

Elisa Ferreira Pacheco.

**Avaliação Quali-quantitativa de uma Vala de Infiltração
Pluvial em Termos de Retenção de Contaminantes.
Estudo de Caso: Distrito do Campeche - Florianópolis
Santa Catarina"**

Dissertação submetida (a) ao
Programa de Pós-graduação
em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de
Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Ambiental.
Orientadora: Prof^a. Dra.
Alexandra Rodrigues Finotti

Florianópolis-SC
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca
Universitária da UFSC.

Ferreira Pacheco, Elisa

Avaliação Quali-quantitativa de uma Vala de Infiltração Pluvial em Termos de Retenção de Contaminantes. Estudo de Caso: Distrito do Campeche - Florianópolis- Santa Catarina" / Elisa Ferreira Pacheco ; orientador, ALEXANDRA FINOTTI - Florianópolis, SC, 2015. 170 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Técnicas Compensatórias. 3. Vala de Infiltração. 4. Qualidade do escoamento superficial. 5. Balanço Hídrico. I. Finotti, Alexandra. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título

Elisa Ferreira Pacheco

**Avaliação Quali-quantitativa de uma Vala de Infiltração
Pluvial em Termos de Retenção de Contaminantes.
Estudo de Caso: Distrito do Campeche - Florianópolis-
Santa Catarina**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do
Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental.

Florianópolis, seis de Novembro de 2015.

Prof. William Gerson Matias, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Nadia Bernardi Bonumá, Dra.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fábio Farias Pereira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cristiano Poeto, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Este trabalho é dedicado aos meus pais e aos meus filhos, minha origem e a minha continuidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a toda minha família, pelo amor, carinho e apoio em todo este período de aprendizado. Aos seres sagrados que me iluminaram e me manteram forte espiritualmente..

Agradeço aos meus filhos Aruanã José e Iara Flor, pela compreensão e eterno sorriso acolhedor e ao companheirismo e apoio de Julio Domingues Cechin pela paciência e compreensão.

Agradeço a todos os amigos e companheiros de trabalho Tais Bento, Fernando, Kalil, Alberto, Jakcemara e Aline pelas horas de dedicação em baixo de chuva e sol, para a concretização do projeto no qual foi feita o recorte da minha dissertação.

Agradeço à orientadora, Professora Dra. Alexandra Rodrigues Finotti, pelo enriquecimento técnico científico e a banca examinadora Prof.^a Dra.^a Nadia Bernardi Bonumá, Prof. Dr.Fábio Farias Pereira e ao Prof. Dr.Cristiano Poletto, por avaliar e complementar meu objeto de pesquisa.

A secretária de Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis pelo apoio operacional e de material, para implementação do projeto.

E por fim agradeço a UFSC e a CNPQ pelo apoio estrutural, intelectual e financeiro.

Não importa a perfeição com a qual podemos realizar aquilo que deve provir da vontade, mas sim que seja uma vez realizado o que deve surgir aqui na vida, mesmo se ainda surja imperfeito, de modo que um começo seja feito!

Herwig Hätinger, (1998)

RESUMO

As estruturas de infiltração pluvial visam o controle do escoamento superficial e da poluição difusa. No Brasil existe uma lacuna no sentido de integrar os impactos no ambiente subterrâneo com o estudo da drenagem urbana no que se refere tanto aos volumes infiltrados, qualidade do solo e quanto à qualidade das águas do escoamento superficial. Neste contexto esta dissertação visa avaliar o desempenho quali-quantitativo de uma vala de infiltração pluvial, instalada no Município de Florianópolis-SC, por intermédio da análise do comportamento hidráulico da estrutura e da caracterização quali-quantitativa do escoamento superficial. Este projeto foi realizado em acordo de cooperação com a prefeitura de Florianópolis-SC, implementando-se um laboratório de campo em escala real no Distrito do Campeche, para auxiliar a Prefeitura no refinamento de seus sistemas infiltração pluvial, adotados. A avaliação da estrutura foi composta pela instrumentalização e monitoramento quali-quantitativo da água do escoamento pluvial, para os seguintes parâmetros: condutividade, pH, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, Carbono orgânico total (COT), nutrientes (nitrito, fósforo total), metais pesados (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Fe e Mn). Para as amostras de solo foram realizadas às análises de granulometria, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), pH em H₂O e em KCl, teor de matéria orgânica, teor de Argila Dispersa em Água, e teor total dos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco. No controle do escoamento superficial a vala apresentou um ótimo desempenho hidráulico como técnica compensatória de Infiltração. Na caracterização qualitativa do solo este apresentou valores acima do valor de referência de qualidade, para todos os metais pesados, os valores de pH foram atípicos em consequência dos altos teores de matéria orgânica. Os valores turbidez, Cd, Pb e Cr na água do escoamento superficial ficaram acima do valor limite estabelecidos pelo CONAMA 357. Na Análise dos Componentes Principais da qualidade do escoamento superficial na ACP1 foi identificado o fenômeno de acúmulo de sedimentos nos período de estiagem, sendo a deposição de sólidos diretamente proporcional ao volume de escoamento na entrada da vala de infiltração. E uma segunda ACP2 foi caracterizada pela correlação da turbidez com matéria orgânica. Assim, a vala funciona como fonte de contaminantes para o ambiente subterrâneo devido ao tipo de solo arenoso e a alta concentração de contaminantes na água do escoamento superficial.

Palavras-chave: Vala de Infiltração, Comportamento Hidráulico e Caracterização quali-quantitativa.

