SDT (mg/L)	468,0	300,4	323,5	276,1
STF (mg/L)	264,0	279,0	352,0	286,0
STV (mg/L)	222,0	92,9	28,0	56,2

Fonte: Elaborada pela autora.

O comportamento do pH foi o mesmo dos demais eventos, houve redução na saída, mas a diferença foi pequena. A condutividade elétrica também reduziu, contrário ao avaliado nos eventos chuvosos, mas os valores na saída foram 10 vezes maiores comparados aos apresentados na Tabela 12. Isso significa que houve retenção de sais da água lançada, mas não isenta a possibilidade de ter acontecido o transporte dos sais do próprio solo da biorretenção.

Os valores de turbidez aumentaram na passagem pelo dispositivo e os de cor reduziram. O mesmo aconteceu com os sólidos em suspensão e dissolvidos, respectivamente. E,

novamente, a maior parte dos ST no interior da biorretenção é de sólidos fixos, o que pode indicar que é baixa a quantidade de substâncias orgânicas que infiltram no solo natural.

Na Tabela 20 estão os dados obtidos na análise dos demais parâmetros de qualidade. A metodologia de obtenção da concentração de nitrato não foi aplicada, pois esse canal não apresenta esse poluente devido ao seu estado de degradação e, conseqüente, ausência de oxigênio dissolvido (AGRA et al, 2016).

Tabela 20 – EMC dos demais parâmetros químicos e microbiológicos do lançamento de águas do canal.

Parâmetro	06/12/2016			21/12/2016		
	Entrada	EMC Saída	Remoção (%)	Entrada	EMC Saída	Remoção (%)
DQO (mg/L)	NR	NR	NR	220,3	78,4	64,4
DBO _{5,20} (mg/L)	50,0	38,0	24,0	88,0	65,4	25,7
E coli (UFC/100mL)	10.000	25.728	-157,3	44.000	25.748	41,5
Coliformes Totais (UFC/100mL)	330.000	1.534.120	-364,9	>LD	>LD	-
Fósforo (mg/L)	5,0	1,2	76,5	6,0	1,4	76,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	106,3	34,0	68,0	76,1	19,2	74,8
Nitrato (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cromo Total (Cr) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Chumbo Total (Pb) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Zinco Total (Zn) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Cádmio (Cd) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Níquel Total (Ni) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Cobre Total (Cu) (mg/L)	< LD	< LD	-	< LD	< LD	-
Óleos e Graxas (mg/L)	19,0	7,0	63,2	15,3	6,5	57,3
NR – Análise não realizada.						
LD - Concentrações abaixo/ acima do limite de detecção do método.						

Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação à qualidade da água do córrego, o resultado das duas coletas permite inferir que há contaminação por esgoto, devido à presença de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica. A quantidade de óleos e graxas totais pode ser decorrente do transbordamento do esgoto do restaurante universitário, que se localiza a cerca de 160,0 m do local de coleta no canal. Além disso, com exceção de metais pesados, os demais parâmetros analisados tiveram valores elevados.

Comparando os dados das duas coletas, nota-se que as concentrações de *E coli*, fósforo e matéria orgânica biodegradável foram maiores no dia 21 de dezembro, e as de nitrogênio

amoniacoal e total de óleos e graxas foram menores. Essa diferença pode estar relacionada à precipitação antecedente ou até mesmo à sazonalidade do fluxo de pessoas na universidade.

Já no que se refere à eficiência da biorretenção, houve remoção positiva de quase todos os poluentes. Os melhores resultados foram as remoções de nutrientes, sendo o nitrogênio na forma amoniacoal. Isso é importante, pois a retenção dos mesmos na camada de substrato auxilia no crescimento das plantas.

O resultado de *E coli* e coliformes totais no primeiro lançamento apresentou remoção negativa. O aumento de 157,3% e 364,9% na quantidade desses microrganismos, respectivamente, foi muito expressivo e pode ser decorrente de falha de execução durante a análise laboratorial, já que, para a mesma amostra, os dois valores são obtidos no mesmo procedimento. Essa justificativa não se deve apenas pela proporção alta dos valores de saída em relação aos de entrada, como, também, pelos seguintes argumentos:

- a) as condições para crescimento de *E coli* não eram favoráveis nesse dia de coleta, pois o período antecedente foi sem chuva, e a biorretenção recebeu irradiação constante;
- b) as concentrações na saída nos dois eventos foram muito semelhantes.

As concentrações em cada evento podem ser visualizadas na Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 06 de dezembro de 2016.

