

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



DIOGO CARLOS HENRIQUE

**Cargas de poluição difusa gerada em condomínios residenciais de edifícios:
Uma proposta de amostragem**

Maceió
2016

DIOGO CARLOS HENRIQUE

**Cargas de poluição difusa gerada em condomínios residenciais de edifícios:
Uma proposta de amostragem**

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

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

Maceió
2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

H519c

Henrique, Diogo Carlos.

Cargas de poluição difusa gerada em condomínios residenciais de edifícios:
uma proposta de amostragem / Diogo Carlos Henrique. – 2016.
65 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, 2016.

Bibliografia: f. 61-65.

1. Monitoramento. 2. Poluição difusa. 3. Amostrador. I. Título.

CDU: 628.312.3




Folha de Aprovação

DIOGO CARLOS HENRIQUE

Cargas de poluição difusa gerada em condomínios residenciais de edifícios: uma proposta de amostragem

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.

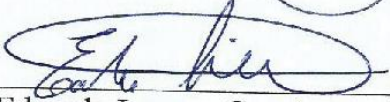


Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (Orientador)

Banca examinadora:



Prof. PhD Lafayette Dantas da Luz (Examinador externo - UFBA)



Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (Examinador interno)

A Deus, aos meus pais José Henrique Ramos e Maria Nazaré Carlos Ramos, a minha esposa Nathaly Costa de Aquino Carlos, aos meus irmãos Daniely e Douglas, ao meu orientador Marllus Gustavo e a minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por Seu infinito cuidado e misericórdia para comigo.

A minha esposa, Nathaly, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e apoiando, sem ela seria impossível concluir.

Aos meus irmãos Douglas e Daniely pela ajuda e paciência durante todo o tempo.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Orientador Marllus Gustavo pela orientação, apoio, motivação e amizade, que muito me ajudou na conclusão deste trabalho.

A minha família, pela confiança.

Aos amigos e colegas, em especial a Altair Maciel pela amizade e ajuda e a Verônica por sua ajuda imensurável com as análises realizadas.

Aos professores do PPGRHS/UFAL, em especial ao professor Dr. Eduardo Lucena por suas orientações, conselhos e amizade e ao professor Carlos Ruberto por seu apoio e conselhos enquanto coordenador do programa.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

RESUMO

O desenvolvimento de estudos que visam compreender o comportamento da poluição difusa, no Brasil ainda encontra-se em sua fase inicial, em sua maioria, têm a bacia hidrográfica como elemento de monitoramento, tornando os resultados muito generalistas. Propostas que visam estudar ambientes específicos como, vias de trânsito intenso, unidades residenciais, tipos específicos de superfícies como telhados, revestimentos e pinturas ainda são muito raros. Diante desta carência, esta pesquisa objetivou a concepção de um amostrador de baixo custo para o monitoramento da poluição difusa diretamente no solo em uma unidade habitacional com vários potenciais de contribuição difusa como sedimentos, DBO₅, DQO, Nutrientes, metais e óleos e graxas, através da coleta do deflúvio superficial em uma canaleta de drenagem de águas pluviais, avaliando suas potencialidades e limitações no monitoramento de eventos desta natureza. Ele foi construído a partir de conexões de PVC e recipientes de polipropileno acoplados a um sensor de nível, o sistema foi usado para monitorar a qualidade do deflúvio produzido pelo residencial através da coleta de amostras para a realização da análise de SST, DBO₅, DQO, NT, PT, Zn, Pb, Cu, Cd, e óleos e graxas. A metodologia contribuirá para a ampliação do entendimento da poluição difusa em meio urbano e poderá levantar parâmetros para gerenciar a destinação adequada do efluente produzido nestas unidades, além do sistema de amostragem de baixo custo incentivar o aumento do número de pesquisas, dada a sua facilidade de construção e utilização. O melhor resultado de percepção da variação de concentração, durante a coleta analisada, foi identificado para a DBO₅. Por fim o amostrador provou-se eficaz para a coleta de amostras com o objetivo de monitorar a poluição difusa por apresentar baixo custo para manutenção, substituição e capacidade de coletar amostras com pequenos volumes de chuva nos primeiros minutos da precipitação.

Palavras-chave: Monitoramento. Poluição difusa. Amostrador.

ABSTRACT

The development of studies aimed at understanding the behavior of diffuse pollution in Brazil is still in its early stages, mostly have the river basin as monitoring element, making the very general results. Proposals to study specific environments such as, heavy traffic roads, residential units, specific types of surfaces such as roofs, coatings and paintings are still very rare. Given this need, this study aimed to design a low-cost sampler for the monitoring of diffuse pollution directly into the ground in a housing unit with several potential diffuse contribution as sediment, BOD 5, COD, nutrients, metals and oils and greases through the collection of surface runoff in a drainage channel rainwater, assessing its potential and limitations in monitoring such events. It was built from PVC connections and polypropylene containers coupled to a level sensor, the system was used to monitor the quality of runoff produced by residential by collecting samples to carry out the SST analysis, BOD5, COD, NT, PT, Zn, Pb, Cu, Cd, and oil and grease. The methodology will contribute to increasing the understanding of diffuse pollution in urban areas and may raise parameters to manage the proper disposal of wastewater produced in these units, in addition to low-cost sampling system encourage increased number of research, given its ease of construction and use. Put results and conclusions. The best result of perception of change in concentration during the analyzed collection was identified for BOD5. Finally, the sampler proved effective for collecting samples in order to monitor diffuse pollution to present low cost for maintenance, replacement and ability to collect samples with small volumes of rain in the first minutes of precipitation.

Keywords: Monitoring. Diffuse pollution. Sampler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível.....	16
Figura 2 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Descendente, frente-verso.....	17
Figura 3 – Detalhe do sistema de abertura do Amostrador de Nível Descendente	17
Figura 4 – Caracterização da área de estudo e suas prováveis fontes difusas	28
Figura 5 – Unidade habitacionais entregues pelo PAC.....	29
Figura 6 – Delimitação da área de contribuição da canaleta de drenagem.....	31
Figura 7 – Etapas metodológicas	32
Figura 8 – Esquema geral do amostrador	34
Figura 9 – Local do sensor (c), Barologger, (f), canal (a), adução (d), e anteparo (b).....	35
Figura 10 – Amostradores (a), tampa (b), amostrador completo (c).....	36
Figura 11 – Amostrador final e do procedimento de medição de vazão	39
Figura 12 – Identificação do ponto em que o sensor de nível registra o nível d'água.	40
Figura 13 – Galeria de drenagem antes da intervenção (a) e (c) e depois (b) e (d).	41
Figura 14 – Execução da infraestrutura do amostrador	42
Figura 15 – Sistema instalado e mecanismos de proteção.....	43
Figura 16 – Placas de proteção para o canal (b) e para as amostras (a)	44
Figura 17 – Suporte do pluviômetro (a) e (b), proteção do datalogger (c) e (d).....	45
Figura 18 – Procedimentos e etapas de amostragem.....	47
Figura 19 – Ajuste polinomial aos pontos coletados em laboratório.....	51
Figura 20 – Vazões coletadas x vazões obtidas pela curva ajustada	52
Figura 21 – Teste com corante vermelho (a), coletores das amostras aberto (b).	53
Figura 22 – Momento do registro da cota da chuva usada na coleta.	54
Figura 23 – Precipitação ocorrida antes e depois do horário da coleta.....	55
Figura 24 – Chuva acumulada mensal (a), precipitação do mês de coleta (b).	56
Figura 25 – DBO ₅ das amostras na ordem em que foram coletadas.....	57
Figura 26 – Comportamento das variáveis analisadas por coletor	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso e cobertura do solo e suas prováveis fontes difusas.....	30
Tabela 2 – Orçamento da construção do amostrador	38
Tabela 3 – Variáveis mais comuns nas águas de drenagem urbana	49
Tabela 4 – Variáveis e seus métodos de detecção com base no APHA, 1998.	49
Tabela 5 – Dados coletados nos experimentos para ajustar as leituras do sensor	50
Tabela 6 – Concentrações do evento monitorado no dia 19 julho de 2015.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Drenagem Urbana: Aspectos Qualiquantitativos.....	12
1.2	Monitoramento Qualiquantitativo na Drenagem urbana.....	13
1.2.1	Amostradores usados em sarjetas	14
1.2.2	Amostradores usados em poços de visita.....	14
1.2.3	Amostradores usados em córregos e canais.....	15
1.3	Principais Fontes de Poluição Difusa.....	18
1.4	Impactos na Qualidade da Água Pluvial Devido à Impermeabilização.....	20
1.5	Projeto de pesquisa relacionados.....	25
2	OBJETIVOS E METAS	27
3	ÁREA DE ESTUDO	28
3.1	Caracterização da Área de Estudo.....	28
3.2	Identificação dos Potenciais de Poluição Difusa na Área de Estudo.....	30
3.3	Delimitação da Contribuição da Área de Estudo.....	31
4	METODOLOGIA	32
4.1	Concepção, Construção e Custo do Amostrador	32
4.2	Testes em Laboratório	39
4.3	Instalação do Amostrador	40
4.4	Instalação do Pluviômetro.....	45
4.5	Monitoramento: procedimento.....	45
4.6	Teste de Estanqueidade dos Compartimentos de Amostragem	47
4.7	Monitoramento: análise	48
4.8	Métodos Analíticos	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Curva cota – vazão do amostrador.....	50
5.2	Avaliação da Estanqueidade dos Compartimentos de Amostragem	52
5.3	Concentração das Amostras Coletadas	53
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Drenagem Urbana: Aspectos Quali-quantitativos

A urbanização tem contribuído de forma decisiva para a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da variedade e quantidade de poluentes transportados pelo deflúvio superficial, que incluem, dentre outros impactos, o aumento da concentração de sedimentos, óleos e graxas, produtos tóxicos de veículos a combustão, pesticidas proveniente dos gramados e jardins, nutrientes, vírus e bactérias decorrentes dos resíduos de animais e sistemas sépticos deficientes, metais pesados de telhas, veículos automotores e outras fontes. Estes poluentes podem prejudicar populações de peixes, animais selvagens, matarem a vegetação nativa, contaminar fontes de água potável e tornar áreas de lazer em ambientes inseguros e desagradáveis.

Parte destes poluentes é proveniente de fontes difusas, e emanam da superfície terrestre ou da atmosfera, são difíceis de identificar, mensurar e controlar (OECD, 1986). Nos Estados Unidos, por exemplo, esta preocupação teve início desde a década de 1960, quando, pela primeira vez, agências governamentais americanas identificaram que as cargas associadas às descargas ou vazões provenientes das inundações urbanas representavam grandes fontes de poluição dos corpos hídricos (USDA, 1986). Desde então foram desenvolvidas metas para investigar este tipo de poluição das águas no ambiente urbano, e em 1995 o relatório intitulado “Investigação Nacional de Qualidade da Água” entregue ao congresso americano afirmou que 30% dos casos de impactos na qualidade da água são decorrentes das descargas de enxurradas ou de fontes difusas (USEPA, 1996).

No Brasil, as fontes de poluição difusa são pouco estudadas, uma vez que grande parte dos lançamentos pontuais ainda não foi equacionado, havendo praticamente tudo a ser feito em termos de controle de poluição pontual originárias das cidades e indústrias (VON SPERLING, 2011). A maioria dos trabalhos que tratam do assunto refere-se às cargas difusas geradas pela drenagem urbana (PRODANOFF, 2005).

Uma revisão da produção nacional, referente à poluição difusa, aponta que a maioria das pesquisas têm sido desenvolvidas, em nível de bacia,

através do monitoramento da qualidade das águas de rios e córregos (BONUMÁ, 2008; HAUPT, 200; HENRIQUE, 2009; GARCIAS et al, 2010; CARVALHO, 2011; ALENCAR et al, 2012; ZAFFANI, 2012; APRÍGIO, 2012). Entretanto, outros estudos têm sido desenvolvidos em ambientes mais específicos: em escala de bancada, para avaliar a contribuição de determinados elementos como os metais zinco, cobre, chumbo e níquel (PUSCH, 2007) ou dentro dos grandes centros urbanos correlacionando a contribuição difusa com as áreas impermeáveis e a drenagem urbana (MARTÍNEZ, 2010, SILVA, 2009).

1.2 Monitoramento Qualiquantitativo na Drenagem urbana

Em virtude da existência de poucos dados, acerca de poluição difusa, nas bacias hidrográficas brasileiras, quer sejam urbanas, rurais ou mistas, tem sido desenvolvidos trabalhos, que subsidiem a gestão e o planejamento dos recursos hídricos com a utilização da modelagem hidrológica, a fim de realizar a identificação das áreas potenciais de produção de poluição difusa, (HAUPT, 2007 APRÍGIO, 2012). Nestes casos, a aplicação de modelos probabilísticos de análise de estimativa de fontes difusas urbanas com o uso de SIG, são bastante limitados em virtude da necessidade de grande quantidade de dados monitorados por longos períodos, conforme constatado por Wang, L. *et al.* (2010) ao comparar os modelos SWMM , STORM, SLAMM , HSPF , DR3M – QUAL, Mouse e HydroWorks.

A escassez de dados monitorados reflete o pequeno número de pesquisas, a complexidade do monitoramento e os altos custos envolvidos. A forma de amostragem comumente é realizada por meio de amostrador automático, sensores ou sondas multiparamétricas, que geralmente são importados e requerem altos custos (ARAÚJO NETO, 2008). Além disso, o monitoramento em meio urbano, comumente é interrompido pela depredação ou furto dos equipamentos, trazendo grandes prejuízos e dificuldade de reposição (SILVA, 2012).

Righetto (2009) aponta algumas experiências bem sucedidas na construção de amostradores de baixo custo para o monitoramento da qualidade de drenagem urbana, elas foram concebidas e projetadas para

ambientes específicos, sendo usados em sarjetas, canais e córregos, conforme consta nos itens a seguir:

1.2.1 Amostradores usados em sarjetas

Para este tipo de amostragem foram desenvolvidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, dois tipos de amostradores, um denominado amostrador simples, utilizado para coletas pontuais e constituído de um tubo de PVC com diâmetro de 150 mm, com um cap na parte inferior, uma fita suspensória para auxiliar na retirada no momento da coleta das amostras, uma grade de ferro para impedir a entrada de resíduos sólidos durante a amostragem. O outro, denominado amostrador composto, foi projetado para registrar a variação temporal da qualidade da água. Ambos foram dimensionados levando em consideração as características pluviométricas da área de estudo e instalados no sentido da inclinação da via na vertical para a coleta do escoamento superficial, sendo dotados de 4 coletores com capacidade de 3 L cada.

Estes amostradores não possibilitam o registro do tempo de enchimento, informação imprescindível para a determinação da vazão, que por sua vez é usada para definir a variação da carga durante o evento chuvoso. Outro aspecto mencionado quanto ao uso destes tipos de amostradores é a constante obstrução dos mesmos devido ao carreamento de sedimentos, advindos da lavagem das superfícies.

1.2.2 Amostradores usados em poços de visita

Desenvolvidos pela Universidade de São Paulo – USP, os amostradores denominados Garrafas Nava, construídas com tubos de PVC de 100 mm de diâmetro, com fechamento do fundo e da base com madeira de angelim, por ser resistente a água, encaixada sob pressão e vedada com silicone ao redor da tampa de madeira e uma borracha, usado em ambas as extremidades. As garrafas de descida foram construídas com tubos de PVC de 100 mm, usados para abastecimento de água por apresentar as paredes mais grossas, enquanto os de subida com tubos de esgoto, de mesmo diâmetro, por ter as paredes mais finas.