ABSTRACT

The rain infiltration structures seek to control superficial runoff and diffuse pollution. In Brazil, there is a gap to integrate the impacts on underground environment with the study of urban drainage in relation to both infiltrated volumes, soil quality and the quality of the water runoff. In this context, this dissertation aims to assess the qualitative and quantitative performance of a rainwater infiltration trench, located in the municipality of Florianópolis-SC, through the hydraulic behavior analysis of the structure and qualitative and quantitative characterization of surface runoff. This project was conducted in cooperation agreement with the Municipality of Florianópolis, SC, implementing a full-scale field laboratory in the District of Campeche, to assist the City Hall in the refinement of their rainwater infiltration systems adopted. The evaluation of the structure was composed by instrumentation and qualitative and quantitative monitoring of water from runoff, for the following parameters: conductivity, pH, turbidity, total solids, dissolved solids, suspended solids, chemical oxygen demand, total organic carbon (TOC), nutrients (nitrite, total phosphorus), heavy metals (cobalt, chromium, cadmium, copper, lead, nickel, zinc, manganese and iron). For soil samples, it was conducted particle size analysis, Cation Exchange Capacity (CEC), pH in water (H₂O) and potassium chloride (KCl), organic matter content, dispersed clay content in water, and the total content of the following metals, cadmium, lead, copper, chromium, manganese, nickel and zinc. In controlling runoff, the drainage trench had a great hydraulic performance as a compensatory technique of infiltration. In the qualitative characterization of soil, it showed values above the quality reference value for all heavy metals, and pH values were atypical because of high levels of organic matter. The turbidity values, Cd, Pb and Cr in the water runoff were above the limit set by CONAMA 357. Analysis of the principal components of quality of runoff in ACP1 has identified the phenomenon of accumulation of sediments in the dry season, and the deposition of solids directly proportional to the volume flow at the entrance of the infiltration trench. In addition, the second ACP2 was characterized by correlation of the turbidity with organic matter. Thus, the infiltration trench functions as a source of contaminants to the subterranean environment due to the sandy soil type and the high concentration of contaminants in the water runoff.

Keywords: Infiltration ditch, Hydraulic Behavior and Qualitative and Quantitative Characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo da Revisão Sistemática Fonte: Adaptado de Brereton (2006).	9
Figura 2-Mapa semântico da Revisão sistemática	10
Figura 3-Concentração de Metais Pesados em sedimentos	25
Figura 4- Ciclo Hidrológico e o transporte de Contaminantes e Sedimentos. ..	27
Figura 5-Tipos de valas de infiltração (Fonte: Claytor, 1996).	42
Figura 6-Quadro síntese da estrutura da pesquisa.....	52
Figura 7- Localização do Distrito do Campeche.....	54
Figura 8 - Imagem dos recursos hídricos encontrados no Distrito do Campeche. (Fonte: PACHECO, 2014).....	57
Figura 9-Figura síntese para a seleção da estrutura a ser monitorada.	60
Figura 10-Vala de infiltração.....	61
Figura 11-Área de contribuição para vala de Drenagem.....	64
Figura 12- Croqui com os pontos de Monitoramento e Instrumentalização da Vala de Infiltração (P1, P2 e P3- Pontos de amostragem do solo).....	66
Figura 13- Pluviógrafo com datalogger.	67
Figura 14- Localização da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri. (Fonte: Google Earth. <i>Acessado</i> em junho de 2015).....	68
Figura 15-Amostrador Automático de Fluxo Ascendente.	69
Figura 16- Instalação do sensor de nível e do turbidímetro	70
Figura 17-Caracterização do solo	75
Figura 18-Síntese das atividades realizadas para análise do comportamento hidráulico da vala.....	76
Figura 19-Taxa de infiltração pelo ensaio dos Anéis Concêntricos.	81
Figura 20 - Croqui dos poços de Monitoramento	82
Figura 21-Curva Granulométrica.....	86
Figura 22-Triângulo para determinação de classes texturais. (USDA 1967)....	88
Figura 23- Variação longitudinal de Metais Pesados na Vala de Infiltração- ...	97
Figura 24- Gráfico da variação temporal de metais pesados no ponto 2A e 2B.	100
Figura 25-Gráfico da variação temporal de metais pesados no ponto 3A e 3B	101
Figura 26-Precipitações Médias Mensais do Pluviógrafo da Vala e infiltração e do pluviômetro de São José e da Lagoa do Peri.	102
Figura 27-Imagem Aérea da Avenida Pequeno Príncipe em 2002.	103
Figura 28- Imagem Aérea da Avenida Pequeno Príncipe em 2015.	103
Figura 29 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 04/08/14.....	109
Figura 30 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 25/08/2014.....	110