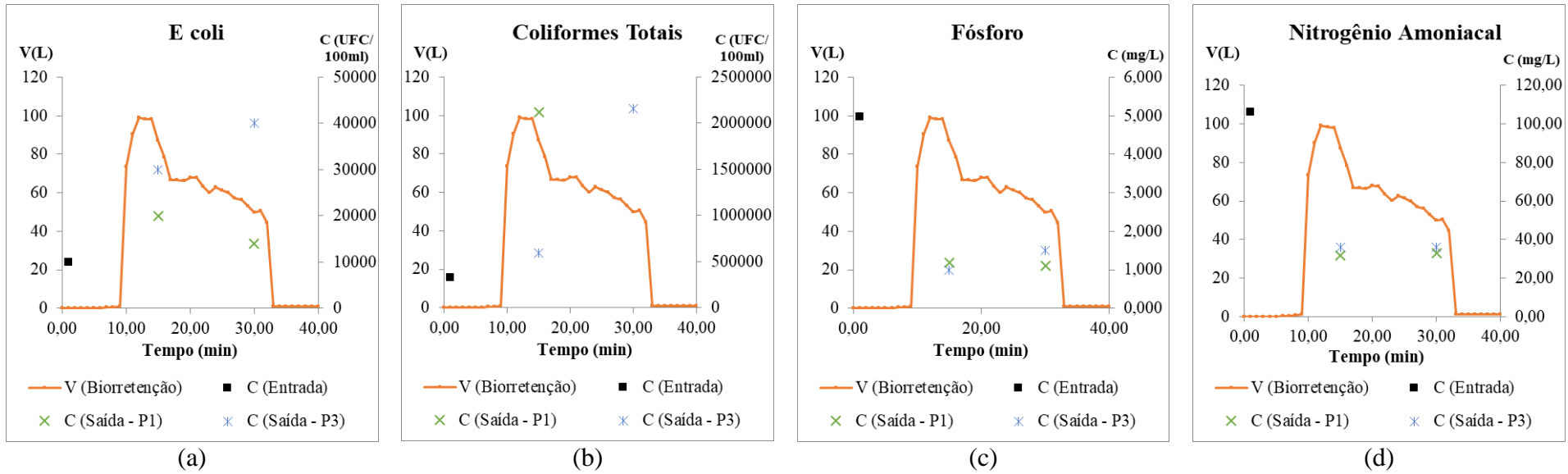
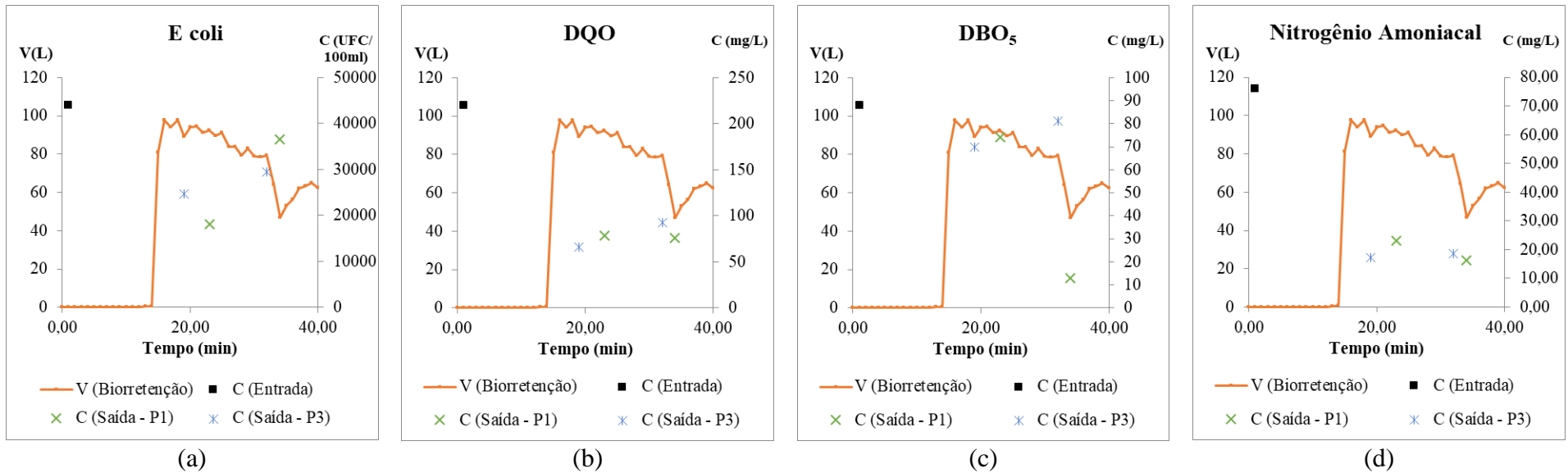


Figura 41 - Concentrações dos poluentes no instante da coleta do dia 21 de dezembro de 2016.