A utilização destes amostradores foi realizada em poços de visita a partir da subida do nível da água, os mesmos foram colocados nos pontos de coleta fixados em haste de madeira a alturas fixas de 25 cm e 30 cm tendo como referência o fundo da laje do microreservatório, além disso, esses mecanismos possibilitavam que o operador não tivesse a necessidade de descer.

1.2.3 Amostradores usados em córregos e canais

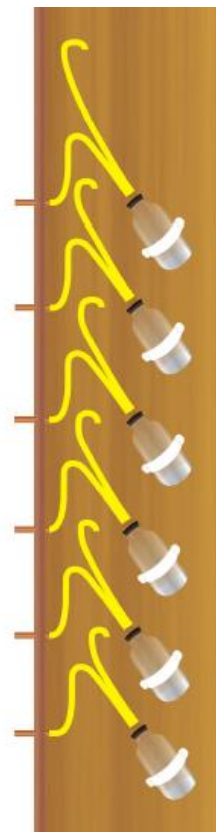
Brites *et al.* (2005) fez a utilização de amostradores instantâneos de água para avaliação da carga poluente na drenagem pluvial urbana. O mecanismo de monitoramento dos amostradores funciona conforme a subida da onda de cheia, de forma automática conforme a subida do nível, sendo composto de Amostrador de Nível Ascendente e Amostrador de Nível Descendente, ANA e AND, respectivamente, permitindo a obtenção de amostras de água durante a passagem da onda de cheia em eventos diurnos e eventos noturnos, sendo estes últimos inviáveis de serem monitorados manualmente devido a imprevisibilidade do momento da coleta.

- **Amostrador de Nível Ascendente – ANA**

O Amostrador de Nível Ascendente, ANA, utilizado para coletar amostras de água durante a subida da onda de cheia, em níveis pré-estabelecidos, construído conforme sugestões de Umezawa (1979).

O equipamento é constituído de garrafas onde são acoplados tubos em forma de sifão em suas extremidades, em que um dos tubos permite a entrada d'água e o outro a saída de ar durante o enchimento da garrafa. A forma de sifão da tubulação evita a recirculação de água no interior da garrafa enquanto a mesma permanecer submersa. Os bocais de tomada d'água foram instalados no sentido contracorrente para facilitar a admissão da amostra. A coleta d'água em uma determinada garrafa é realizada no momento em que o nível d'água atinge o bocal de tomada até o momento em que atinge o ponto mais alto do seu sifão (Figura 1)

Figura 1 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível



Fonte: (BRITES, 2015)

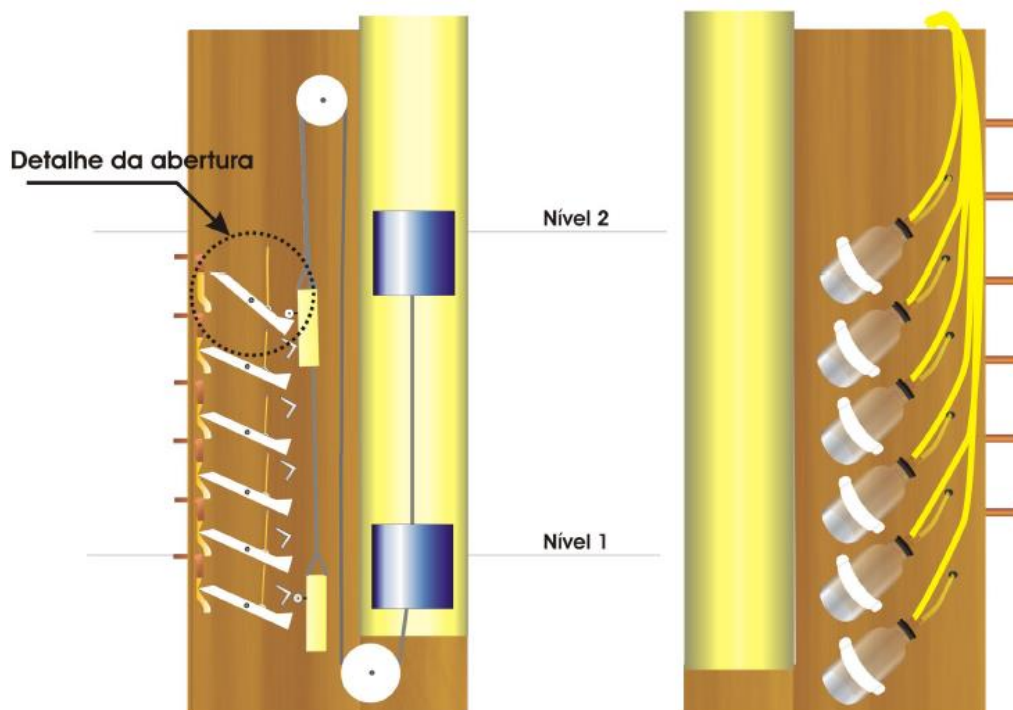
- **Amostrador de Nível Descendente – AND**

O amostrador AND permite a coleta da amostra, a partir de vários níveis predefinidos, usados somente na descida da onda de cheia, complementando, assim, os dados obtidos pelo Amostrador de Nível Ascendente, ANA, e possibilitando a análise completa da variação da qualidade d'água durante a passagem da onda de cheia. O princípio de funcionamento do amostrador, AND, utiliza um sistema de roldanas interligado a uma boia que aciona a abertura do bocal que indica as variações do nível d'água e a coleta da amostra ocorre em alturas pré-fixadas, através do acionamento destes dispositivos (UMEZAWA, 1979).

Este equipamento (Figura 2) foi adaptado a partir de modificações do modelo AND-78 descrito por Umezawa (1979). O amostrador foi desenvolvido no Laboratório de Pequenos Aproveitamentos Hidrelétricos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria, onde

depois de vários ensaios foi instalado em campo, na margem direita do Arroio Cancela.

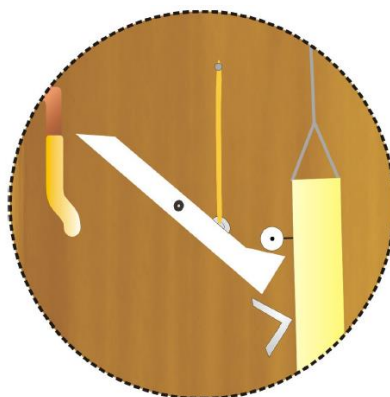
Figura 2 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Descendente, frente-verso



Fonte: (BRITES, 2015)

Uma ilustração ampliada do funcionamento do sistema de abertura do Amostrador de Nível Descendente, no momento em que o contrapeso força o sistema que mantém o bico de entrada d'água fechado, permitindo assim o completo enchimento da garrafa (Figura 3)

Figura 3 – Detalhe do sistema de abertura do Amostrador de Nível Descendente



Fonte: (BRITES, 2015)

1.3 Principais Fontes de Poluição Difusa

As principais características que influenciam no transporte de cargas de poluição difusa são a área de drenagem, a composição geológica do solo, a declividade do terreno e a cobertura vegetal, sendo a magnitude da poluição difusa diretamente proporcional à probabilidade de retenção da carga poluidora (BRANCO; ROCHA, 1977), ou seja, quanto a retenção, no tempo, maior a poluição presente no escoamento.

Várias são as fontes de poluição difusa. A seguir são elencadas as principais fontes poluidoras conforme Sartor e Boyd (1972):

- **Pavimentação das ruas.** A maior contribuição corresponde ao material agregado, quantidades adicionais provêm dos enchimentos e de outras substâncias aplicadas na superfície. A idade, o tipo de superfície, o clima, características do tráfego tais como quantidade e tipo dos veículos são os principais fatores que influenciam na quantidade de poluentes desprendidos nestas superfícies.
- **Veículos.** É grande a quantidade de matérias provenientes deste tipo de contribuição. As mais significativas são: lançamento ou derramamento de combustíveis e lubrificantes, partículas desprendidas dos pneus ou fluidos de freios, emissão de exaustão capturadas, produtos da corrosão e partes quebradas que desprendem da lataria. Ainda que as quantidades depositadas sejam pequenas, o potencial poluidor é significativo, pois constituem as principais fontes não pontuais de asbestos e de alguns dos principais metais.
- **Deposição atmosférica.** Também denominada deposição seca, corresponde às fontes de poluição que são decorrentes de processos naturais ou antrópicos que liberam ou emitem matéria ou energia para a atmosfera e que possam contaminá-la ou poluí-la. A verificação do potencial desta fonte difusa foi comprovada em um estudo realizado na cidade de Cincinnati, por Weibel *et al.* (1964), onde se constatou uma deposição seca de 567 kg/ha, medida em uma estação de monitoramento e 818 kg/ha de sólidos em suspensão medidos no escoamento superficial.

- **Vegetação.** Folhas, grama, galhos e outros tipos de plantas que caem ou são depositados na área urbana podem constituir parte do problema. Suas quantidades dependem das características geográficas, estação do ano, práticas paisagísticas e da disposição.
- **Superfície do solo.** O tipo de uso e cobertura do solo da bacia está ligado ao volume de tráfego de veículos e pedestres e ambos afetam a qualidade e quantidade do escoamento.
- **Resíduos sólidos domiciliares.** Em especial aqueles não biodegradáveis, apresentam formas e volumes variáveis em sua composição, na maioria das vezes, ao seguir o escoamento agrupam-se formando blocos maiores e mais pesados, depositam-se nos leitos dos rios contribuindo para o seu assoreamento. De acordo com Campos (2000), a grande redução na capacidade de escoamento da rede de drenagem da bacia é ocasionada pela combinação da presença dos sedimentos, originados pela erosão do solo, com o acréscimo de lixo dos rios e afluentes.
- **Derramamentos.** Estes incluem tudo que pode ser jogado nas ruas das cidades desde sujeiras, areia, entulhos e cascas a derramamentos industriais e químicos.
- **Agroquímicos.** Correspondem a uma grande variedade de produtos químicos que compõem a maioria dos fertilizantes, pesticidas e herbicidas.
- **Locais de construção.** Nestes a erosão do solo constitui o principal impacto e estão relacionados a problemas de ordem econômica, social e, principalmente, ambiental. Ocorrem em atividades de desenvolvimento urbanístico como loteamentos, construções de casas e prédios, grandes projetos tais como distritos industriais, centros de lazer e rodovias.
- **Redes de esgotos deficientes.** Que resultam, na maioria dos casos, em lançamentos clandestinos nos cursos d'água sem nenhuma forma de tratamento.

1.4 Impactos na Qualidade da Água Pluvial Devido à Impermeabilização.

Os principais impactos causados pela impermeabilização estão relacionados aos sedimentos, nutrientes, bactérias, metais pesados, hidrocarbonetos, óleos e graxas e pesticidas, que ficam acumulados nos dias sem chuva e são carregados para os corpos d'água no início das precipitações. Este escoamento no início da chuva é denominado *first flush*, sendo mais pronunciado nas superfícies impermeáveis e responsável por carregar grande parte dos poluentes acumulados nos dias anteriores às precipitações (TOMAZ, 2006).

Nas áreas urbanas os sedimentos são considerados, na atualidade, a maior fonte de poluição difusa para os cursos d'água, pois transportam dentre outros componentes, os metais pesados, potencialmente perigosos devido ao seu potencial tóxico e bioacumulativo, mesmo quando em pequenas quantidades (POLETO *et al.*, 2007). Os sedimentos podem ser medidos de várias maneiras, uma delas é proposta por Tomaz, (2006) que identifica três formas diferentes: Sólidos Suspensos Totais em Suspensão (SST), Solido Dissolvidos Totais (SDT) e Turbidez. Em seguida são avaliados, apenas, os parâmetros mais representativos para a avaliação da poluição difusa.

Sólidos Suspensos Totais (SST)

Os sólidos suspensos totais correspondem à porção dos sólidos que é carregada pelas águas da chuva e que pode ser retida por um filtro de vidro (TOMAZ, 2006), sua medida é utilizada para estimar a carga de sedimentos que pode ser transportada do local para jusante e é o parâmetro mais utilizado, dentre os citados, apresentando, também, o maior número de dados monitorados e disponíveis (TOMAZ, 2006). Os SST variam de 43 mg/L a 663 mg/L de acordo com dados do CWP (2003). Os SST têm origem inorgânica ou orgânica, sendo os primeiros representados pelas partículas de solo proveniente de sua erosão e degradação, também podem ter sua origem nas ruas, casas, edifícios e materiais trazidos pelo vento. Já os sólidos orgânicos em suspensão têm, principalmente, às bactérias como seus principais constituintes (AUSTRÁLIA, 1998).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Demanda bioquímica de oxigênio representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica carbonácea, traduzindo de forma indireta a quantidade de matéria orgânica presente no corpo d'água. A composição da matéria orgânica é bastante variável, podendo ser formada por inúmeros componentes como compostos de proteína, carboidratos, ureia, detergentes, gorduras, óleos, fenóis, pesticidas dentre outros (TOMAZ, 2006).

A DBO padrão é aquela medida durante 5 dias, a uma temperatura constante de 20°C, que representa o consumo de oxigênio, após 5 dias, pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica (VON SPERLING, 2011). O esgoto doméstico tem DBO de 300 mg/L, aproximadamente.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO, também, é uma indicação indireta da quantidade de matéria orgânica presente na água e corresponde à oxidação química da matéria orgânica, ou seja, a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente a matéria orgânica, obtida através de um forte agente oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido.

A relação entre DQO e DBO₅ fornece importantes informações sobre a biodegradabilidade da matéria orgânica, sendo usada para propor o tipo de tratamento mais adequado, principalmente para efluentes industriais. Para uma relação DQO/DBO₅ menor que 2,5 é indicado tratamento biológico, pois o efluente apresenta elevada fração biodegradável, valores entre 2,5 e 3,5 deve ser feito um estudo para saber o melhor tratamento empregado, pois a fração biodegradável não é elevada e para valores superiores a 3,5 ou 4, provável aplicação de um tratamento físico-químico, uma vez, que a fração não biodegradável é muito elevada (VON SPERLING, 2011).

Nutrientes

Representados pelo fósforo e o nitrogênio, são essenciais aos sistemas aquáticos, porém quando em excesso provocam a eutrofização dos corpos d'água. As fontes de nitrogênio nas águas são provenientes, principalmente, dos esgotos devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, alguns

efluentes industriais, tais como das indústrias químicas, petroquímicas, de alimentos e matadouros, da lavagem da atmosfera poluída pelas águas pluviais, das áreas agrícolas, e nas áreas urbanas devido à drenagem de águas pluviais associadas às deficiências dos sistemas de limpeza pública, constituindo uma fonte difusa de difícil caracterização.

Em comparação ao fósforo, este tem origem, predominantemente, nas descargas de esgotos sanitários, cuja maior contribuição é dada pelos detergentes superfosfatos empregados em larga escala doméstica e da matéria fecal, rica em proteínas. Também pode ser proveniente de alguns efluentes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas, também, podem apresentar cargas excessivas de fósforo.

O nitrogênio é encontrado, na água, basicamente em quatro formas: nitrogênio orgânico indicando características de poluição recente por esgoto bruto; nitrogênio amoniacal, que já sofreu decomposição pelos microrganismos heterótrofos e encontra-se sob a forma de sais de amônia e indica poluição relativamente recente; nitrogênio na forma de nitrito, que corresponde a um estágio intermediário e de curta duração, e por último o nitrogênio na forma de nitrato que indica uma contaminação remota conforme equação (1).