Figura 31 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 31/08/2014.....	112
Figura 33- Volumes acumulados 05/09/2015	113
Figura 33- Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em, 13/02/2015	115
Figura 34- Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em, 15/03/2015.....	116
Figura 36-Vala alagada.....	118
Figura 37- Comparativo entre os tempos e a porcentagem do volume infiltrado.	119
Figura 37-Comparativo das curvas de infiltração dos eventos monitorados na vala de infiltração	123
Figura 38-Box-plot Sólidos X eventos (A, B e C).....	136
Figura 39-Parâmetros físico-químicos x Eventos	139
Figura 40-Box-plot Matéria Orgânica X Eventos	139
Figura 41- Box-plot Metais x Eventos.....	141
Figura 42-Polutogramas Turbidez Evento de 04/08/2014 á 04/09/2014.....	150
Figura 43-Polutograma Turbidez dos eventos do dias 18/09/2014 á 15/03/2015	154
Figura 44-Analise da Concentração Média de Matéria Orgânica nos eventos.	155
Figura 45-Comportamento dos metais pesados por eventos	156
Figura 46- Descrição dos componentes principais do conjunto A: (a)Componentes principias referentes as 13 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos	158
Figura 47- Descrição dos componentes principais do conjunto B: a) Componentes principias referentes as 12 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos	159
Figura 48- Descrição dos componentes principais do conjunto C: a)Componentes principias referentes as 15 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos	161
Figura 49- Conjunto A. A) Composição dos fatores. B)Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1e fator 2) e variáveis segundo factor loading s..	163
Figura 50- Conjunto B-A) Composição dos fatores. B)Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1, 2, 3 e 4) e variáveis segundo factor loadings ..	164
Figura 51- Conjunto C-a) Composição dos fatores. b)Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1e fator 2) e variáveis segundo factor loadings...	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Uso de dispositivos de controle coletivo da drenagem urbana nos Brasil	5
Tabela 2 - Bibliometria para identificação dos estudos relevantes	12
Tabela 3-Levantamento histórico dos artigos pesquisados.	13
Tabela 4-Principais contaminantes da água do escoamento pluvial	17
Tabela 5-Característica dos metais pesados.....	22
Tabela 6-Características dos pilotos e resultados dos projetos de trincheiras de infiltração.....	36
Tabela 7-Características dos pilotos e resultados dos projetos de sistemas Filtro-Vala e Trincheira de Infiltração	37
Tabela 8-Características dos pilotos e resultados dos projetos de poços de infiltração.....	38
Tabela 9-Eficiência de remoção de contaminantes por estruturas de infiltração	40
Tabela 10-Dados de remoção de poluentes em Valas Gramadas.....	49
Tabela 11-Projetos compilados para caracterização hidrográfica.	55
Tabela 12-Instrumentalização da Vala de Infiltração	67
Tabela 13- Níveis dos frascos de coleta do amostrador automático.	70
Tabela 14-Programa de Amostragem monitoramento do solo.....	72
Tabela 15 - Programa de amostragem monitoramento da Água do Escoamento superficial. (* mesmos equipamentos de ST).	73
Tabela 16-Separação e Conservação das amostras.	74
Tabela 17-Sinopse da Precipitação (1948-2015).	77
Tabela 18-Teste dos Flutuadores	79
Tabela 19-Caracterização Granulométrica do solo	87
Tabela 20-Análise da uniformidade das curvas granulométricas do solo da vala de infiltração	89
Tabela 21-Características químicas do solo da vala de infiltração.....	90
Tabela 22-Concentração de metais pesados (mg/kg)- Pontos 1 e 2.	92
Tabela 23-Concentração de metais pesados (mg/kg)-Ponto 3	92
Tabela 24-Estatística Descritiva- Perfil A (0-20cm).....	94
Tabela 25-Estatística Descritiva- Perfil B (20-40cm).....	95
Tabela 26-Correlação entre os parâmetros de solo analisados.....	96
Tabela 27- Valores de referência de qualidade para os Metais Pesados analisados em mg/kg.....	98
Tabela 28- Características dos eventos de precipitação selecionados para estudo da vala.....	104
Tabela 29-Dados quantitativos da vala de Infiltração.....	107
Tabela 30-Síntese do Comportamento Hidráulico da Vala de Infiltração	117

Tabela 31-Correlação de student para os dados quantitativos	121
Tabela 32-Taxa de Infiltração por evento.	124
Tabela 33-Matriz da Avaliação da Vala como Técnica Compensatória	125
Tabela 34 - Eventos Selecionados para Análise do escoamento superficial ...	127
Tabela 35-Parâmetros de qualidade e método de cálculo das concentrações nas amostras dos eventos.	129
Tabela 36-Resultados das análises qualitativas da água do Escoamento	131
Tabela 37-Estatística Descritiva dos Parâmetros Analisados.....	132
Tabela 38-Correlação paramétrica de Pearson (Metais Pesados)	143
Tabela 39-Correlação paramétrica de Pearson (Nutrientes)	144
Tabela 40-Correlação paramétrica de Pearson (Matéria Orgânica)	144
Tabela 41-Correlação de Spearman	145
Tabela 42-Correlação de Kendall Tau	146

LISTA DE ABREVIATURAS

Alc- Alcalinidade

Cond- Condutividade

CASAN- Companhia Catarinense de água e esgot

D- Dias antecedentes sem chuva COT - Carbono Orgânico Total

DQO TOTAL-Demanda Química de Oxigênio Total

DQO SOLUVEL- Demanda Química de Oxigenio Soluvel

Hs - Cota de entrada

IPUF- Instituto de planejamento Urbano de Florianópolis.

LIMA - Laboratório Integrado do meio Ambiente.

LARESO-. Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos

PMF- Prefeitura Municipal de Florinópolis

RSL- Revisão Sistemática da Literatura

TURB_LAB- Turbidez laboratório

TURB.-Turbidez Turbidímetro

ST- Sólidos Totais

SDT- Sólidos Dissolvidos Totais

SST- Sólidos Suspensos Totais

Vin - Volume de Entrada/montante

Vs- Volume de Saida

V infil- Volume Infiltrado

t_{asc}- Tempo de ascensão do hidrograma

USDA- United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

RESUMO	26
LISTA DE FIGURAS.....	26
LISTA DE TABELAS.....	28
LISTA DE ABREVIATURAS	30
SUMÁRIO	31
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	4
1.2. OBJETIVOS	7
1.2.1. Objetivo geral	7
1.1.1. Objetivos Específicos	7
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	14
2.2 FENÔMENOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLOGICOS NO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES PARA O AMBIENTE SUBTERRÂNEO.....	26
2.3 TÉCNICAS ALTERNATIVAS: ESTRUTURAS DE INFILTRAÇÃO	34
2.3.1 <i>Valas de Infiltração</i>	<i>41</i>
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 ÁREA DE ESTUDO	53
3.1.1 <i>Localização da área de estudo</i>	<i>53</i>
3.1.2 <i>Estudo Hidrográfico do Distrito do Campeche</i>	<i>55</i>
3.1.3 <i>Seleção da estrutura de infiltração para monitoramento.....</i>	<i>59</i>
3.1.4 <i>Caracterização da vala de infiltração.....</i>	<i>60</i>
3.2 INSTRUMENTALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DA VALA DE INFILTRAÇÃO	65
3.2.1 <i>Amostrador automático.....</i>	<i>69</i>
3.2.2 <i>Programa de amostragem</i>	<i>71</i>
3.2.3 <i>Amostragem, separação e conservação da amostra.</i>	<i>74</i>
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	75
3.4 COMPORTAMENTO HIDRAULICO DA VALA DE INFILTRAÇÃO	76