Como os dois eventos tiveram mesmo volume de lançamento, o nível máximo na biorretenção foi semelhante. Todas as amostras retiradas nos poços de amostragem foram coletadas na recessão, assim, entre as coletas não houve contribuição de poluente. Porém, foi verificado aumento da concentração de *E coli* em P1 e P3, e de coliformes totais, fósforo, DQO e DBO no poço P3. Isso pode ser um indicativo de que esses poluentes não estejam infiltrando por completo no solo natural, pois a massa do poluente não reduziu na mesma proporção que o volume reduziu. Dessa forma, o EMC é a melhor forma de representar a concentração no interior da biorretenção, pois o cálculo considera também o volume no instante da coleta.

5.6 Eficiência de Remoção de Poluentes na Biorretenção

Nesta análise, não foram considerados os resultados de remoção de poluentes das amostras de eventos de chuva, porque as concentrações na entrada da biorretenção não representaram a realidade, tornando os resultados inconclusivos. Os valores calculados dispensaram a contribuição das cargas da primeira lavagem e das cargas do escoamento do terreno adjacente.

Assim, foram utilizados apenas os valores de remoção dos lançamentos de água da sarjeta e do canal, totalizando quatro eventos. Além disso, foi excluído também o resultado de *E coli* e coliformes totais da análise do dia 06 de dezembro, devido ao erro experimental observado.

Durante toda esta sessão 5 foram apresentadas as porcentagens de remoção dos poluentes pela biorretenção construída na UFAL, obtendo-se valores positivos na maioria dos casos. Esse assunto já foi alvo de muitos estudos, só que em biorretenções com características e condições ambientais diferentes. Dessa forma, julgou-se necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos neste trabalho e os obtidos por outros autores para avaliar a eficiência do dispositivo monitorado (

Tabela 21).

Tabela 21 - Comparação das taxas de remoção de poluentes com a literatura.

Parâmetro	Remoção (%)					
	Biorretenção UFAL	Wang, Chua e Shanahan (2017)	Rosa (2016)	Hunt <i>et al</i> (2008)	Li e Davis (2009) - (CP)	Li e Davis (2009) - (SS)
DQO	52,0 – 64,4	-94,0 – 60,0	–	–	–	–
DBO _{5,20}	24,0 – 25,7	–	–	63,0	–	–
<i>E coli</i>	41,5 – 65,64	–	–	71,0	-15.550,0 – 99,0	- 1.000,0 – 50,0
P Total	72,6 – 76,5	-7,0 – 75,0	–	31,0	-1.750,0 – 71,0	0,0 – 50,0
Nitrogênio amoniacal	68,0 – 74,8	-120,0 – 96,0	–	73,0	–	–
NO ₃	23,06	-55,0 – 96,0	–	-5,0	-1.160,0 – 21,0	15,0 – 90,0
SST	-297,7 – (- 4,8)	-12,0 – 92,0	–	60,0	38,0 – 99,0	13,0 – 99,0
Cr	78,95	–	–	–	-150,0 – 90,0	0,0 – 67,0
Pb	85,69	–	69,4 – 94,9	31,0	–	–
Zn	75,7	–	65,1 – 88,7	77,0	20,0 – 97,0	29,0 – 95,0
Ni	71,4	–	40,8 – 65,8	–	–	–
Cu	76,4	–	74,7 – 89,4	54,0	–	–
Óleos e Graxas	57,3 – 63,2	–	–	–	–	–

Fonte: Elaborada pela autora.

As taxas de remoção da biorretenção construída na UFAL para os parâmetros DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, *E coli* e todos os metais tiveram seus valores semelhantes aos da literatura ou, em alguns casos, até superior. Já os SST não tiveram o mesmo comportamento, e a remoção negativa indica que houve carregamento desses tipos de sólidos do solo do próprio dispositivo.

A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e o nitrato tiveram uma parcela pequena removida, mas, ainda assim, foram valores positivos. A maioria dos trabalhos disponíveis sobre a remoção de nitrato relata que os resultados, normalmente, variam bastante devido à complexidade de remoção de nitrogênio. A biorretenção estudada por Wang, Chua e Shanahan (2017), mesmo possuindo características que favorecem a desnitrificação, obteve remoção negativa de nitrato. Assim, apesar de a remoção desse poluente não ter sido alta, ainda foi um resultado satisfatório.