O fósforo é encontrado, principalmente, sob a forma de ortofosfato (PO_4^{3-} , $H_2PO_4^{2-}$, H_3PO_4), polifosfato e fósforo orgânico. Sendo imprescindível para a atividade dos organismos vivos e microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. No entanto, da mesma forma que o nitrogênio, quando em elevada concentração, implica em um crescimento exagerado de algas promovendo a eutrofização (CERETTA, 2004).

Metais pesados

Os metais pesados são micro-poluentes inorgânicos, em sua maioria, provenientes de efluentes industriais, que além de serem altamente tóxicos para os organismos aquáticos ainda são acumulativos, os metais pesados mais

comuns dissolvidos nas águas são: cobre, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, níquel e zinco.

O zinco não ocorre naturalmente na forma elementar sendo sua concentração nas águas pluviais, de aproximadamente 178µg/L (TOMAZ, 2006). Tendem a ficar aderidos aos sólidos em suspensão, sedimentando no fundo dos corpos d' água. É geralmente extraído de minérios como óxido de zinco (ZnO) e utilizado em revestimentos anticorrosivos para a proteção de materiais compostos por ferro e aço, em misturas para fundições e em latão, chapas e lâminas de revestimentos de baterias elétricas, coberturas e acessórios exteriores de construções, em alguns processos de impressão, papel, celulose, processos de galvanização e indústrias químicas. Também pode ser utilizado como aditivo de certas borrachas e tintas. Os principais compostos de zinco são o óxido de zinco (ZnO), comumente utilizado em indústrias cerâmicas, sulfato de zinco (ZnSO₄) aplicado em indústria têxtil e enriquecimento de solo e o cloreto de zinco (ZnCl) como preservativo de madeiras, desodorizante em diversos fluidos e como mordente em tinta. Algumas fontes antropogênicas são: construções, telhados, freios, óleo lubrificante, deposição seca e úmida e a concentração em águas de escoamento urbano: 20 a 5000 µg/L, (ATSDR, 2003). O metal ocorre principalmente na forma de Zn²⁺ e tende a ser adsorvido e transportado pelos sólidos suspensos em águas poluídas. Seu limite permitido em descargas de efluentes, segundo a legislação CONAMA 357/05 é 5,0 mg/L (BRASIL, 2005).

O chumbo não apresenta função biológica conhecida, ocorre naturalmente em pequenas quantidades, como por exemplo, a galena (PbS). Este metal e seu dióxido são utilizados em baterias e na síntese do tetraetilchumbo, como antidetonante na gasolina, em ligas de solda, cerâmicas, tintas, entre outros. Algumas fontes antropogênicas são: deposição atmosférica, desgaste de pinturas, processos industriais, queima de combustíveis, tais como óleo, carvão, combustão veicular (ATSDR, 1999). Na atmosfera o metal se encontra na forma particulada. Nas águas dos rios e no mar depende do pH e do conteúdo de sal dissolvido e a concentração do metal dissolvido é baixa devido à combinação deste com ânions como hidróxidos, carbonatos e sulfatos, que apresentam baixa solubilidade. Concentrações

encontradas em águas de escoamento urbano: 5 a 200 µg/L. O limite permitido para descargas de efluentes, segundo a legislação CONAMA 357/05 é 0,5 mg/L /ano (BRASIL, 2005).

O cobre ocorre naturalmente no meio ambiente: pedra, solo, água e em baixas concentrações no ar. Também está presente em plantas e animais. É considerado um micronutriente, porém em concentrações elevadas pode apresentar efeitos tóxicos. É muito utilizado na agricultura em algicidas, fungicidas, fertilizantes e também é utilizado industrialmente como metal de acabamento em preservativos de madeira e tratamento de água. Algumas fontes antropogênicas são: produção de metais não ferrosos, produção de madeira, aço e ferro, indústrias têxteis e químicas. Além disso, emissões provenientes de incineração de resíduos, combustão veiculares e agricultura (ATSDR, 2015). Nos rios está presente na forma de íons hidratados livres, complexado a substâncias orgânicas e inorgânicas. Concentrações encontradas em águas de escoamento urbano: 5 a 200 µg/L com limite permitido para descargas de efluentes, segundo a legislação CONAMA 357/05 é 1,02 mg/L (BRASIL, 2005).

O Cádmiu não apresenta função biológica conhecida; ocorre naturalmente na forma CdS e CdCO₃ em subprodutos da extração do chumbo, zinco e cobre. As fontes de contaminação pelo cádmio incluem os processos de galvanização e a disposição de resíduos sólidos, plásticos e tintas (amarelo-cádmio e vermelho-cádmio). Algumas fontes antropogênicas são: deposição atmosférica, desgaste da borracha de pneus, combustão, indústrias de cimento, fertilizantes e fungicidas. Nas águas dos rios ou no mar, o cádmio pode estar na forma de íon hidratado ou complexado a compostos orgânicos ou inorgânicos, enquanto forma solúvel, ele pode migrar para a água. Não apresenta mobilidade nas formas insolúveis ou quando está adsorvido nos sedimentos. É retido por plantas aquáticas e terrestres e se for ingerido concentra-se no fígado e rins dos animais. Concentrações encontradas em águas de escoamento urbano: 0,1 a 12 µg/L e o limite permitido para descargas de efluentes, segundo a Resolução CONAMA 357/05 é 0,2 mg/L (BRASIL, 2005).

Óleos e graxas

São substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Representadas, principalmente, pelos hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros e dificilmente presentes nas águas dos rios preservados, tendo sua origem em despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. A maior contribuição para o aumento das graxas nos corpos d'água é proveniente de despejos industriais de refinarias, frigoríficos e indústrias de sabão. Por apresentar pequena solubilidade, os óleos e graxas constituem um fator negativo para tratamento por processos biológicos, pois apresentam difícil biodegradabilidade e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento de água. A presença de óleos e graxas diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo, dessa forma, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água (NUVOLARI, 2003).

A presença dessas substâncias, em processos de decomposição, reduz o oxigênio dissolvido elevando a DBO e a DQO, causando alteração no ecossistema aquático (PIMENTEL, 2009).

1.5 Projeto de pesquisa relacionados

- **Projeto H₂Urb**

Este trabalho está inserido no contexto do projeto de pesquisa “H₂Urb que trata dos indicadores de eficiência quali-quantitativos de drenagem em bacias urbanas e peri-urbanas”, da Rede Hidroeco: Hidrograma ecológico e modelagem quali-quantitativa de bacias, formada a partir da Chamada Pública MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010 com as instituições seguintes: UFRJ, UFSM, EESC-USP, FEIS-UNESP, UFAL.

Este se insere nas metas que dizem respeito à identificação de relações quali-quantitativas entre a precipitação, o escoamento pluvial e as cargas poluidoras (resíduos sólidos e líquidos).

- **Projeto Maplu-2**

Também está no contexto do projeto de pesquisa MAPLU – “Manejo de águas pluviais: monitoramento, modelagem, desenvolvimento de tecnologias de baixo impacto e de instrumentos para a gestão de águas pluviais em meio urbano”, tendo como objetivo 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.

- **Projeto PPP**

Tem a proposta de “Estudo da influência do nível da água do riacho Salgadinho no escoamento no riacho do Sapo”, aprovado no Edital nº 01/2011 CNPq/FAPEAL, Programa de Primeiros Projetos PPP. O projeto tem como objetivo avaliar o efeito do riacho Salgadinho na capacidade de escoamento do seu afluente riacho do Sapo, através de monitoramento e modelagem.

- **Projeto Universal - FAPEAL**

Este trabalho está no contexto do projeto de pesquisa “Lote urbano real: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento superficial”, Edital Universal 14/2013 - Faixa A. O projeto tem como objetivo a avaliação de medidas simplificadas de controle do escoamento superficial em lotes, a partir da observação dos processos hidrológicos em um lote real.

2 OBJETIVOS E METAS

O objetivo geral consiste na proposição de um método de amostragem do escoamento superficial para a avaliação da poluição difusa de um conjunto habitacional.

Os objetivos específicos são:

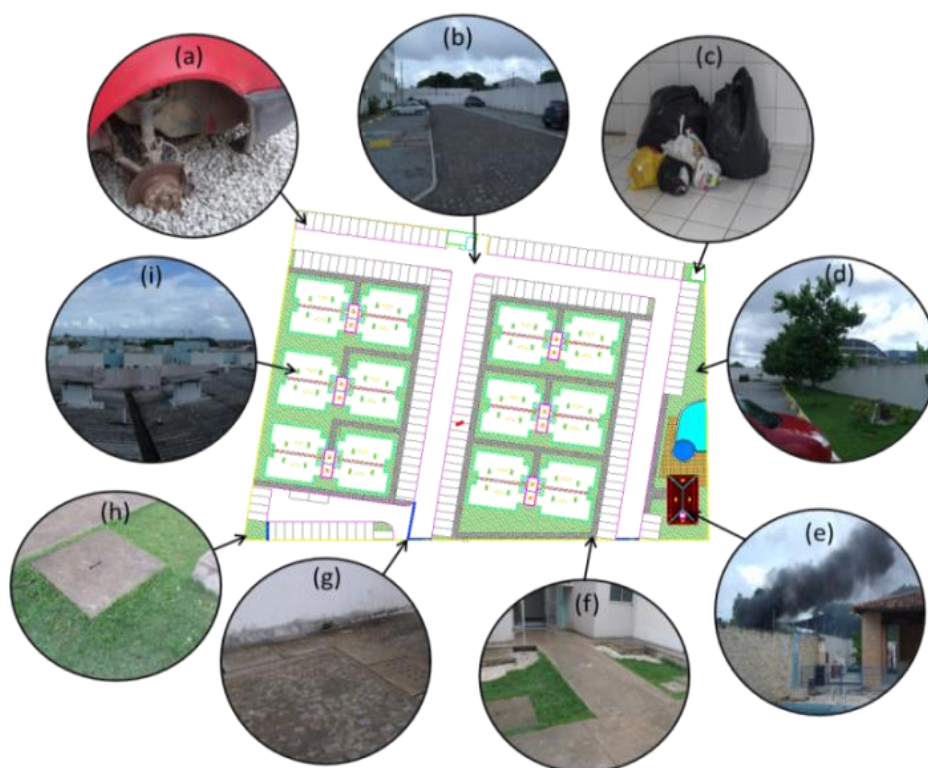
- Concepção de um amostrador de baixo custo para o monitoramento da poluição difusa diretamente no solo;
- Construção e avaliação das potencialidades do amostrador para a determinação de cargas de poluição difusa em áreas residenciais.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A fim de compreender o comportamento da poluição difusa, em escala real, a pesquisa foi realizada em um condomínio fechado (Figura 5), composto por seis blocos de 32 apartamentos construídos em alvenaria estrutural, em um terreno de 9.644,50 m², sendo 60% de área impermeável e 40 % de área permeável, cuja localização fica no bairro da Santa Lúcia na cidade de Maceió.

Figura 4 – Caracterização da área de estudo e suas prováveis fontes difusas



Fonte: elaborada pelo autor

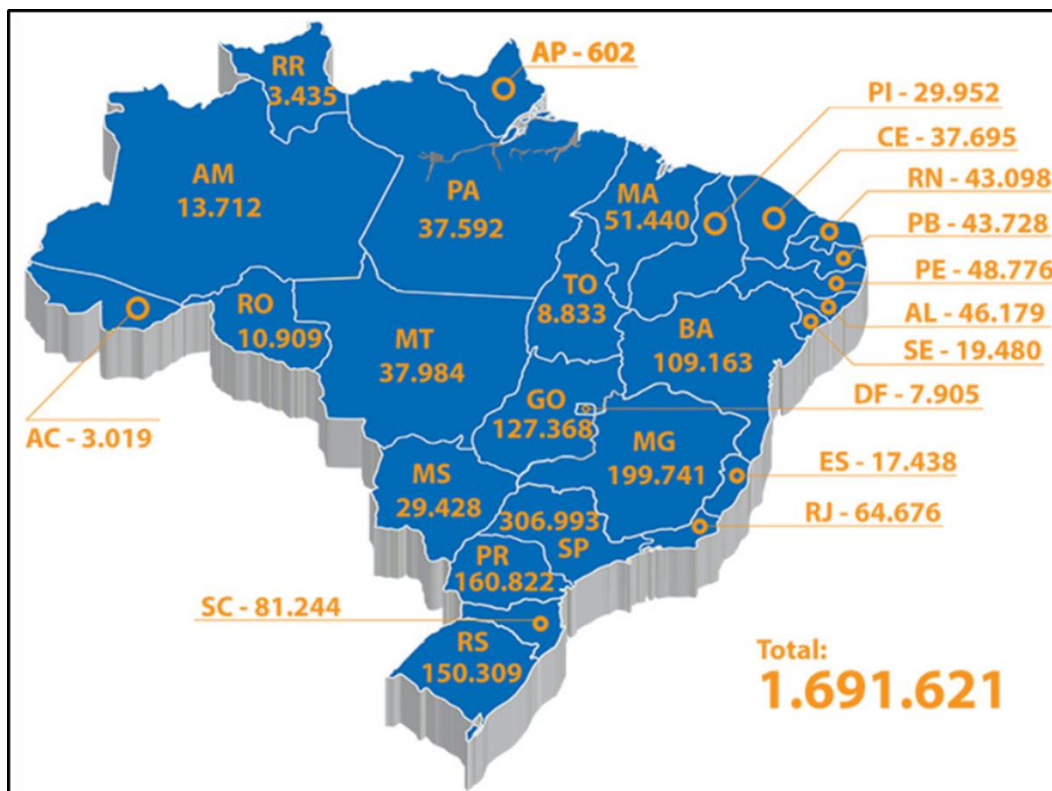
A figura 5 apresenta os usos e coberturas do solo e suas prováveis fontes difusas encontrados na área de estudo, em que os estacionamento e telhado representam possíveis fontes de metais pesados (a) e (i); as ruas, fontes de sedimentos (b); a lixeira e caixas de passagens, fontes de nutrientes e bactérias provenientes do lixo e do esgoto doméstico (c), o jardim, devido às dedetizações periódicas, a probabilidade de encontrar pesticidas e nutrientes (h); deposição atmosférica (e); calçadas onde podem se encontrado

sedimentos (f); e por fim a canaleta de drenagem (g), para onde converge a maior parte do escoamento.

A escolha foi realizada em função de ser um tipo comum de empreendimento, não apenas em Maceió, ou mesmo em Alagoas, mas que tem sido amplamente incentivado em todo o Brasil, como uma forma de reduzir o déficit habitacional, através do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC (Figura 6). Neste contexto surge a preocupação com a qualidade do deflúvio gerado por estes novos empreendimentos, que concentram grandes adensamentos populacionais com atividades antrópicas típicas que geram grandes potenciais poluidores, principalmente difusos.

Sendo assim, a proposta metodológica não se limitaria apenas às áreas de estudo em questão, mas pode ser empregada neste amplo contexto que abrange todo o território nacional, cujas populações que residem nestes ambientes, a depender dos hábitos, clima, classe social, região, dentre outros fatores, podem apresentar diferentes tipos de contribuição difusa.

Figura 5 – Unidade habitacionais entregues pelo PAC



Fonte: (CAIXA, 2016)

3.2 Identificação dos Potenciais de Poluição Difusa na Área de Estudo

O potencial de poluição difusa está diretamente relacionado ao tipo de uso e cobertura do solo e as atividades antrópicas desenvolvidas em cada um deles. Neste sentido foi realizada a caracterização do tipo de uso e ocupação do solo dentro do residencial, sendo definidos os seguintes tipos: estacionamento, telhado, vegetação rasteira (jardins), ruas (em paralelo), calçadas (em concreto) e área de lazer (Tabela 1).