3.4.1	<i>Análise dos Dados de Precipitação</i>	76
3.4.2	<i>Avaliação Quantitativa da vala de infiltração</i>	78
3.4.3	<i>Avaliação da taxa de infiltração</i>	81
3.5	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	82
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	85
4.1.1	<i>Caracterização Física do Solo</i>	85
4.1.2	<i>Análise qualitativa do solo</i>	90
4.2	ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	101
4.3	COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DA VALA DE INFILTRAÇÃO	105
4.3.1	<i>Avaliação quantitativa da Vala de infiltração</i>	105
4.3.2	<i>Balanco Hídrico da Vala de Infiltração</i>	106
4.3.3	<i>Correlação entre os dados quantitativos</i>	120
4.3.4	<i>Avaliação da taxa de infiltração na Vala de Infiltração</i>	122
4.3.5	<i>Matriz de Avaliação da vala de infiltração como Técnica Compensatória de Drenagem Pluvial</i>	124
4.4	QUALIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	126
4.4.1	<i>Seleção dos eventos analisados</i>	126
4.4.2	<i>Análise estatística dos dados</i>	130
4.4.2.1	<i>Análise exploratória dos dados</i>	142
4.4.2.2	<i>Correlação entre os parâmetros</i>	142
4.5	CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DO COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS POR EVENTO 147	
4.5.1	<i>Turbidez</i>	147
4.5.2	<i>Matéria Orgânica</i>	155
4.5.3	<i>Metais</i>	156
4.6	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	157
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHO FUTUROS	167
6	RECOMENDAÇÕES.....	170
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	171

1 INTRODUÇÃO

Os estudos da hidrologia urbana e dos sistemas de drenagem urbana passaram por uma revolução no final da década de 60, abandonando a mentalidade higienista, e aprimorando a fase de racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos. Nesta época os conflitos entre as cidades e o ciclo hidrológico (Silveira, 2000) começam a ficar evidentes e levaram a mudanças do paradigma da drenagem urbana, que até aquele momento estava baseado somente no rápido escoamento hidráulico das águas do escoamento superficial. A partir da década de 70 na Europa e na América do Norte surgiu o conceito de “Tecnologias alternativas” ou “Compensatórias” de drenagem (alternativas em relação às soluções clássica de drenagem e compensatórias no sentido de compensar os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico) (BAPTISTA, 2005).

O primeiro registro de implantação de técnicas compensatórias no Brasil data da década de 40, a bacia de detenção de Santa Lúcia localizada na bacia hidrográfica do córrego do Leitão, em Belo Horizonte (FONSECA, 2006). A bacia entrou em operação em 1953, com um volume de espera da ordem de 300.000 m³. Na cidade do Rio de Janeiro a mudança de paradigma foi pontual em que as práticas tradicionais foram substituídas por medidas que contemplavam o armazenamento temporário (FONSECA, 2007). Em Porto Alegre, o primeiro reservatório de detenção construído no município foi em 1999, na Praça Julio Andreatta, sendo que o reservatório possui funções urbanísticas (praça) e de lazer (quadra esportiva), exemplificando o uso associado de medidas alternativas e o planejamento urbano (FORGIARINI, 2010). A partir destas experiências há registros da aplicação de técnicas compensatórias no Brasil em várias regiões. Mas a publicação de estudos sistemáticos sobre o desempenho destas técnicas é bem recente. Iniciou-se

somente em 1994, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), em Porto Alegre.

Apesar de terem aumentado bastante os estudos envolvendo as técnicas compensatórias no Brasil nos últimos anos, a grande variabilidade climática do país e a diferença dos climas brasileiros em geral, para aquelas nos quais estas técnicas foram originalmente concebidas, trazem justificativas suficientes para a necessidade de aprofundamento da sua pesquisa. No sentido de trazer subsídios para o desenvolvimento de normas de concepção, operação e manutenção de estruturas alternativas de manejo de águas pluviais.

Uma das grandes preocupações no manejo das águas pluviais recai sobre o risco de poluição do ambiente subterrâneo, pelas técnicas compensatórias baseadas na infiltração. O monitoramento desses sistemas traz uma maior compreensão das interfaces entre os fenômenos de escoamento, infiltração e percolação das águas pluviais, prevenindo possíveis impactos nos recursos hídricos pela poluição difusa.

Assim, ao se avaliar o desempenho de técnicas compensatórias baseadas na infiltração (trincheiras de infiltração, vala de detenção, pavimento bacias de detenção e retenção), considerando as características climáticas e ambientais reais de campo através da instrumentalização e monitoramento das estruturas, se cria subsídios para a ampliação do uso de técnicas compensatórias pelos municípios.

A intenção é contribuir para inverter o paradigma da drenagem tradicional ainda largamente implementado no Brasil, através da utilização das técnicas compensatórias. Em função da sua condição climática e de relevo, o município de Florianópolis faz uso de estruturas de infiltração de águas de drenagem urbana desde a década de 70. Em muitas situações as estruturas de infiltração não

tem a concepção de técnica compensatória propriamente dita apesar de desempenharem a mesma função.

Esta pesquisa foi realizada em parceria com a Prefeitura de Florianópolis, visando avaliar o desempenho quali-quantitativa de uma vala de infiltração implantada na cidade de Florianópolis, Distrito do Campeche. O intuito é de verificar seu funcionamento dentro do contexto das técnicas compensatórias, aumentar o entendimento sobre a função hidrológica e de controle da poluição da estrutura, no sentido de subsidiar seu uso pelo poder público. E desta forma tornar a drenagem urbana do município mais sustentável com a aplicação dos resultados obtidos a partir deste trabalho em outras estruturas semelhantes que estão em operação.

A análise desta estrutura foi composta pela caracterização da bacia hidrográfica do Rio Tavares, pela caracterização da vala de infiltração e pela caracterização físico-química do solo. A avaliação da estrutura foi composta pela instrumentalização e monitoramento quali-quantitativo da água do escoamento pluvial, para os seguintes parâmetros: condutividade, pH, alcalinidade total, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, Carbono orgânico total (COT), nutrientes (nitrito, fósforo total), metais pesados (cobalto, cromo, cádmio, cobre, chumbo, níquel, zinco, manganês e ferro). Para as amostras de solo foram realizadas às análises de granulometria, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), pH em H₂O e em KCl, teor de matéria orgânica, teor de Argila Dispersa em Água, e teor total dos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco. Finalmente foram avaliados os aspectos hidrológicos, hidráulicos e de qualidade das águas de escoamento superficial e sua interação com a vala de infiltração.