Resultados referentes à remoção de óleos e graxas totais não foram contemplados nos trabalhos utilizados como referência. Li e Davis (2009) ainda realizaram as análises desse parâmetro, mas os valores ficaram abaixo do limite de detecção, por isso não foi obtida a taxa de remoção.

A biorretenção em estudo, em geral, apresentou bons resultados na retenção da maioria dos poluentes de águas pluviais analisados. Mas, devem ser realizadas mais análises, para verificar se esses resultados são recorrentes.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

O monitoramento quali-quantitativo com vistas à análise da capacidade de remoção de poluentes da biorretenção construída na Universidade Federal de Alagoas permitiu concluir que, do ponto de vista quantitativo, o dispositivo proporciona infiltração da água vinda da área de contribuição, apesar de haver a formação, quase que constante, de lâmina d'água na superfície da mesma.

As taxas de infiltração da camada superficial obtidas neste trabalho (70 mm/h a 179 mm/h), indicam que o solo empregado possui boa permeabilidade. A correlação entre parâmetros quantitativos dos eventos mostrou uma tendência positiva entre essa altura de lâmina d'água e a vazão média na entrada da biorretenção.

Do ponto de vista qualitativo, foco deste trabalho, durante o monitoramento da qualidade da água foram encontradas dificuldades em relação às coletas de águas pluviais do telhado. Verificou-se a contribuição de água escoada pelo terreno adjacente, cujas cargas poluidoras não foram analisadas em laboratório, e a necessidade de utilizar um amostrador automático devido à dificuldade de previsão de eventos chuvosos.

A metodologia de lançamento de outros efluentes se mostrou uma ótima alternativa para analisar a eficiência de remoção deste dispositivo. Além de apresentar dados referentes à qualidade de outras águas de origem da drenagem urbana, essas análises permitiram verificar a remoção de parâmetros que não haviam sido detectados nas águas do telhado.

As análises das águas coletadas no canal e na sarjeta mostraram que as águas drenadas possuem concentrações de poluentes altas e que necessitam de um tratamento antes de serem lançadas em corpos d'água.

No que se refere à eficiência de remoção, a biorretenção teve resultados bons, equivalentes ou superiores aos encontrados na literatura. Dentre os poluentes que apresentaram maior retenção, destacam-se fósforo total (72,6 – 76,5%), nitrogênio na forma amoniacal (68,0 – 74,8%) e metais pesados (71,4 – 85,7%). A retenção desses dois primeiros na camada de mistura de solos, onde há plantas, é importante, também, por auxiliar no crescimento das mesmas.

Houve redução na saída, também, de DQO, DBO_{5,20}, nitrato, *E coli* e óleos e graxas, porém em parcelas menores que nos demais parâmetros. Já as concentrações de sólidos suspensos apresentaram aumento na saída em algumas coletas, o que pode ter sido decorrente do carreamento de partículas da camada superior, visto que algumas coletas apresentaram variação na cor, turbidez e quantidade de sólidos. A realização de mais análises é necessária para verificar se existe alguma tendência desse dispositivo em remover poluentes.

6.2 Recomendações

Durante o desenvolvimento do trabalho foram identificados vários obstáculos para coletas das águas, como já foi mencionado. Verifica-se a necessidade de realizar mais análises de águas escoadas no telhado, acrescentando um dispositivo para coleta das primeiras lavagens (*first flush*) e coletando amostras do solo da biorretenção e das águas superficiais com contribuições do terreno adjacente. Além disso, é necessária a quantificação desses volumes com a instalação de mais um vertedor.

Outra recomendação é realizar o aprofundamento sobre a condutividade hidráulica da camada superior. Estudar outros tipos de solos e plantas que melhorem a permeabilidade dessa camada e verificar o dimensionamento da área superficial da biorretenção.

Por fim, a metodologia de lançamento de qualquer efluente pode ser aplicada novamente com outros efluentes, coletados ou sintetizados. Na bibliografia, são encontradas lacunas no que se refere à eficiência da biorretenção em remover as diversas formas de nitrogênio, devido à complexidade do ciclo desse nutriente. Assim, uma proposta é produzir um efluente com concentrações desse tipo de poluente.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). Hidroweb. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acessado em: 13 de dezembro de 2016.
- AGRA, C. C. et al. **Comportamento da carga de poluentes ao longo de um dia no correço da universidade federal de alagoas**. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju/SE. 2016
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water**. 21. ed. Washington DC, 2005.
- BATISTA, M.; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. ABRH, 318 p, 2ed. Porto Alegre, RS, 2011.
- BERNDTSSON, J. C.. Storm water quality of first flush urban runoff in relation to different traffic characteristics. **Urban Water Journal**, v. 11, n. 4, p. 284-296, 2014.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, Alterada pela Resolução 410 de 04 de maio de 2009 e pela 430 de 13 de maio de 2011, do CONAMA. Brasília, DF, 2011.
- BURNS, M. J. et al. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. **Landscape and Urban Planning**. p. 230 -240. 2012.
- CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. Série Relatórios, append. A. São Paulo, SP, 2009.
- DANIEL JR, J. J. **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, 2013.
- DAVIS, A. P. Field Performance of Bioretention: Water Quality. **Environmental Engineering Science**, v. 24, n.8, p. 1048-1064, 2007.