Tabela 1 – Uso e cobertura do solo e suas prováveis fontes difusas.

Tipo de uso e cobertura	A (m ²)	A (%)	Prováveis poluentes
Estacionamento	2.208	23,0	Freios, óleo lubrificante, deposição seca e úmida (Zn), combustão veicular (Pb), desgaste da borracha de pneus (Cd) e óleos e graxas.
Telhado (amianto)	2.897	30,0	Deposição atmosférica (Pb e Cd)
Telhado (telha cerâmica)	110	1,10	Deposição atmosférica (Pb e Cd) e por lixiviação desprendimento de Pb , Cd , Zn e Cu .
Jardim	1.617	17,0	Fertilizantes e fungicidas (Cd)
Calçadas	783	8,10	Sedimentos
Área de lazer (cerâmica)	91	0,90	Deposição atmosférica (Pb e Cd) e sedimentos
Ruas	1785	18,5	Freios, óleo lubrificante, deposição seca e úmida (Zn), combustão veicular (Pb), desgaste da borracha de pneus (Cd), óleos e graxas e sedimentos.

Fonte: elaborada pelo autor

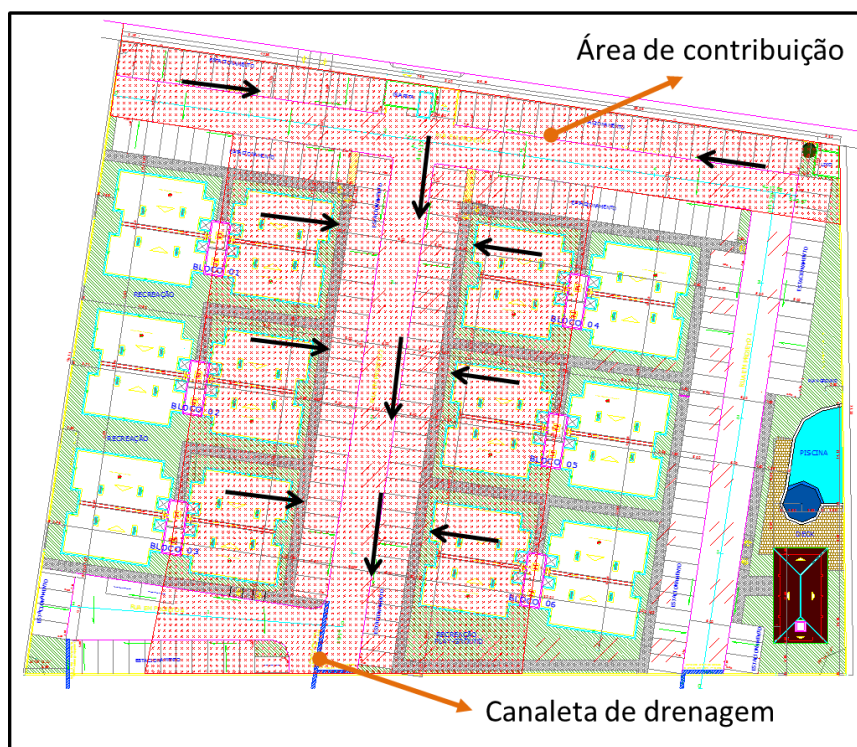
O estacionamento foi dimensionado para 198 veículos de passeio (fontes de metais, hidrocarbonetos, óleos e graxas). A cobertura dos blocos residenciais é composta de telhas de amianto, exceção feita ao salão de festas cuja cobertura é de telhas cerâmicas. A área verde, jardim, é composta praticamente por vegetação rasteira, gramíneas. As calçadas são em concreto. No entorno da piscina existe uma pequena área com revestimento cerâmico e o pavimento das ruas foi construído com paralelepípedos e a disposição final do efluente sanitário (principais fontes orgânicas) gerado no condomínio é

realizada por um sistema formado por dois tanques sépticos, dois filtros anaeróbios e 16 sumidouros com profundidade de 70 m cada.

3.3 Delimitação da Contribuição da Área de Estudo

A delimitação da área de contribuição, cujo deflúvio gerado alcança a canaleta de drenagem usada para instalação do amostrador; foi definida a partir do levantamento topográfico realizado para a construção do condomínio e do projeto de greide de pavimentação, onde foi levado em consideração a inclinação das ruas, calçadas, estacionamentos e telhados, sendo realizada a delimitação por meio do projeto digital no ambiente do AutoCad. A área de contribuição foi estimada em 5.307 m², o que corresponde a 55% da área de todo o empreendimento (Figura 7)

Figura 6 – Delimitação da área de contribuição da canaleta de drenagem



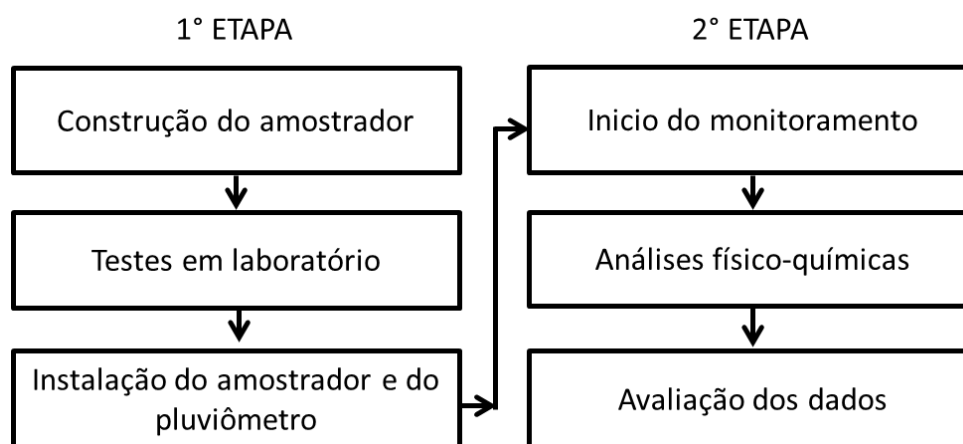
Fonte: elaborada pelo autor

Na delimitação das áreas de contribuição foi considerada a inclinação dos telhados e para onde eram direcionados os dutos de águas pluviais, usando as áreas que drenam para a canaleta central como responsáveis pela contribuição do escoamento gerado na área de estudo.

4 METODOLOGIA

A metodologia foi composta por três etapas que envolvem a caracterização da área de estudo, a concepção, construção e testes de um amostrador, a instalação do amostrador e do pluviômetro e o monitoramento (Figura 4).

Figura 7 – Etapas metodológicas



Fonte: elaborada pelo autor

4.1 Concepção, Construção e Custo do Amostrador

A concepção do amostrador teve influência significativa das condições observadas para os escoamentos do condomínio. O ponto para o qual o condomínio drena teve que ser totalmente readequado e, determinou questões como o tamanho do amostrador, as condições de medição dos níveis de forma segura e o projeto de como seria a derivação para entrada do fluxo no amostrador.

A necessidade de construir o amostrador surgiu da dificuldade de realizar a coleta de amostras, em período chuvoso, decorrentes da lavagem das superfícies no meio urbano, especificamente, aquelas que alcançam os dispositivos de drenagem. Outro aspecto relevante foi a proteção dos equipamentos usados, e por isso, a proposta de ser projetado um equipamento de baixo custo e implantá-lo em um conjunto habitacional. Soma-se a isso a facilidade de acesso para a coleta das amostras, a qualquer hora, a segurança

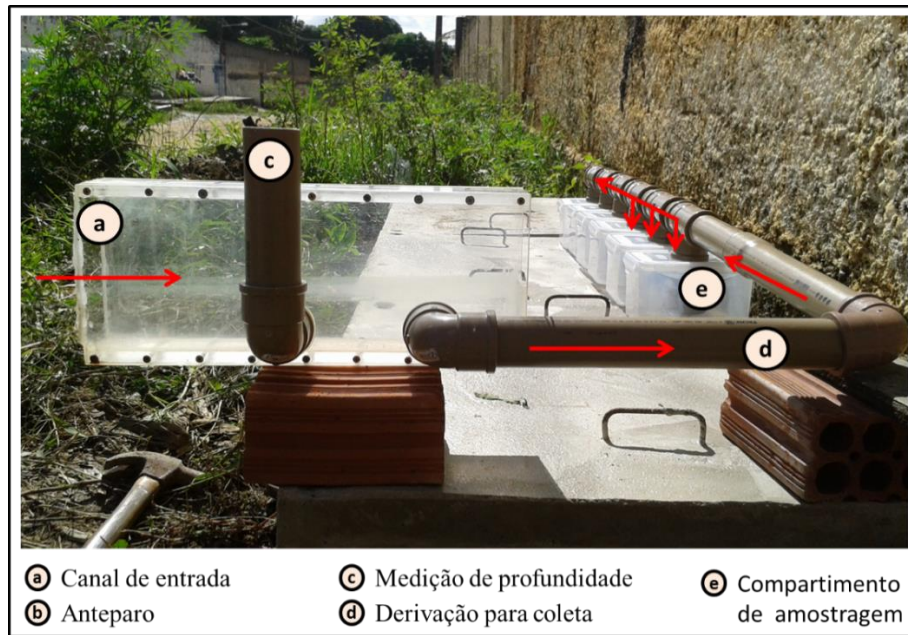
na realização das mesmas, a fácil delimitação da área de estudo e a possibilidade de replicar o experimento em ambientes com características similares.

As dimensões do amostrador bem como suas características físicas como diâmetros das tubulações, volumes de amostragem e o próprio layout do equipamento tiveram influência da área de implantação como topografia, volume de deflúvio gerado e das potenciais variáveis que poderiam ser encontradas em detrimento dos vários tipos de uso e ocupação do solo do residencial.

O canal do amostrador foi construído com material acrílico transparente, espessura de 12 mm, conexões de PVC com diâmetro de 50 mm e recipiente de amostragem em acrílico para a coleta das amostras. Também foram colocadas nos amostradores esferas de isopor para bloquear o fluxo de forma similar ao usado pela UFNR em 2008 quando coletou amostras com dispositivos fixados na parede do tanque de acumulação construído na lagoa de Mirassol, diferindo daquele pelo uso de conexões para manterem a esfera confinada na entrada do fluxo de água otimizando o fechamento da entrada do fluxo.

A Figura 8 mostra as partes que compõem o amostrador bem como o sentido do fluxo, indicado pela seta vermelha, desde a entrada no canal até os compartimentos onde a amostra será coletada conforme ocorre o preenchimento sucessivo dos mesmos.

Figura 8 – Esquema geral do amostrador



Fonte: elaborada pelo autor

O funcionamento do canal segue a seguinte ordem: o fluxo passa pelo canal de entrada (a), onde ocorre a adução da amostra advinda do escoamento superficial, é estabilizada pelo anteparo fixado na extremidade do canal adutor (b), a altura da lâmina é registrada pelo sensor localizado dentro do dispositivo vertical (c), que por sua vez conduz o fluxo para a derivação de coleta (d), por amostra nos amostradores, sendo preenchidos no sentido da linha da corrente (Figura 9). As partes componentes do amostrador tem as seguintes finalidades:

- a) Dispositivo de medição de profundidade, a montante da derivação, onde se instalou um sensor de nível para medições de profundidade que são utilizadas para estimar a vazão de entrada;
- b) Derivação para a coleta, que desvia uma parte do escoamento para os compartimentos de amostragem;
- c) Compartimentos de amostragem, que coleta e armazena a amostra;

Quando em operação, o fluxo entra no canal (a), que é estabilizado pelo anteparo (Figura 9g), entra na derivação para a coleta (d), ao passo em que o dispositivo de medição de profundidade inicia o registro da lâmina d'água (c), que seguindo o fluxo para os compartimentos de coleta das amostras. Ao ser derivado, o fluxo alcança os compartimentos de amostragem, passando para o

primeiro deles (e). Este, após ser preenchido, é bloqueado por uma esfera de poliestireno, e o fluxo passa para o compartimento seguinte. Assim acontece até o fluxo alcançar o ultimo compartimento.

Figura 9 – Local do sensor (c), Barologger, (f), canal (a), adução (d), e anteparo (b).



Fonte: elaborada pelo autor

A figura acima apresenta, a esquerda, uma vista frontal e à direita uma vista lateral do amostrador em pleno funcionamento no momento dos testes de laboratório, onde constam: compartimento de sensor de nível (c), Barologger ou sensor de pressão (f), canal de acrílico (a), tubo adutor que vai para o compartimento coletor de amostras (d), e anteparo para equalização de nível (b).

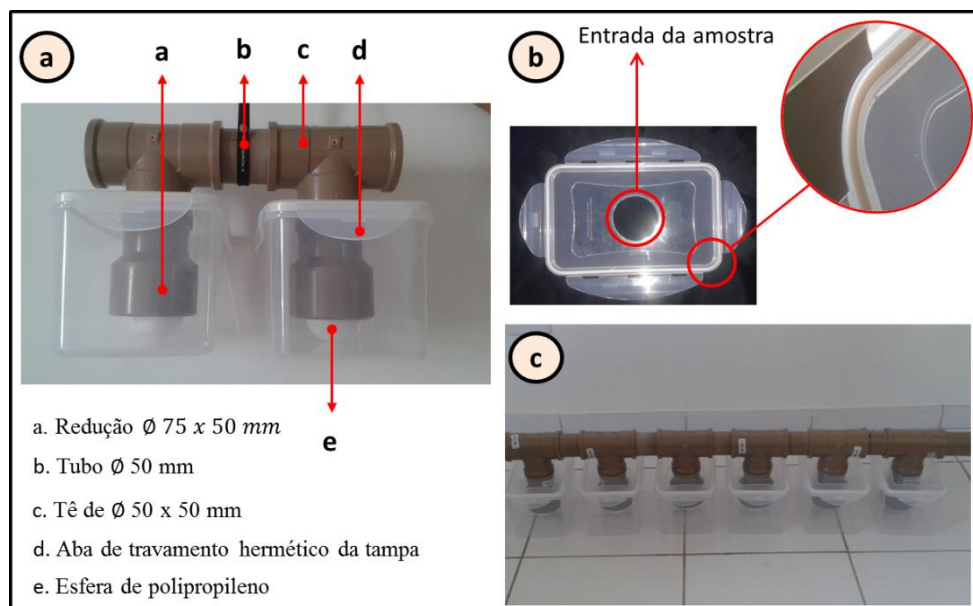
Após um evento de precipitação, os dados dos sensores e do pluviômetro (instalado para o monitoramento dos eventos de precipitação) são baixados e seguem-se os seguintes procedimentos:

- a. Os dados baixados do sensor de nível são compatibilizados com os dados do sensor de pressão que resultam do nível da água que entra na derivação no instante em que as amostras são coletadas;
- b. Os dados do sensor são cruzados com os dados do pluviômetro, ou seja, é verificada a cota de enchimento ao mesmo tempo da ocorrência da chuva, para identificar a intensidade da chuva que provocou o escoamento e correlacioná-la com a coleta de cada amostra;

- c. As informações de nível da água são corrigidas conforme a relação entre o nível do vertedor e a vazão coletada por cada amostrador, previamente obtida em laboratório, e posteriormente, inserida na equação cota-vazão, para a obtenção da vazão de entrada da amostra;
- d. Uma vez definido o nível em função do tempo é possível encontrar a vazão de entrada das amostras em seus respectivos compartimentos. Tendo em vista que o volume de cada compartimento é de 1850 ml é possível saber, também, o tempo de enchimento de cada compartimento.