1.1. JUSTIFICATIVA

No saneamento, uma das áreas mais carentes de investimento e grande geradora de prejuízos econômicos para o Brasil é a drenagem urbana, sendo inúmeras as perdas econômicas, ambientais e sociais devido às enchentes e inundações. Em 2008 através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, ficou evidenciada a grave situação das águas pluviais no Brasil. Dos municípios avaliados 94% possuem serviços de manejo das águas pluviais, sendo que 40% do total dos municípios sofreram inundações e/ou alagamentos na área urbana, nos últimos cinco anos e aproximadamente metade destes municípios (19%), que sofreram inundações eram áreas de baixios naturalmente inundáveis, ocupadas irregularmente e/ou inadequadamente. Somente 12% dos municípios avaliados possuem algum dispositivo coletivo de detenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas.

Neste contexto as técnicas compensatórias de Drenagem Urbana, auxiliariam na prevenção de enchentes e inundações, recuperando as funções hidrológicas da bacia perdidas durante a urbanização ou compensando os efeitos da urbanização sobre os processos e componentes do ciclo hidrológico. Segundo Silveira (2006), o Brasil se encontra em uma fase de transição entre as práticas higienistas e as ambientais, muitas capitais, como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba, estão promovendo ações no sentido de estabelecer planos diretores de drenagem urbana, baseados nos preceitos ambientais, planejando a drenagem urbana de forma integrada ao planejamento ambiental das cidades. Porém, ainda são poucos os locais que possuem normas de dimensionamento, monitoramento e manutenção.

Não existe no Brasil um levantamento global sobre o uso de estruturas alternativas de drenagem urbana. Entretanto a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) traz a informação sobre o uso de

dispositivos de controle coletivo de drenagem urbana (Tabela 1), localizados especialmente fora dos cursos d'água, visto que dentro do curso d'água são utilizados basicamente os reservatórios com zona de amortecimento de cheias. Na Tabela 1 é apresentado um panorama do uso de medidas alternativas no controle da drenagem urbana, por regiões brasileiras. Sendo que a região sul possui apenas 13,55% dos municípios com algum dispositivo coletivo de drenagem urbana, e só em 2014 o oeste de Santa Catarina obteve um prejuízo de 247 milhões devido a inundações.

Tabela 1- Uso de dispositivos de controle coletivo da drenagem urbana nos Brasil (IBGE, 2008).

Unidades da federação	Municípios						
	Com dispositivo para controle coletivo da drenagem urbana						
			Localização				
	Total	Total	No curso d'água		Fora curso d'água		
Brasil	5564	665	11,95%	442	7,94%	306	5,50%
Norte	449	31	6,90%	26	5,79%	9	2,00%
Nordeste	1793	92	5,13%	61	3,40%	34	1,90%
Sudeste	1668	271	16,25%	181	10,85%	127	7,61%
C. Oeste	466	110	23,61%	72	15,45%	58	12,45%
Sul	1188	161	13,55%	102	8,59%	78	6,57%

Assim, o Brasil carece de pesquisas que avaliem o desempenho das técnicas alternativas de manejo de águas pluviais de forma integrada, considerando as características hidrológicas, climatológicas e pedológicas brasileiras no sentido de incentivar a implementação das técnicas compensatórias no projeto urbanístico, visando não só ao lazer e ao bem estar, como também, a diminuição dos custos finais da infraestrutura da cidade (ALVES,2007). Portanto, apesar de alguns grupos brasileiros já lidarem bastante com o estudo da drenagem urbana existe uma lacuna no sentido de integrar os impactos no ambiente subterrâneo com o estudo da

drenagem no que se refere tanto aos volumes infiltrados, qualidade do solo e quanto à qualidade das águas do escoamento superficial. Pois as estruturas de infiltração além de realizarem o controle do escoamento superficial, também atuam no controle da poluição difusa.

No município de Florianópolis-SC são utilizados dispositivos de infiltração de águas pluviais desde a década de 70, porém muitos deste se tornaram obsoletos, devido a processos de colmatção e de soterramento. Obras de drenagem alternativas de retenção e infiltração quando mal dimensionadas e sem manutenção tornam-se fontes de contaminação e poluentes para as águas superficiais e subterrâneas, gerando problemas ambientais, econômicos e de saúde pública para a sociedade. A carga de poluição nas águas pluviais pode ser tão nociva quanto a dos esgotos domésticos, na mesma ordem de grandeza, não podendo ser desprezada quando se trata da qualidade do meio receptor (DE LUCCA, 1985; CHEBBO, 1992; CAMPANA, 2012). As redes de drenagem urbana são as principais responsáveis pelo transporte de cargas poluidoras (BRITES 2007). Neste contexto foi realizado no projeto um acordo de cooperação com a prefeitura de Florianópolis-SC, foi desenvolvido um laboratório de campo em escala real no Distrito do Campeche, para auxiliar a Prefeitura no refinamento de seus sistemas de infiltração pluvial. Esta pesquisa avaliou o desempenho quali-quantitativo de uma vala de infiltração, com o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre as interfaces da hidrologia e hidrogeologia urbana, caracterizando o desempenho desta estrutura como técnica compensatória e avaliando o comportamento hidráulico no controle do escoamento superficial e no processo retenção de contaminantes para o ambiente subterrâneo. Assim trazendo soluções técnicas que atendam ao planejamento ambiental mais amplo.

A justificativa ambiental deste trabalho esta na avaliação qualitativa da água do escoamento superficial e

seu impacto nos ambientes subterrâneos, por intermédio da instrumentalização e monitoramento da vala de infiltração. Ampliando no contexto nacional, os estudos integrados das características quantitativas e qualitativas das águas pluviais.