DAVIS, A. P. et al. Bioretention technology: overview of current practice and future needs. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 3, p. 109-117, 2009.

DAVIS, A. P.; TRAVER, R. G.; HUNT, W. F. Improving Urban Stormwater Quality: Applying Fundamental Principles. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 146, p. 3-10, 2010.

DIETZ, M. E.; CLAUSEN, J. C. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.167, p. 123–138, 2005.

FERREIRA, L. T. L. M. et al. **Monitoramento de um dispositivo de biorretenção: análise preliminares**. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju/SE, 2016.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, 2014.

GUIMARÃES, T. M. V. A. **Comportamento de filtro plantado horizontal (wetlands construídos) no tratamento de esgoto unifamiliar**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

HATHAWAY, J. M.; HUNT, W. F.; JADLOCKI, S. Indicator bacteria removal in storm-water best management practices in Charlotte, North Carolina. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 12, p. 1275-1285, 2009.

HUNT, W. F. et al. Pollutant removal and peak flow mitigation by a bioretention cell in urban Charlotte, NC. **Journal of Environmental Engineering**, v. 134, n. 5, p. 403-408, 2008.

KIM, M. H. et al. Bioretention for stormwater quality improvement in Texas: Removal effectiveness of *Escherichia coli*. **Separation and Purification Technology**, v. 84, p. 120-124, 2012.

LI, H.; DAVIS, A. P. Water quality improvement through reductions of pollutant loads using bioretention. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 8, p. 567-576, 2009.

MACEDO, M. B. **Otimização da eficiência de técnicas compensatórias de biorretenção em clima subtropical**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2015.

MCKEE, L. J.; GILBREATH, A. N. Concentrations and loads of suspended sediment and trace element pollutants in a small semi-arid urban tributary, San Francisco Bay, California. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 8, p. 1-16, 2015.

MELO, T. A. T. et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p.147-165, 2014.

MENEZES, M. C. **Construção de um dispositivo de um sistema de biorretenção no Centro de Tecnologia – UFAL**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2015.

MEZZOMO, L. F. **Monitoramento e balanço hídrico em uma biorretenção em escala experimental-demonstrativa**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2016.

MOURA, N. C. B. **Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2013.

PAOLI, A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação das condições hidrodinâmicas de *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial (unidades plantada e não plantada). **GESTA**, v. 1, n. 2, p. 213-222, 2013.

PGDER. Prince George's County Department of Environmental Resources. **Manual of Bioretention**. Division of Environmental Management, Watershed Protection Branch. Landover, MD, 2007.

PIVELI, R. P., KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. ABES, São Paulo, 2006.

ROSA, A. **Bioretention for diffuse pollution control in suds using experimental-adaptive approaches of ecohydrology**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP, 2016.

ROSENDO, A.A. **Avaliação de métodos e critérios para dimensionamento de dispositivos de biorretenção**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2013.

SARUKKALIGE, R.; PRIDDLE, S.; GAMAGE, D.. Evaluation of the impacts of land use on storm water quality: Case study from Western Australia. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 3, n. 1, p. 20, 2012.

SAWYER, C.L.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for environmental engineering and science**. McGraw-Hill Higher Education, 5^a ed, 752p, 2002.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade de águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 17 n.2, p. 9-18, 2012.

SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **GESTA**, v. 1, n.1, p.57-72, 2013.

TECEDOR, N. **Monitoramento e modelagem hidrológica de plano de infiltração construído em escala real**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 393 p., 2007.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Storm Water Technology Fact Sheet: Bioretention**. Washington D.C. 8p, 1999.

WANG, J.; CHUA, L. H.; SHANAHAN, P. Evaluation of pollutant removal efficiency of a bioretention basin and implications for stormwater management in tropical cities. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 3, n. 1, p. 78-91, 2017.

ZHANG, L. et al. Long-Term Sustainability of Escherichia Coli Removal in Conventional Bioretention Media. **Journal of Environmental Engineering**, v. 137, n. 8, p. 669 – 677, 2011.