Os compartimentos de amostragem (Figura 10) foram constituídos de recipientes de polipropileno transparente com dimensão de 10 x 11 x 18,5 cm com volume útil depois da montagem, de 1,85 L. Uma esfera de poliestireno (isopor), foi colocada dentro de uma redução de 75 x 50 mm foi utilizada como dispositivo de bloqueio de entrada de fluxo no compartimento de amostragem, evitando o aprisionamento do ar dentro do compartimento de entrada e auxiliando no direcionamento da amostra para os coletores seguintes.

Figura 10 – Amostradores (a), tampa (b), amostrador completo (c).



Fonte: elaborada pelo autor

A ilustração acima apresenta, no lado esquerdo, uma vista lateral de um par de compartimentos de amostragem, o uso da esfera de poliestireno como

dispositivo de bloqueio do fluxo de entrada da amostra e demais itens que conectam cada compartimento aos demais, no lado superior direito, detalhe da tampa e vedação do compartimento de amostragem e da entrada do fluxo e no lado inferior esquerdo da ilustração, o amostrador composto por seis compartimentos em série.

Em virtude de a tampa do compartimento de amostragem proporcionar um fechamento hermético, a saída do ar, conforme a entrada do fluxo, foi realizada entre a abertura da tampa e o tubo que conecta a redução 75 x 50 mm ao Tê de 50 mm. Os serviços necessários para a adequação da área de estudo e confecção do canal em acrílico totalizaram 49% do custo total para deixar o amostrador fixado no local onde ocorreram as coletas das amostras. O restante correspondeu à compra dos materiais para sua confecção.

A composição de preços foi realizada por cotação, com no mínimo três propostas de preço para a realização, principalmente, dos serviços, e com base nos preços de insumos e serviços fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (Tabela 2).

Tabela 2 – Orçamento da construção do amostrador

ORÇAMENTO PARA SERVIÇOS E COMPRA DE MATERIAIS DO AMOSTRADOR – SINAPI – MAIO/2014

ÍTEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1.0	MOVIMENTO DE TERRA				4,58
1.1	Escavação manual em solo-prof. até 1,50 m	m ³	0,38	12,21	4,58
2.0	PAREDES E PAINÉIS				49,46
2.1	Alvenaria em tijolo cerâmico furado 10x20x20cm, 1/2 vez, assentado em argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal e areia), juntas 12mm	m ²	2,00	24,73	49,46
3.0	ESQUADRIAS METÁLICAS				81,00
3.1	Presilhas de aço com tinta protetora	Und	3,00	2,00	6,00
3.2	Grade ferro chato 1/4" x 1" l=25 cm (21 kg/m)	Und	1,00	75,00	75,00
4.0	TUBOS E CONEXÕES				383,68
4.1	Tubo PVC soldável agua fria DN 50 mm	m	6,00	13,03	78,18
4.2	Redução de PVC soldável agua fria 60x50mm - fornecimento e instalação	Und	10,00	15,32	153,20
4.3	Joelho PVC soldável 90° agua fria 50 mm - fornecimento e instalação	Und	10,00	5,99	59,90
4.4	Tê 90° Soldável 50 mm Marrom - Tigre	Und	10,00	8,99	89,90
4.5	Esferas de polipropileno de 55 mm de diâmetro	Und	10,00	0,25	2,50
5.0	ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO				120,00
5.1	Pacas em concreto armado com 0,8 x 0,6 x 0,02	Und	3,00	40,00	120,00
6.0	SERVIÇOS DIVERSOS E INSUMOS				1.211,14
6.1	Pedreiro	h	24,00	8,56	205,44
6.2	Ajudante de pedreiro	h	24,00	6,23	149,52
6.3	Cadeado	Und	3,00	3,40	10,20
6.4	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), espessura 7 cm, preparo manual	m ²	1,50	28,73	43,10
6.5	Serviços em acrílico para a construção do canal	Und	1,00	350,00	350,00
6.6	Acrílico Transparente 0,9 x 1,2 x 0,012	m ²	0,50	900,00	452,88
6.7	Recipientes transparentes em acrílico de 10 x 11 x 18,5	m ²	0,50	901,00	453,38
TOTAL (R\$)					1.849,85

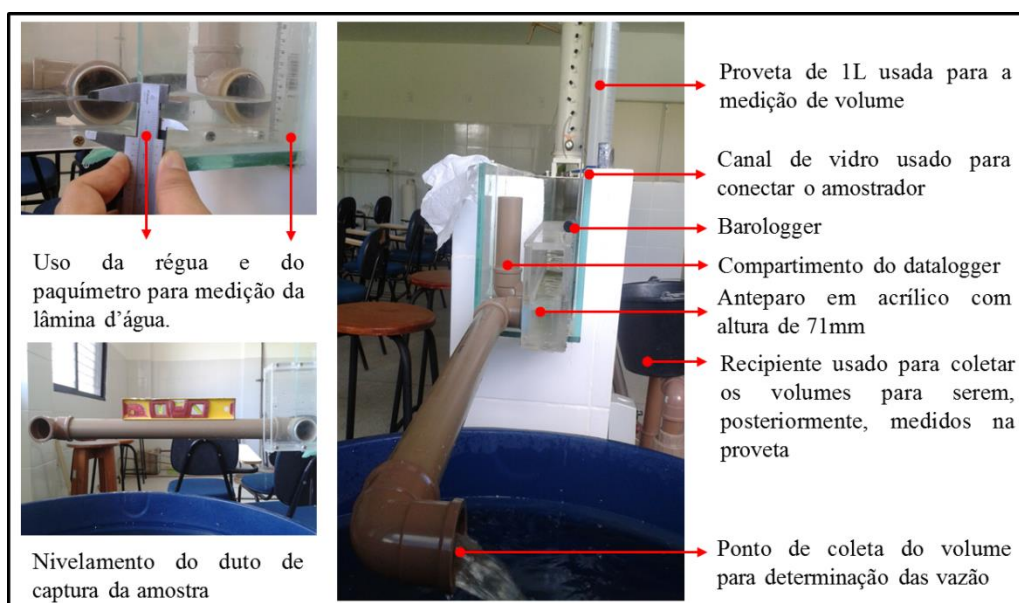
Fonte: elaborada pelo autor

4.2 Testes em Laboratório

O amostrador foi testado no laboratório de hidráulica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, de modo a obter uma relação entre a lâmina d'água registrada pelo sensor de nível e o volume aduzido para os compartimentos de amostragem. Os testes foram realizados da seguinte maneira: foi programado o sensor de pressão (Levellogger Junior Edge, Modelo 300) e o de pressão atmosférica (Barologger Edge, M1. 5/F5, 3001 LT) ambos da marca Solinst, para que fosse registrado o nível a cada 10 segundos, pois quanto menor o tempo entre os registros maior a desratização dos dados e maior a sua confiabilidade, durante todo o período dos experimentos. Enquanto isto eram medidos o volume e o tempo para o cálculo da vazão correspondente, com o uso de uma proveta graduada de 1L e um cronômetro digital.

Com o intuito de melhorar a precisão dos dados coletados foram realizadas 366 coletas de dados onde eram registrados o tempo, o volume e a altura da lâmina no momento da coleta, de duas formas, uma com o uso de uma régua fixada no canal e a outra com o uso de um paquímetro. Estes dados foram tratados e comparados com os valores teóricos fornecidos pelas equações e pelo sensor de nível.

Figura 11 – Amostrador final e do procedimento de medição de vazão



Fonte: elaborada pelo autor

Antes do início de cada medição foi ajustada a vazão da bomba que alimentava o canal, aguardado o tempo de 5 min. para estabilização do fluxo, em seguida foram feitas duas leituras de nível, uma com o uso da régua graduada, fixada ao canal, e outra com o uso de um paquímetro (Figura 11), para posteriormente serem confrontadas com as leituras do sensor de nível. As leituras de vazão foram realizadas, sempre, três a três, para cada nível examinado.

Ao final dos testes em laboratório, obteve-se uma curva que relacionava a vazão que entra no amostrador com a profundidade registrada pelo sensor.

A precisão do sensor de nível é de $\pm 0,1\%$ e ele passa a registrar a informação a partir do momento em que a lâmina supera a altura de 21 mm, considerando que ele é posto em posição vertical (Figura 12), esta informação já é compensada automaticamente no registro do sensor e é corrigida quando da compensação com os dados do barologger. Caso o sensor não esteja imerso na água após a compensação o valor é apresentado de forma negativa.

Figura 12 – Identificação do ponto em que o sensor de nível registra o nível d'água.



Fonte: elaborada pelo autor

4.3 Instalação do Amostrador

O amostrador foi instalado na passagem de uma das três galerias de drenagem da área de estudo, onde o canal de amostragem foi fixado, paralelo

a um tubo de PVC de 200 mm de diâmetro, ambos responsáveis pela condução do deflúvio para fora do condomínio (Figura 13).

Figura 13 – Galeria de drenagem antes da intervenção (a) e (c) e depois (b) e (d).



Fonte: elaborada pelo autor

A galeria de drenagem, onde foi instalado o amostrador, antes das adaptações. Visto da parte interna do condomínio - Saída da galeria de drenagem obstruída com madeira, pedras e sedimentos (a), sedimentos acumulados dentro da galeria (b). Visto da parte externa do condomínio – saída do deflúvio bloqueada por entulho e vegetação (c), limpeza inicial das futuras instalações do lugar de acomodação dos compartimentos do amostrador (paralelo ao muro) e saída do fluxo excedente a amostragem (d). A figura 13 mostra os motivos das intervenções que se fizeram necessárias para a acomodação do amostrador. Foi preciso fazer a desobstrução de toda a galeria.

Figura 14 – Execução da infraestrutura do amostrador



Fonte: elaborada pelo autor

Desobstrução e ampliação da abertura da passagem da galeria através do muro do condomínio (a), nivelamento com uma camada de concreto magro para a fixação do canal do amostrador (b), camada de concreto magro na saída da galeria do lado externo da área de estudo (c), compartimento para acomodar as cápsulas da amostragem e canal para a condução do deflúvio do condomínio (d).

Para melhorar o escoamento foi construída uma galeria para a condução do volume gerado de modo que não pudesse retornar e interferir no processo de coleta das amostras, além disso, foi colocada uma camada de concreto magro com o intuito de diminuir a rugosidade da superfície e facilitar o escoamento a jusante do amostrador, Figura 14 (c) e (d).

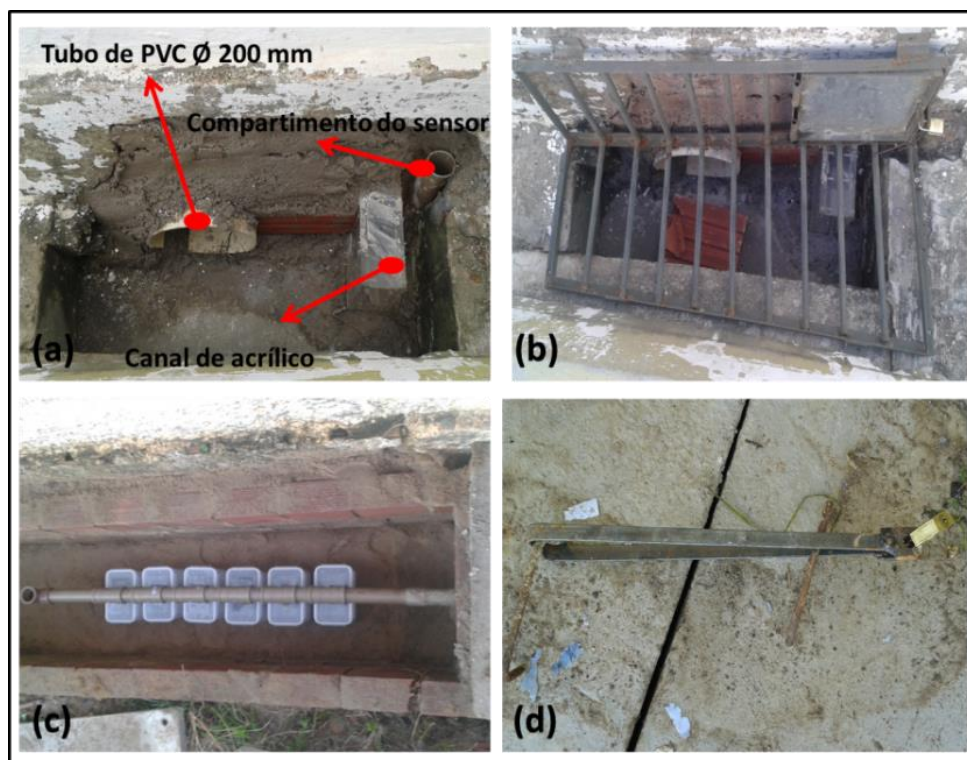
O compartimento para acomodar os recipientes de coleta do amostrador foi construído em alvenaria de tijolos cerâmicos, com dimensões de 0,65 x 2,1 x 0,55 m, foi preenchido com areia até a altura de 0,2 m. A areia foi usada com as seguintes finalidades:

- Absorver eventual entrada de água dentro do compartimento, e;

- Permitir a utilização de recipientes de amostragem com dimensões diferentes das utilizadas, sendo necessário apenas à remoção ou acréscimo do volume da areia.

O compartimento do sensor ficou do lado de dentro do condomínio para evitar que fosse roubado ou danificado e para acessá-lo, sempre que necessário para baixar os dados coletados no monitoramento. Uma grade em aço, pintada com tinta anticorrosiva, foi fixada entre a parede do muro e a canaleta de drenagem com a finalidade de proteger o canal do amostrador e impedir acidentes. Para a retirada e colocação do sensor foi construída uma porta com chapa de aço presa por cadeado. (Figura 15a e 15b).

Figura 15 – Sistema instalado e mecanismos de proteção



Fonte: elaborada pelo autor

Na ilustração acima são apresentados a galeria de drenagem para o ponto de medição durante e depois das adaptações onde, o deflúvio excedente sai pelo tubo 200 mm, a amostra foi coletada pelo canal e o registro do nível realizado pelo sensor que ficou no compartimento indicado (a), também foi usada uma grade de proteção para a galeria e para o compartimento do sensor (b), compartimento para acomodar os amostradores (c) e placadas de concreto

usadas como tampas para o compartimento de amostragem e detalhe da presilha unindo placas contíguas.

Do outro lado do muro, a estrutura em alvenaria que acomoda as câmaras de amostragem, com 2,1 m é capaz de receber um número maior de cápsulas conforme possam vir a surgir necessidades posteriores (Figura 15c). Para proteger a integridade das amostras contra vandalismo ou roubo, foram confeccionadas três placas em concreto armado pesando aproximadamente 100 kg cada uma, com dimensões de 0,7 x 0,8 x 0,02 m, com alças de aço de 6,3 mm, para auxiliar na retirada, todas as vezes que as amostras forem coletadas. Como medida de segurança também foram confeccionadas presilhas com barras chatas de aço com orifícios nas extremidades para a colocação de cadeados, elas foram usadas nos puxadores de duas placas contíguas (Figura 15d).

Dentro do compartimento de alvenaria foram colocadas 6 cápsulas de amostragem com volume de aproximadamente 2L, cada. A conexão que une o canal aos amostradores foi protegida por uma placa de concreto armado com dimensões de 0,8 x 0,8 x 0,03 m, bem como a saída tanto do canal quanto do tubo de 200 mm (figura 16).