A pesquisa se justifica também por estar inserida dentro da gestão da drenagem urbana junto aos órgãos responsáveis por sua implementação e gestão (a secretaria de obras do município), propiciando o conhecimento da dinâmica das interações entre as atividades de desenvolvimento, ocupação e uso do solo com a infraestrutura de apoio, a qualidade ambiental, a qualidade de vida da população, e mudando o paradigma dos sistemas de drenagem para a região. A abordagem é complexa e inclui aspectos técnicos de engenharia, sanitários, ecológicos, legais e econômicos, além de exigir uma conexão muito mais estreita com a concepção e gestão dos espaços urbanos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar quali-quantitativamente o desempenho de uma vala de infiltração de águas pluviais implantada no município de Florianópolis.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Caracterizar qualitativamente o solo como meio filtrante dos contaminantes do escoamento superficial.
- Avaliar o Comportamento Hidráulico de uma vala de infiltração no controle do escoamento superficial e seu funcionamento como técnica compensatória de drenagem.
- Caracterizar quali-quantitativamente a água do escoamento superficial.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 1 é apresentado a Introdução, Justificativa e Objetivos.

O Capítulo 2 se refere à Fundamentação teórica, abordando os conceitos pertinentes para avaliar a qualidade do escoamento superficial e as metodologias adotadas para avaliação da variação temporal e espacial das cargas de contaminantes presentes na água do escoamento e no solo, estudados no Brasil e no exterior. E avaliação do desempenho hidráulico de uma vala de infiltração.

No Capítulo 3 é apresentado todo o procedimento metodológico utilizado para a caracterização quantitativa e qualitativa do escoamento superficial e do solo, instrumentalização e monitoramento da vala de infiltração e a metodologia de tratamento e análise dos dados coletados e a interface entre o solo e a água do escoamento superficial.

O Capítulo 4 traz os principais resultados e contribuições científicas geradas nesta pesquisa: Metodologia de análise de solos para estruturas de infiltração, variação espacial e temporal do aspectos físico-químicos do solo e da água do escoamento superficial, comportamento hidráulico da vala de Infiltração e a interface dos contaminantes presentes na água do escoamento superficial com o ambiente subterrâneo.

No Capítulo 5 é apresentado as conclusões

No Capítulo 6 às Recomendações para trabalho futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Foi adotado o procedimento metodológico proposto por Brereton (2007), em que a RSL é desenvolvida em três fases principais: o planejamento, a realização da revisão, e a análise dos resultados. Estas fases são subdivididas em 10 estágios principais apresentados na Figura 1 e detalhados do decorrer do trabalho.

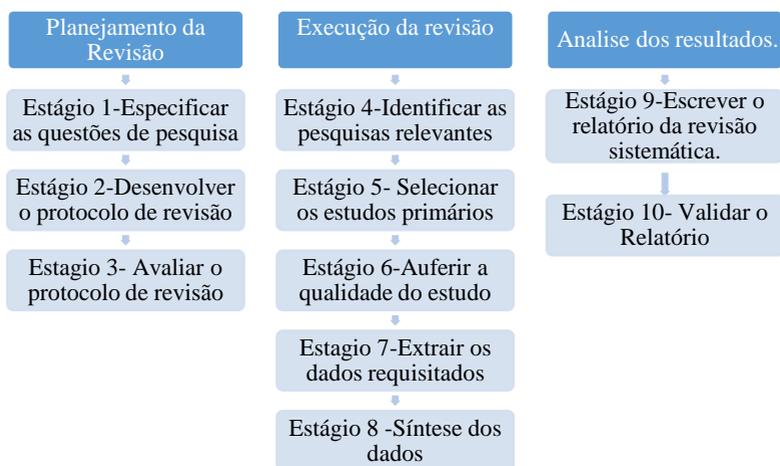


Figura 1- Processo da Revisão Sistemática Fonte: Adaptado de Brereton (2006).

Assim, o uso de estruturas de infiltração pluvial deve ser precedido de um estudo sistemático de concepção da estrutura, onde pontos importantes como qualidade do escoamento, tipos de poluentes, uso e ocupação do solo, caracterização físico química do solo e avaliação das interfaces da estrutura com os recursos hídricos da região,

e bem como a estrutura irá impactar na qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Estudos de caracterização da qualidade do escoamento superficial são realizados desde a década de 60, já estudos de caracterização da qualidade dos sedimentos se remetem a 1910, porém são incipientes os estudos que avaliam a interface dos poluentes do escoamento superficial com os sedimentos e a disponibilidade destes em termos de migração para o ambiente subterrâneo. Portanto, após tantos anos de pesquisa e análises da qualidade do escoamento, surge à necessidade de se sintetizar estes dados através de uma revisão sistemática, realizando uma avaliação crítica da forma que tem sido realizado o monitoramento das águas do escoamento superficial e sua interface com o ambiente subterrâneo, através do uso de estruturas de infiltração. Na Figura 2 é apresentado o mapa Semântico utilizado para estruturar a revisão.

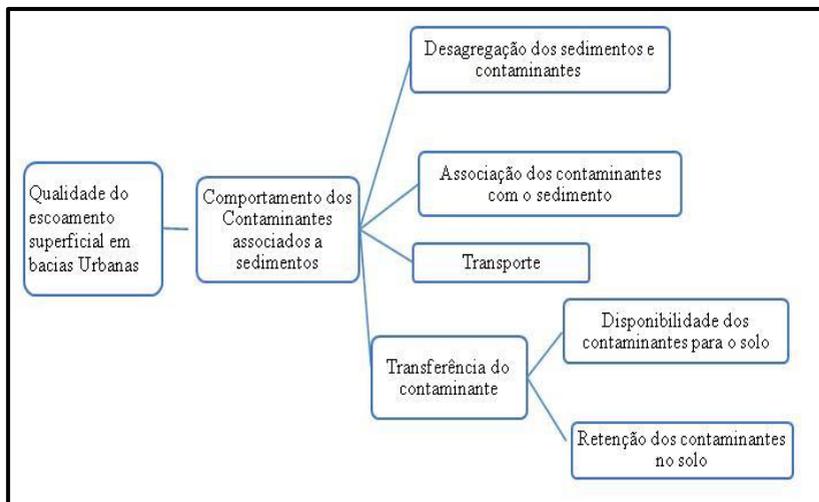


Figura 2-Mapa semântico da Revisão sistemática

Questão principal

Quais são os principais impactos e abordagens científicas sobre o transporte e transferência de contaminantes das águas do escoamento superficial para o ambiente subterrâneo, por técnicas compensatórias de Manejo de Águas pluviais?