Figura 16 – Placas de proteção para o canal (b) e para as amostras (a)



Fonte: elaborada pelo autor

4.4 Instalação do Pluviômetro

O Monitoramento da quantidade de chuva precipitada no período referente às coletas foi realizado com o auxílio de um pluviômetro de báscula da marca Rainauge, modelo TB6, serie 14-220, com um volume de 0,2 mm para cada basculada registrada, instalado no telhado de um dos blocos dentro da área de estudo (Figura 17)

Figura 17 – Suporte do pluviômetro (a) e (b), proteção do datalogger (c) e (d).



Fonte: elaborada pelo autor

A ilustração acima apresenta o processo de instalação do pluviômetro, para o qual foi necessária a construção de um suporte de apoio (a), na parte inferior do suporte foi instalado um recipiente para proteger o datalogger da chuva (b) de modo que ele o datalogger ficassem dentro de uma capsula de proteção (c). No lado esquerdo inferior da figura é apresentada a instalação final do pluviômetro (d).

4.5 Monitoramento: procedimento

Em virtude do período de monitoramento ter ocorrido durante a quadra chuvosa foi considerada, apenas, uma coleta para análise laboratorial, sendo ela a que apresentou maior intervalo sem chuvas, ou seja, 5 dias entre eles. Esta decisão foi tomada em detrimento dos altos custo das análises, uma vez

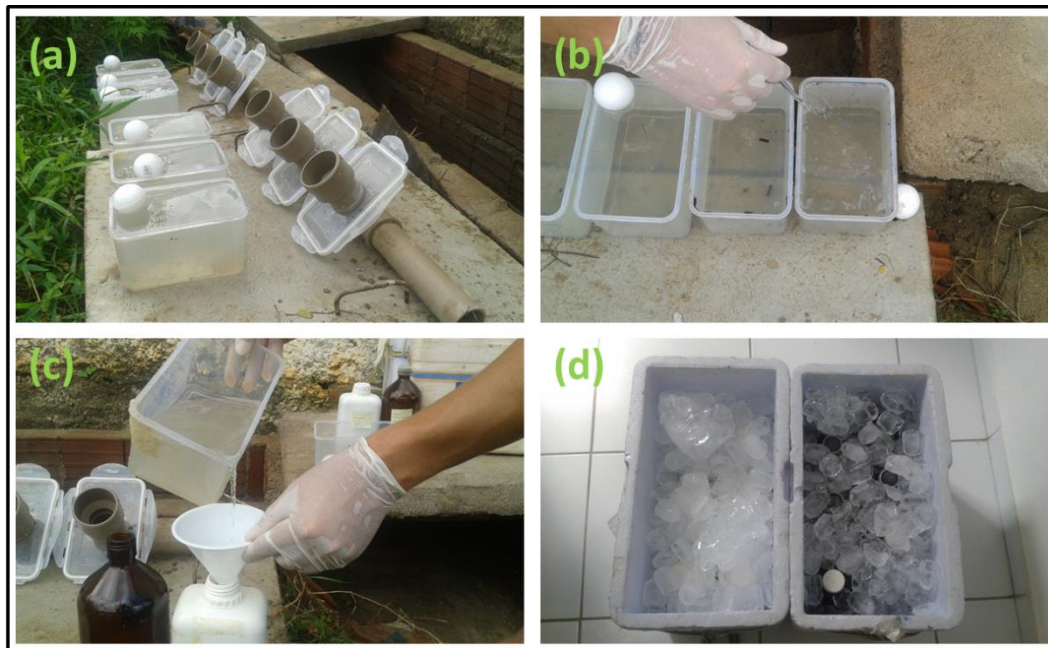
que a literatura afirma que quanto maior o período sem chuvas maior a precipitação dos poluentes e, conseqüentemente, maiores os valores encontrados das variáveis monitoradas nas amostras coletadas. As demais coletas realizadas foram utilizadas para calibragem, in loco, do amostrador.

O sensor de nível e o de pressão foram programados para realizar um registro a cada 10 segundos, no período compreendido entre 01/06/2015 a 30/06/2015. O sensor de nível foi fixado no canal, já o barologger foi fixado dentro de um dos apartamentos do condomínio, uma vez que ele poderia ser instalado em um raio de até 30km do ponto de monitoramento desde que não houvesse variação de elevação superior a 300m.

Antes e depois de cada coleta as cápsulas de amostragem foram lavadas com bastante água e sabão neutro, posteriormente esterilizado com ácido clorídrico com concentração de 30% e lavados com água destilada. Os compartimentos foram verificados todos os dias, durante o período de monitoramento, imediatamente após o evento de precipitação, ou logo pela manhã nos casos de eventos noturnos.

Foram coletadas as amostras do evento com maior intervalo de tempo durante o período monitorado sem chuva. O procedimento de coleta teve as seguintes etapas:

- a. Os compartimentos de coleta foram cuidadosamente desconectados do amostrador, postos em uma superfície plana e abertos um a um (Figura 18a);
- b. Com um bastão de vidro, a amostra foi homogeneizada e transferida para recipientes apropriados ao tipo de análise a ser realizada. Os recipientes continham 0,2 mols de ácido sulfúrico para a preservação da amostra (Figura 18b e c);
- c. Após a transferência das amostras para os recipientes, eles foram postos em caixas térmicas com gelo e transportados, imediatamente, para a realização das análises laboratoriais do efluente (Figura 18d).

Figura 18 – Procedimentos e etapas de amostragem

Fonte: elaborada pelo autor

A ilustração apresenta o procedimento de amostragem onde correu a abertura dos compartimentos de amostragem (a), em seguida foi realizada a homogeneização da amostra com um bastão de vidro (b), as amostras foram armazenadas em recipientes apropriados (c) e por fim elas foram armazenadas em caixas térmicas (d).

A parte do amostrador correspondente aos compartimentos de amostragem e conexões foram totalmente desmontados em todas as coletas, ainda que elas não tenham sido levadas para o laboratório para serem analisadas, sendo mantidos assim, para facilitar a limpeza e garantir que seriam adequadamente esterilizados antes da próxima amostragem. As amostras foram mantidas com gelo para preservação das mesmas até análise em laboratório.

4.6 Teste de Estanqueidade dos Compartimentos de Amostragem

Uma das características do amostrador sequencial é que ele possa coletar amostras íntegras, de modo que uma vez que a amostra adentre ao compartimento ela não possa ser acessada pelo fluxo que continua a passar para alimentar os demais amostradores.

Isso foi conseguido com a utilização de uma esfera de poliestireno, isopor, dentro de uma redução de 75 x 50 mm. À proporção que o fluxo entrava no compartimento, por diferença de densidade entre a amostra e a esfera, ela passava a subir até que o orifício por onde a amostra entra é bloqueado. Para constatar se isso realmente acontecia, os compartimentos foram colocados em série e em uma das extremidades foi submetida uma vazão constante.

Posteriormente a análise da estanqueidade das amostras foi utilizado um corante de forma alternada para os seis compartimentos da seguinte forma:

1. Para os amostradores ímpares, contados na sequência do fluxo, não foi usado o corante;
2. Nos demais foi usado um corante solúvel de cor vermelha para avaliar qualitativamente se havia contaminação das amostras conforme a corrente passava pelo amostrador sem corante.

A saída do ar contido dentro do compartimento foi realizada pela própria tampa do amostrador, na junção entre ela e o tubo de 50 mm que conecta a redução ao Tê.

4.7 Monitoramento: análise

Os parâmetros monitorados foram definidos após uma revisão bibliográfica acerca de quais as variáveis mais comuns na qualidade da água da drenagem urbana decorrente de fontes difusas (Tabela 3). Para as amostras coletadas foram realizadas as análises de sedimentos Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), dos nutrientes Nitrogênio Total (NT) e Fosforo Total (PT), e os metais zinco (Zn), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), todas com o uso dos procedimentos definidos no APHA (1998).

Tabela 3 – Variáveis mais comuns nas águas de drenagem urbana

Análise	Valor de referência	Tempo máx. para análise	Preservação da amostra	V _{amostra} (mL)	Referência
SST	43 a 663 mg/L	28 dias	Refrigerada*	100	CWP (2003)
DBO ₅	10,4 mg/L	7 dias	1ml de H ₂ SO ₄ *	700	TOMAZ (2006)
DQO	66,1 mg/L	7 dias	1ml de H ₂ SO ₄ *	2000	TOMAZ (2006)
NT	2.51 mg/L	7 dias	1ml de H ₂ SO ₄ *	200	TOMAZ (2006)
PT	0,337 mg/L	7 dias	1ml de H ₂ SO ₄ *	200	TOMAZ (2006)
Zn	20 a 500 µg/L	180 dias	1ml de H ₂ SO ₄	200	ATSDR (2002)
Pb	5 a 200 µg/L	180 dias	1ml de H ₂ SO ₄	200	ATSDR (2002)
Cd	0,1 a 12 µg/L	180 dias	1ml de H ₂ SO ₄	200	PUSCH (2007)
Cu	5 a 200 µg/L	180 dias	1ml de H ₂ SO ₄	200	ATSDR (2002)
Óleos e graxas	5,4 mg/L	28 dias	1ml de H ₂ SO ₄ *	500	CWP (2003)

* Devem ser mantidas refrigeradas

Fonte: elaborada pelo autor

4.8 Métodos Analíticos

Todas as análises foram realizadas com base no Standart Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), 22ª edição. Os nutrientes, Nitrogênio Total e Fosforo Total, foram detectados através do Método KJELDHAL (bloco digestor e método da redução com ácido ascórbico – Standard Methods – 4500 – P.F, respectivamente). A determinação do cobre foi realizada pelo método espectrofotométrico com neocuproína. Um resumo apresentando o tipo de análise e o seu respectivo método está descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis e seus métodos de detecção com base no APHA, 1998.

Análise	Método
Cádmio (Cd)	SMEWW 3111 - B
Chumbo Total (Pb)	SMEWW 3111 - B
Cobre (Cu)	SMEWW 3500 Cu B
DBO (5) - Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMEWW 5210 B
DQO - Demanda Química de Oxigênio	SMEWW 5220 C
Fósforo (P)	SMEWW 4500 P C
Óleos e Graxas Totais (O&G)	SMEWW 5520 D
SST - Sólidos Suspensos Totais	SMEWW 2540 B
TKN - Nitrogênio Total	SMEWW 4500 N Org. B
Zinco Total (Zn)	SMEWW 3500 Zn B

Fonte: elaborada pelo autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Curva cota – vazão do amostrador

A precisão do sensor de nível é de $\pm 0,1\%$, em virtude disso e de sua acomodação no compartimento a ele destinado no amostrador, foram efetuadas medições, durante os experimentos, e simultaneamente, medindo a lâmina d'água com o uso de um paquímetro e de uma régua, a fim de estabelecer um valor de correção conforme a Equação (2):

$$h_{sen.corrig} = h_{sensor} + 30,2 \text{ mm} \quad (2)$$

Esta relação foi obtida através do ajuste entre os dados apresentados em todos os experimentos e as medidas realizadas durante os mesmos.

Tabela 5 – Dados coletados nos experimentos para ajustar as leituras do sensor

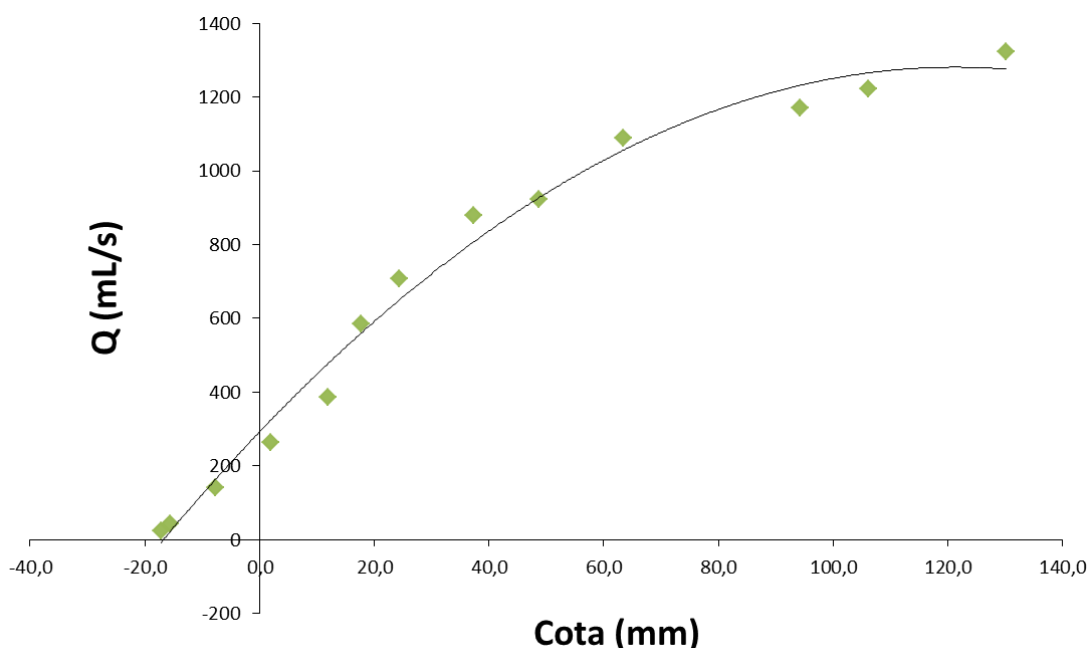
H_sensor (mm)	H_paquímetro (mm)	Hpaquímetro – sensor (mm)	Erro (%)
-15,6	15,3	30,9	2%
37,3	68,8	31,5	4%
48,8	79,4	30,6	1%
63,4	93,0	29,6	2%
76,7	105,6	28,9	4%
85,5	115,6	30,1	0%
85,5	115,6	30,1	0%
94,2	123,1	28,9	4%
106,2	137,7	31,5	4%
130,2	160,0	29,8	1%
Media		30,2	2%
Desvio padrão		0,92	

Fonte: elaborada pelo autor

O parâmetro de ajuste dos dados do sensor de nível foi de 30,2 mm que corresponde à média dos experimentos realizados para cada altura coletada pelo sensor e, simultaneamente, medida pelo paquímetro, sendo estes, os que melhor representaram um valor fixo com relação às medições do sensor. A Tabela 5 apresenta a compilação dos dados obtidos no laboratório, com um desvio padrão de 0,92 mm e erro percentual médio de 2% entre eles.

Com base nos dados obtidos no laboratório foi realizado um ajuste e a partir deste, obteve-se uma curva para simular o comportamento da vazão em função da altura da lâmina d' água que entrava, simultaneamente, no compartimento do sensor e no tubo que aduzia parte do volume que passava pelo canal para as câmaras de amostragem. Posteriormente foram confrontados os dados pontuais de vazão com a curva ajustada aos mesmos. Com os dados coletados foi realizado um ajuste usando uma função polinomial de grau 2 (Figura 19).

Figura 19 – Ajuste polinomial aos pontos coletados em laboratório

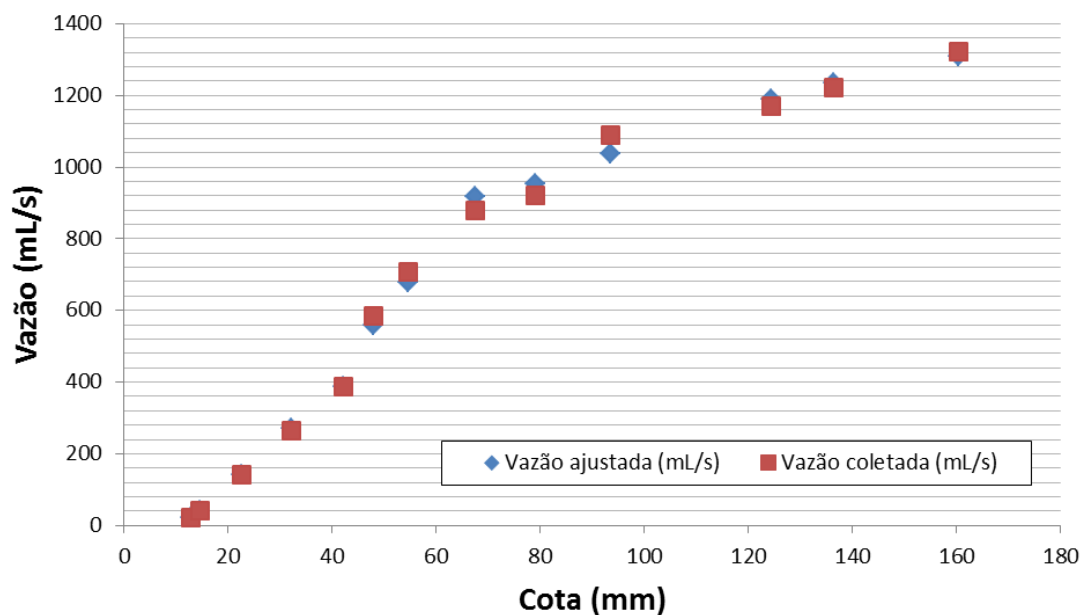


Fonte: elaborada pelo autor

Obtendo a equação:

$$Q = -0,0672 \cdot x^2 + 16,297 \cdot x + 292,44 \text{ com } R^2 = 0,9878 \quad (3)$$

Os dados obtidos no laboratório foram retroalimentados na equação e seus resultados novamente comparados com os dados obtidos no experimento afim de comparar a qualidade dos mesmos. Depois foi realizada uma comparação entre as vazões obtidas no laboratório e as vazões obtidas pelo ajuste (Figura 20).

Figura 20 – Vazões coletadas x vazões obtidas pela curva ajustada

Fonte: elaborada pelo autor

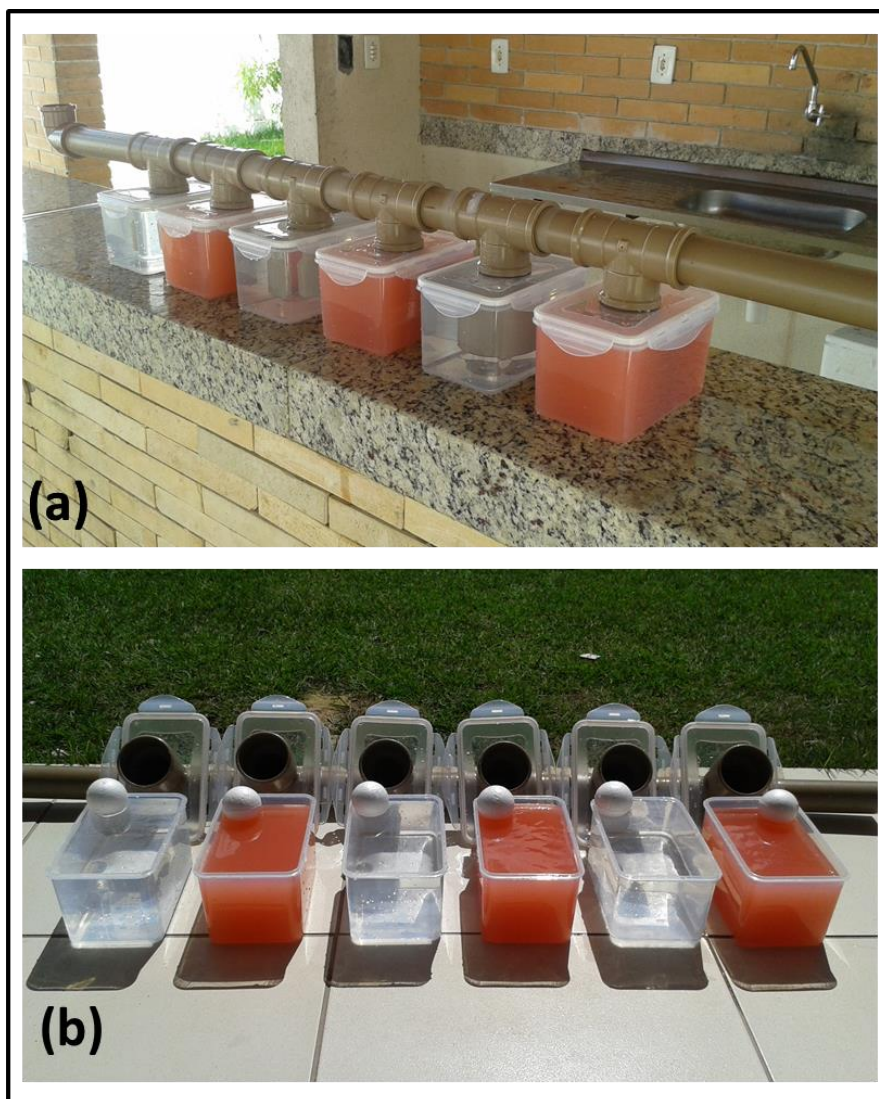
Observou-se uma correlação de 0,999 entre os dados coletados no laboratório e os dados fornecidos pela curva ajustada, evidenciando uma equação consistente para a obtenção das vazões ao ser fornecida à altura da lamina de água que passa pelo coletor do amostrador.

5.2 Avaliação da Estanqueidade dos Compartimentos de Amostragem

A esfera de poliestireno mostrou-se eficaz na contenção da amostra após a entrada do líquido no compartimento de amostragem, fazendo com que as amostras após serem coletadas permaneçam íntegras e isoladas, direcionando o fluxo para o compartimento seguinte.

De acordo com o que foi descrito na metodologia, a inserção do corante nos compartimentos pares (numerando-os no sentido do fluxo) não alterou, em nada, a coloração da amostra coletada pelos compartimentos ímpares conforme pode ser constatado na Figura 21a e Figura 21b.

Figura 21 – Teste com corante vermelho (a), coletores das amostras aberto (b).



Fonte: elaborada pelo autor

5.3 Concentração das Amostras Coletadas

- Vazão

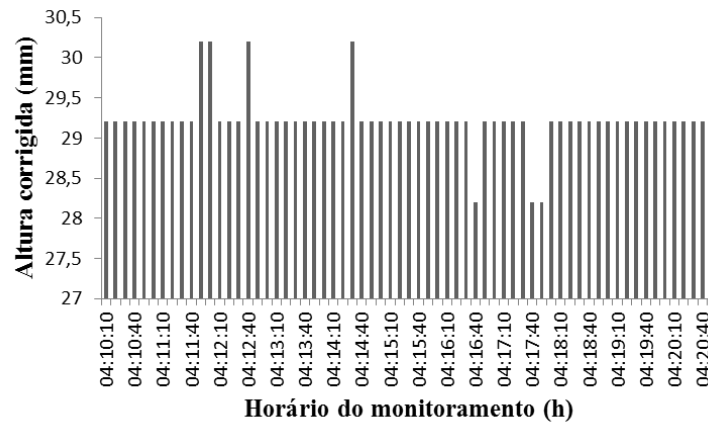
A determinação da vazão da amostra que entra em cada compartimento de amostragem seguiu os seguintes procedimentos:

- a. Foi realizada a compatibilização entre os dados coletados pelo sensor e os dados obtidos pelo pluviômetro para determinar o momento exato em que a precipitação começou a gerar escoamento e o deflúvio atingiu o canal do amostrador;

- b. A cota registrada pelo sensor de nível foi submetida à equação ajustada, para encontrar a vazão de entrada da amostra no compartimento de coleta;
- c. Foi determinado o tempo de enchimento para constatar se todos os amostradores foram completados em um mesmo nível.

A coleta realizada pelo amostrador ocorreu entre 4h 11min e 4h 12 min do dia 19/06/2015, foi enviada ao laboratório pela manhã às 8:00h. A vazão de entrada no conduto adutor foi obtida por meio da equação $Q = -0,0672 \cdot x^2 + 16,297 \cdot x + 292,44$, ($y = Q$ [mL/s]), pois a altura da lâmina, depois de compensada, foi de 30,2 mm, a vazão de entrada nos compartimentos de amostragem foi constante e com valor de 0,723 l/s, o que levou em torno de 2,56s para cada amostrador e 12,8 s para preencher todos os compartimentos. A ilustração abaixo identifica os picos referentes aos momentos em que ocorrem os escoamentos durante o instante da coleta da amostra que foi utilizada para as análises laboratoriais.

Figura 22 – Momento do registro da cota da chuva usada na coleta.

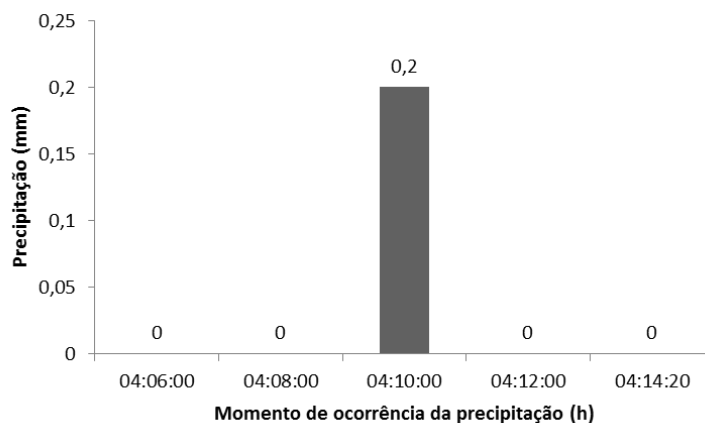


Fonte: elaborada pelo autor

A precipitação no momento da coleta com duração de, aproximadamente, 2 min, foi de 0,2 mm conforme dados obtidos pelo pluviômetro instalado na área de estudo (Figura 22). É importante frisar que durante todo o período anterior à coleta ocorreram chuvas todos os dias (Figura 23), ainda que nos dias 16 a 18 a precipitação não tenha sido suficiente para gerar escoamento, portanto a chuva ocorrida no dia 19 foi suficiente para

alcançar o amostrador, somente, por causa das condições antecedentes de saturação do solo.

Figura 23 – Precipitação ocorrida antes e depois do horário da coleta



Fonte: elaborada pelo autor

- Concentração

A avaliação da coleta realizada evidenciou que a maioria das amostras apresentou valores bem abaixo daqueles mencionados na literatura, exceto para óleos e graxas (Tabela 7).

Tabela 6 – Concentrações do evento monitorado no dia 19 julho de 2015

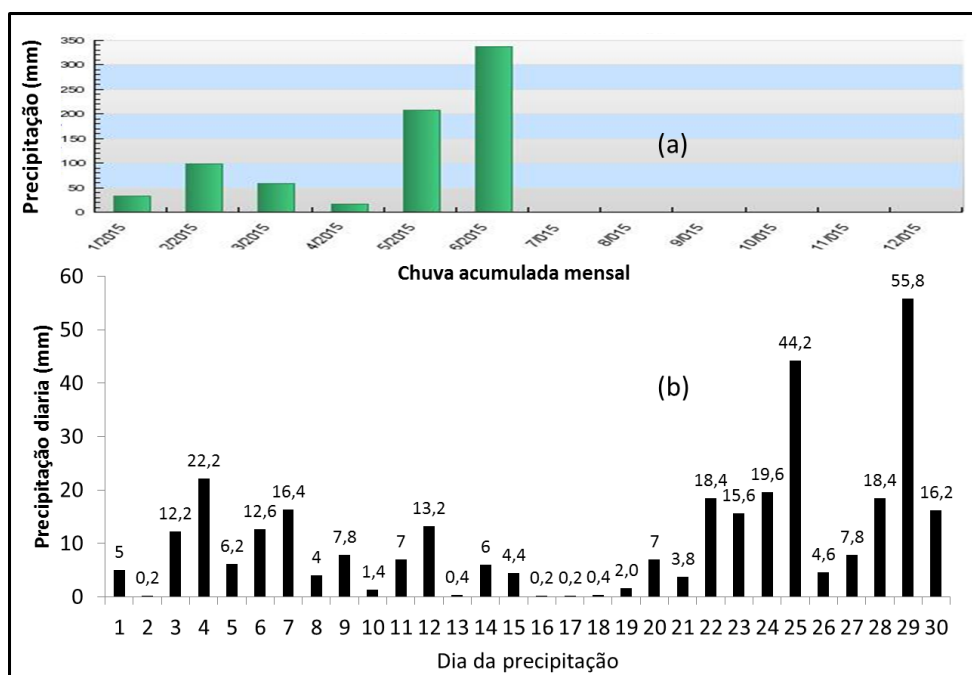
Análise	Amostradores – concentração *						Média	Referência do método
	I	II	III	IV	V	VI		
SST	87	15	14	22	13	26	29,50	43 a 663
DBO ₅	1,8	1,2	1,1	1	1	1	1,18	10,4
DQO	21	10,5	11,6	12,6	10,5	11,6	12,97	66,1
NTK	2,1	2,8	1,4	2,1	1,4	2,1	1,98	2,51
P	0,09	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,337
Zn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02 a 0,5
Pb	0,26	0,25	0,26	0,28	0,28	0,3	0,27	0,05 a 0,20
Cd	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,001 a 0,012
Cu	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,005 a 0,20
Óleos e Graxas totais	8,4	7,2	8,8	7,6	15,2	5	8,70	5,4

* A concentração de todos os parâmetros dada em mg/L Fonte: elaborada pelo autor

Os baixos valores apresentados são decorrentes das sucessivas chuvas que ocorreram no período anterior à coleta, realizando a limpeza da superfície e não havendo tempo suficiente para a deposição de novos poluentes na área

de estudo, uma vez que praticamente todo o mês de junho e os meses anteriores foram seguidos de vários eventos de precipitação. As coletas tiveram início no mês de junho, sendo a do dia 19 a que apresentou maior período antecedente sem chuva ou com precipitação suficiente para que o deflúvio gerado alcançasse o amostrador (Figura 23).

Figura 24 – Chuva acumulada mensal (a), precipitação do mês de coleta (b).



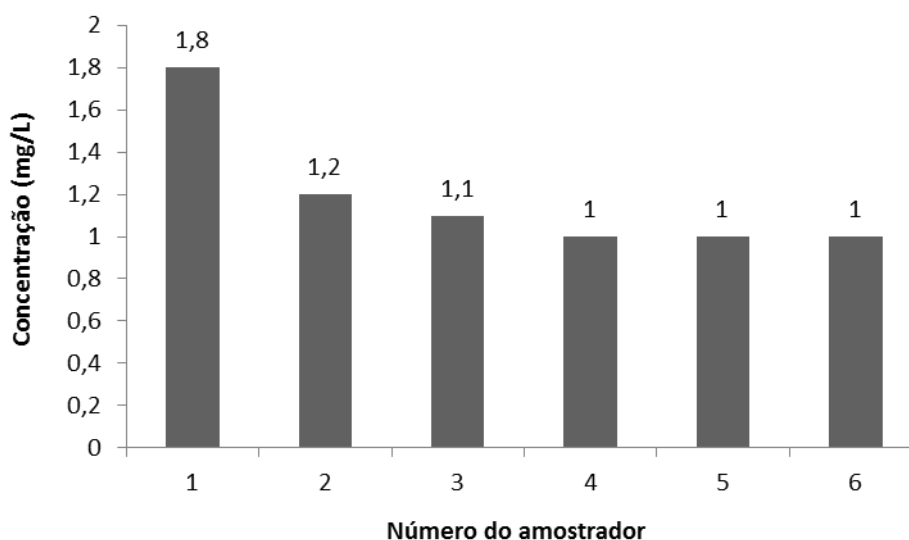
Fonte: elaborada pelo autor

Chuva acumulada mensal para o período de janeiro a junho de 2015 (a), precipitação diária para o mês de junho, período em que foi realizado o monitoramento e coleta das amostras (b).