Questões secundárias

Como têm sido avaliados os impactos das estruturas de infiltração no ambiente subterrâneo?

Quais são os principais programas de amostragem, instrumentalização e monitoramento das estruturas de infiltração?

Qual é a trajetória dos contaminantes associados a sedimentos no ciclo hidrológico urbano?

Qual o nível de detalhamento dos fenômenos de desagregação, associação, transporte e transferência dos contaminantes para o ambiente subterrâneo?

Quais os principais estudos sobre a disponibilidade e retenção de contaminantes por estruturas de infiltração pluvial?

Termos de busca. A seleção dos termos de busca foi realizada segundo a metodologia sugerida por Kamei (2011), em que se derivam as palavras chave a partir das questões de pesquisa. Seleccionadas as palavras chave foram identificados seus sinônimos e a identificação dos termos técnicos equivalentes em inglês.

Operadores booleanos. Os operadores booleanos seleccionados or que é utilizado para agrupar sinônimos e palavras relacionadas e o operador and que agrupa cada conjunto de termos.

Bases de dados. Estas palavras foram pesquisadas primeiramente na base de dados Periódicos Capes. Segundo no Banco de Teses da Capes, pois muitas pesquisas estão no formato de teses, conferindo no banco de dados do currículo Lattes dos autores se existe

publicação de artigos, facilitando a identificação dos periódicos nos quais os trabalhos foram publicados para, então se proceder à extração dos dados. Terceiro, foi ampliada a pesquisa para outros países nas bases da Web of Science, Springerlink e Elsevier. Na Tabela 2 é apresentada a Bibliometria dos estudos relevantes.

Tabela 2 - Bibliometria para identificação dos estudos relevantes

Palavras-chaves.	1	2	3	4	5
Águas pluviais and escoamento superficial and monitoramento	2	10	553	121 8	870
Águas pluviais and sedimentos	8	14	115	110	142
	7		7	9	9
Qualidade da água do escoamento superficial and sedimentos	6	17	228	156	592
			1	8	6
Mecanismos de associação sedimentos-contaminantes	2	5	9	5	121
					3
Transporte de contaminantes and sedimentos and escoamento superficial	3	9	199	519	157
	2				5
Transferência contaminantes and sedimentos and infiltração	2		5	329	172
					6
Infiltração or percolação and sedimentos	1		311	16	661
			8		2
Processos físico-químicos and escoamento and infiltração	1	3	9	948	198
Micropoluentes and águas pluviais e sedimento	0	0	6	54	48
Micropoluentes and infiltração e sedimentos	0	0	6	4	49
Elementos de traço or metais pesado and escoamento pluvial e sedimentos	0	1	55	8	483
Elementos de traço or metais pesado and infiltração e sedimentos	0	0	43	7	786
Disponibilidade de contaminantes and águas pluviais and ambiente subterrâneo	1	0		90	222
Retenção de contaminantes and solo	7	19	558	41	237
	2				
Nacional: (1) Periódicos da Capes; (2) BDTD.					
Internacional: (3) Web of Science; (4) Periódicos da Capes; (5) Springer Link ⁵ .					

Algumas palavras-chaves escolhidas a partir do mapa semântico da revisão sistemática se mostraram muito genéricas levando ao distanciamento do objetivo desta revisão sistemática, assim foi refeita a pesquisa com o tema principal sendo "Impacto das Técnicas Compensatórias no ambiente subterrâneo, com foco em estruturas de infiltração". Assim foi feito o levantamento bibliográfico refinando os artigos encontrados na base de dados mais completa.

Nas pesquisas primárias buscadas por título e resumo dos artigos, foram selecionados 170 artigos e após realizar os critérios de exclusão analisou-se 53 artigos. De acordo com o levantamento histórico do tema pesquisado existem artigos publicados desde a década de 10 (Tabela 3). Assim, restringiram-se as análises dos artigos para o período de 2010 á 2015.

Tabela 3-Levantamento histórico dos artigos pesquisados.

Palavras-chaves	Data das primeiras publicações.
Stormwater and sediment	1978
Water Quality runoff and sediment	1951
Association mechanisms sediments and contaminants	1997
Transport contaminants and sediments	1910
Transfer contaminants and sediments and infiltration	1920
Infiltration or percolation and sediments	1965
Physical-chemical processes and runoff and infiltration	1963
Micropollutants and storm waters and sediment	1967
Micropollutants and ifiltração and sediment	2014
Trace elements or heavy metals and storm water runoff and sediment	1998
Trace elements or heavy metals and infiltration and sediment	1989
Availability of contaminants and storm waters and underground environment	1967
Retention contaminant and soil	1938

Foi definida uma estratégia para a extração dos dados dos artigos para ser seguida pelos membros da equipe designados para tal. Foi utilizado um formulário para levantamento e extração dos dados relevantes nos artigos selecionados. O formulário foi organizado em 4 etapas principais:

Etapa 1-Instrumentalização e monitoramento de estruturas de Infiltração Pluvial.

Etapa 2-Trajetória dos contaminantes associados a sedimentos no ciclo hidrológico urbano.

Etapa 3-Fenômenos de desagregação, associação, transporte e transferência dos contaminantes associados a sedimentos.

Etapa 4- Principais estudos sobre a disponibilidade e retenção de contaminantes por sistemas alternativos de drenagem urbana?

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A qualidade da água de escoamento é um elemento importante para a gestão de estruturas de infiltração, pois tem um impacto direto sobre: (i) colmatação e funcionamento da estrutura, (ii) o possível impacto da estrutura no terreno, na água subterrânea ou ambientes aquáticos a jusante. Além disso, um bom conhecimento dos poluentes na água de escoamento (concentração, tamanho de partícula, distribuição de partículas e dissolvida) é necessário para compreender os mecanismos que irão ser utilizados no tratamento desta água (LE COSTUMER (2008)).