No mês de junho as chuvas aconteceram todos os dias, em sua maioria, entre meia noite e 5h da manhã, o período que antecedeu à coleta, dias 16 a 18, a chuva não foi suficiente para gerar escoamento na área de estudo e somente no dia 19 foi detectado que os compartimentos do amostrador haviam coletado a amostra. O motivo de ter sido necessário um período sem chuva foi para que houvesse deposição e assim a detecção dos poluentes no escoamento e pelo mesmo motivo não foram utilizadas as coletas dos demais dias chuvosos pois aconteceram em dias sucessivos, não havendo deposição para uma detecção significativa nas águas de drenagem.

Apesar dos baixos valores foi possível constatar o fenômeno de lavagem da superfície, denominado first flush, no qual a precipitação ocorrida nos primeiros minutos apresentou uma diminuição gradual da concentração da amostra (Figura 24). Ela poderia ser mais bem evidenciada caso fossem feitas coletas com um tempo seco antecedente maior, entretanto, o amostrador mostrou-se eficaz na detecção desta variabilidade, principalmente se considerado o tempo total para preenchimento das camarás que correspondeu a 14s.

Figura 25 – DBO₅ das amostras na ordem em que foram coletadas



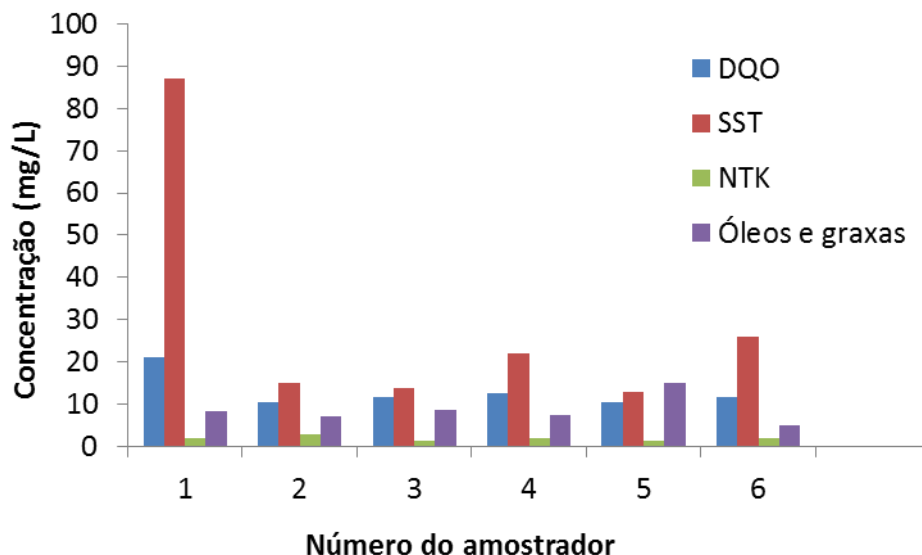
Fonte: elaborada pelo autor

Na ilustração acima observa-se uma diminuição gradativa da concentração de **DBO₅** do primeiro até o quarto compartimento de amostragem. Nos três últimos observou-se uma constância no valor em detrimento da diluição provocada pelo escoamento e do curto tempo de enchimento fazendo com que ela permaneça constante.

Os metais zinco, cádmio e cobre e chumbo que na área de estudo podem ser provenientes dos óleos lubrificantes, freios, desgastes da borracha dos pneus e queima dos combustíveis dos automóveis, também, da deposição seca, fertilizantes e fungicidas, estiveram todos abaixo do limite de detecção dos métodos utilizados para analisá-los, isso se deve principalmente à

ocorrência de chuva em praticamente todo o mês em que a coleta foi realizada, não havendo tempo suficiente para a deposição dos mesmos na superfície.

Figura 26 – Comportamento das variáveis analisadas por coletor



Fonte: elaborada pelo autor

O comportamento incomum das concentrações de óleos e graxas, NTK, DQO e SST, que ao invés de diminuir ou permanecerem constantes à proporção que eram coletados pelos comportamentos de amostragem, apresentando oscilações, hora diminuindo, hora aumentando, (Figura 25) pode ser explicada por erros na concepção do sistema de drenagem, cujo escoamento acontece à linha d' água, sendo que na parte mais a montante do ponto de coleta ocorre uma retenção de parte do volume escoado, fazendo com que, provavelmente, com a evolução do escoamento, as depressões tenham sido preenchidas e lixiviado os sedimento, outrora retido, e chegando ao ponto de coleta a partir do terceiro ou quarto compartimento de amostragem.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa teve a finalidade de propor uma metodologia de amostragem de baixo custo que fosse viável para o monitoramento da poluição difusa em áreas de grande adensamento populacional, tendo como estudo de caso, um conjunto habitacional. Para que isso se tornasse possível foi proposto um amostrador que atendeu aos critérios previamente estabelecidos.

Todo o processo, desde a concepção do amostrador até o monitoramento, apresentou vários níveis de dificuldades:

- Roubo de equipamento
- A dependência dos eventos de precipitação, que ocorreram, na sua maioria durante a noite ou pela madrugada, tendo em vista que a coleta deveria ser realizada imediatamente após o preenchimento das cápsulas;
- Os riscos de depredação e roubo do amostrador e dos equipamentos instalados em campo durante o período de monitoramento;
- O acesso às amostras que teve que ser realizado por duas pessoas, em virtude do peso das placas de concretos que protegem a câmara onde as cápsulas de amostragem estão guardadas;
- Muito tempo dedicado à limpeza dos compartimentos de amostragem e “download” dos dados do pluviômetro e do sensor, realizados no máximo a cada dois dias em função da discretização do sensor de nível e da sua capacidade de armazenamento de dados.

O amostrador provou-se eficaz para a coleta de amostras com o objetivo de monitorar a poluição difusa, por diversos fatores:

- Baixo custo de manutenção e substituição em caso de depredação ou roubo do equipamento em campo;
- Capacidade de coletar amostras com pequenos volumes de chuva e nos primeiros minutos da precipitação, o que caracteriza o momento mais importante da coleta para o monitoramento da poluição difusa;

- Versatilidade de implantação e adaptação para outros ambientes urbanos, como vias, loteamentos, parques, praças e sarjetas;
- Monitoramento automático, principalmente, em localidade em que a as precipitações ocorrem no horário noturno e que a permanência do operador em tempo real é impossibilitada;
- Monitoramento da amostra de modo a que viabilizar a determinação da carga;
- A possibilidade de mudança no tamanho e formato dos compartimentos de amostragem, que podem ser adequados aos volumes necessários para a determinação dos parâmetros que se deseje monitorar.

Outro aspecto que merece ser destacado no amostrador é que o anteparo, haja vista que em todas as vezes que houve coletas bem-sucedidas, com preenchimento de todos os compartimentos de amostragem, que não foram usadas porque as chuvas sucessivas não permitiram a sedimentação dos poluentes nas superfícies fazendo com que as coletas realizadas não fossem adequadas para análise, mas importantes para avaliar a parte hidráulica do equipamento, não foi detectado retenção de sólidos, o que caracteriza que favoreceu na homogeneização da amostra e manutenção de uma carga hidráulica mínima necessária para a leitura do sensor de nível e melhor aproveitamento na coleta dos primeiros volumes que passaram pelo amostrador.

Entretanto o sistema de amostragem e a metodologia proposta apresentam algumas limitações como a impossibilidade de análise de coliforme, uma importante variável para a caracterização da qualidade das águas de chuva decorrentes da drenagem urbana, pois o material do qual foi construído o amostrador não permite ser submetido à esterilização pela autoclave.

Também se faz necessária uma avaliação minuciosa no que se refere à detecção do nível e, conseqüentemente, nos equacionamentos propostos por este trabalho, havendo a necessidade de um refinamento maior, com um maior

número de experimentos em campo ou em laboratório para diminuir a margem de erro considerada nesta pesquisa.

Uma outra sugestão é a instalação de um vertedor a montante ou a jusante do ponto de instalação do amostrador com o intuito fornecer mais informações acerca da vazão de entrada no amostrador.

No que se refere à amostragem será necessário o monitoramento de vários anos hidrológicos a fim de levantar informações consistentes para caracterização do fenômeno do first flush. Outra sugestão é que sejam aumentados os volumes das câmaras dos amostradores e que o canal paralelo ao do amostrador seja bloqueado para que todo o deflúvio gerado seja direcionado para os compartimentos de amostragens. Devem ser realizadas análises das variáveis estudadas neste trabalho de modo a identificar o potencial poluidor e os impactos ambientais causados por este tipo de empreendimento.

Por fim, diante do fato dos compartimentos da amostragem terem sido preenchidos em um tempo muito pequeno, faz-se necessário uma diminuição no diâmetro da tubulação do conduto adutor, bem como o aumento do volume dos compartimentos de amostragem, para melhor realização da coleta das amostras com a finalidade de avaliar as cargas de lavagem da superfície.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J.C.; PORTO, M. F. A. **Avaliação da influência da poluição difusa em corpos d' água livres de cargas pontuais. Estudo de caso: Córregos de interesse pertencentes a primeira etapa do Programa Córrego Limpo.** In: Encontro Técnico AESABESP,23, 2012, São Paulo. XXIII Encontro Técnico AESABESP, 2012.

APHA-AWWA-WPCF; **Métodos Normalizados para el análisis de águas potables y residuales;** Ediciones Diaz de Santos, S.A.: Madri, 1992.

APRIGIO, O. P. **Avaliação de modelos de simulação de carga difusa em bacias urbanas. Dissertação,** 2012, Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de São Carlos da Universidade de São Carlos, SP, 2012.

AUSTRALIA, 1998. **Manual for Management Urban Stormwater Quality in Western Australia.** Agosto, 1998

BONUMÁ, Nadia Bernardi; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro; DE PAIVA, João Batista Dias. **Análise da Carga Difusa de Poluição Gerada por Atividades de Mineração,** 2008.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, Proteção e usos Múltiplos de represas.** São Paulo: Edgard Blücher/CETESB, 1977.

BRASIL. **Resolução ATS 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.

BRITES, A. P. Z. **Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2005.

BRITES, Ana Paula Z.; MARIA DO CARMO, C.; SARTORI, Alcides. **Utilização de Amostradores Instantâneos de Água para Avaliação da Carga Poluente na Drenagem Pluvial Urbana,** Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

CAMPOS, R.O.G. **Modelação Matemática de Cheias Urbanas com Introdução da Obstrução por Resíduos Sólidos**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia. Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, 2000, 269p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Agencia Caixa de Notícias. Disponível em: <http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>. Acessado em: 15 de abril de 2016.

CARVALHO, C. L. **Avaliação da poluição urbana difusa na bacia do córrego Quitandinha no município de Petrópolis, RJ**. 2011. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), RJ, 2011.

CENTER FOR WATERSHED PROTECTION (CWP). **Illicit Detection and elimination**. Fevereiro de 2014. www.cwp.org. 190 p.

CERETTA, M. C. **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena - município de Santa Maria – RS**. 2004. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2004, 154p.

GARCIAS, C. M. ; SOTTORIVA, E M. **Poluição difusa urbana decorrente dos freios automotivos: Estudo de caso na sub-bacia do rio Belém em Curitiba-PR**. Redes (Santa Cruz do Sul. Impresso), v. 15, p. 5-26, 2010.

HAUPT, J. P. O. **Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: Estudo de caso da Bacia do Rio Jundiá**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em engenharia sanitária e ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009, 127p.

HENRIQUE, C. S. **Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o Programa de Produtores de Água e o Programa de Serviços Ambientais**. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Benevente, ES. 2009. Dissertação (Mestrado), São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

MARTÍNEZ, L. L G. **Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas impermeáveis em Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Dissertação (Mestrados em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ARAÚJO NETO, A. T. **Desenvolvimento de protótipo de coletos automático destinado à coleta de amostras de água em corpos aquáticos para análise em laboratório**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008, 84p.

NUVOLARI, A. 2003. **O lançamento in natura e seus impactos. Esgoto Sanitário (Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola)**. 1ª edição. FATEC-SP, CEETEPS, FAT, 2003.

OTTORIVA, Ellen Mayara; GARCIAS, Carlos Mello. Poluição difusa urbana por compostos inorgânicos: avaliação da contribuição dos componentes do amianto presente nas telhas de fibrocimento e nos freios de veículos. **Ambient. constr. (Online)**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, Sept. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000300007&lng=

PIMENTEL, I. M. C. **Avaliação quali-quantitativa do Riacho Reginaldo e seus afluentes**. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2009.

POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007, 137p.

PRODANOFF, A. H. J. **Avaliação da poluição difusa gerada em meio urbano**. 2005. Rio de Janeiro: COPPE, 2005. Tese (Doutorado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), RJ, 2005, 275p.

PUSCH, Patrícia Barcelos. **Inventário de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2007, 96p.

RIGHETTO, Antônio Marozzi et al. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SARTOR, J.D., G.B., BOYD, 1972, **Water Pollution Aspects of Street Surface**

SILVA, André Henrique Carmo Luiz da. **Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de infiltração e vala de retenção**. 2009. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009, 169p.

SILVA, Regis Leandro Lopes. **Estratégia de Monitoramento em Apoio ao Licenciamento Ambiental em Trecho de Vazão Reduzida**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). 2012, 151p.

TOMAZ, Plínio. **Poluição Difusa**. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

UMEZAWA, P.K. **Previsão de Deplúvio (washload) em Rios de Áreas Elevadas**. 1979. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979, 217 p.

US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. PUBLIC HEALTH SERVICE. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). In **Toxicological Profile for Cadmium 1999; Toxicological Profile for Cooper 2002; Toxicological Profile for Lead 1999; Toxicological Profile for Zinc 2003**. Disponível em: www.atsdr.cdc.gov/toxicologicalprofiles/tp
Acessada em 02 de agosto de 2015.

US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. PUBLIC HEALTH SERVICE. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). In **Toxicological Profile for Cadmium 1999; Toxicological Profile for Cooper 2002; Toxicological Profile for Lead 1999; Toxicological Profile for Zinc 2003**. Disponível em: www.atsdr.cdc.gov/toxicologicalprofiles/tp

USDA (United States Department of Agriculture). **Urban hydrology for small watersheds. Technical Release**, n.55. Washington D. C., 1986.

USEPA. 6010B. **Inductively Coupled Plasma (ICP) Method**. Washington, DC, 1996.

VON SPERLING, M. 2006. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. v.1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 452p. 2011

Wang, L., Huang, Y.-F., Wang, G.-Q. Review of urban nonpoint source pollution models (2010) *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 31 (10), pp. 2532-2540

ZAFFANI, A. G. **Poluição Difusa da Drenagem Urbana com Base Ecohidrológica: Diagnóstico Atual e Cenários de Longo Prazo em Bacias Urbanas de São Carlos, SP**. 2012. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – SP, 2012.

WEIBEL, S.R., R. J. ANDERSON, R.L. WOODWARD, 1964, "Urban Land Runoff As a Factor in Stream Pollution", *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v. 36, pp. 914-924, Julho.