A água do escoamento superficial contém uma variedade de partículas de diferentes tamanhos, texturas, composições e fontes. Estes sólidos podem ser considerados como transportadores de nutrientes, metais e elementos tóxicos no meio ambiente urbano. São diversas

as fontes de poluentes tais como: freios de automóveis, resíduos de pneus, resíduos de pinturas em geral, fezes de animais, resíduos de ferro, zinco, cobre e alumínio de materiais de construção, deposição seca e úmida de particulados de hidrocarbonetos, restos de vegetação, derramamentos, erosão fuligem, poeira, enxofre, metais, pesticidas, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos silicatos, cinzas, compostos químicos e resíduos sólidos, entre outros (DIAS, 2010).

Os sólidos são um dos poluentes mais significativos gerados pelo desenvolvimento das áreas urbanas e seu impacto é agravado pelo escoamento superficial. Os sólidos são desagregados em toda a bacia hidrográfica devido ao efeito da energia gerada com a precipitação sobre o solo (SOUZA, 2014). Cada fase dos sólidos está associado a um tipo de contaminante e impacto no meio ambiente urbano, segundo Silva (2009), os sólidos em suspensão possuem média variação nas águas pluviais urbanas causando problemas estéticos, depósitos de lodo, adsorção de poluentes e constituem abrigo de patógenos. Os sólidos dissolvidos totais podem causar salinidade excessiva, toxicidade a plantas e problemas de permeabilidade do solo.

A associação dos contaminantes aos sólidos, também são condicionadas pelo pH, sendo que este contribui para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; e em outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.

Os Metais pesados transportados pelo escoamento superficial são poluentes de particular interesse, devido à sua toxicidade e o fato de que os metais não podem ser quimicamente transformados ou destruídos. De forma generalizada, os níveis de metais encontrados no escoamento de áreas urbanas seguem a seguinte ordem: zinco (20-5000 µg/l) > Cobre ≈ chumbo (5-200 µg/l) > cádmio (< 12 µg/l) (GOMES, 2004). As fontes de metais são numerosas no escoamento urbano e o mecanismo de

lançamento é complexo. O fluxo dos metais, ou seja, a quantidade de metais presente no escoamento superficial depende das características do uso do solo, dos componentes e matérias específicos empregados na área de drenagem, da intensidade da chuva, entre outros (Davis et al., 2001).

Foram encontrados 44 trabalhos sobre qualidade da água do escoamento superficial em território nacional, sendo selecionados 10 trabalhos mais relevantes para esta revisão. Na Tabela 4 são apresentados os principais contaminantes estudados em território nacional e os objetivos destas pesquisas ao estudar a qualidade do escoamento superficial. Portanto nacionalmente os aspectos qualitativos do escoamento superficial foram estudados por diferentes vertentes, na eficiência de remoção de contaminantes, na caracterização dos contaminantes e na análise dos fenômenos de carga de lavagem. Porém, nacionalmente só foi identificado o trabalho da Belotti (2011) que avaliou o impacto dos contaminantes da água do escoamento no risco de contaminação do ambiente subterrâneo pelo escoamento infiltrado e a capacidade de retenção dos contaminantes pelo solo.

Tabela 4-Principais contaminantes da água do escoamento pluvial

Autores/ Estudo	Principais contaminantes	Objetivo do estudo
Brites, 2005 Duas Bacias Hidrográficas em Santa Maria-RS	Sólidos suspensos totais (SST), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), coliformes totais e termotolerantes.	Avaliar as cargas de resíduos sólidos e de poluentes da água veiculados pela rede de drenagem urbana.
Paz, 2004 Duas Bacias Hidrográficas em Santa Maria-RS	Sólidos suspensos, condutividade, pH, DBO5, OD, coliformes totais e fecais e temperatura da água.	Avaliar a existência e natureza do fenômeno da carga de lavagem gerada pelo escoamento superficial na qualidade das águas da Bacia Hidrográfica Alto da Colina, no município de Santa Maria, RS.
Silva, 2009 Áreas impermeáveis em Santa Maria - RS	Para as amostras de sedimento seco, foi realizada determinação dos seguintes parâmetros: sólidos suspensos totais, turbidez, demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo. Para as amostras de sedimento em suspensão foram determinados além dos parâmetros citados, turbidez e sólidos totais e suspensos.	Quantificar os poluentes ligados aos diversos tamanhos dos sedimentos de superfícies impermeáveis e da Microdrenagem.
Ferreira, 2008 Duas bacias de drenagem na cidade de Natal/RN	pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Cor, Turbidez, DQO, Amônia, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, Ortofosfato, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos totais, Cloretos, Sulfatos, Alcalinidade, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Metais Pesados (Cromo, Cádmio, Chumbo, Zinco e Cobre), Eschichia coli e Coliformes Totais.	Estudar a variação da qualidade da água de duas bacias de drenagem na cidade de Natal/RN-Brasil de modo a subsidiar a aplicação de práticas de drenagem que considerem o aspecto qualitativo, bem como identificar potencial para o uso dessas águas.

Gutierrez, 2011 Sistema F-V-T	Turbidez, Cor Aparente, Condutividade Elétrica, DQO, Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Sólidos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Cloreto, Sulfato, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco.	Avaliar a qualidade da água atmosférica da chuva e o efeito de um sistema constituído de filtro de grama, vala e trincheira de infiltração, construído em escala real, na melhoria da qualidade do escoamento superficial direto.
Canpana, 2007 Bacias de Detenção	Foram analisados temperatura e sólidos em suspensão, pH, condutividade (quantidade de sais) e metais pesados, orto-fosfato e nitrato. Os parâmetros utilizados para análise de matéria orgânica contida na água foram DBO, DQO e óleos e graxas. E Coliformes totais e termotolerantes.	Analisar da eficiência de duas bacias de detenção – uma seca e outra alagada – no controle de inundações abordando os aspectos quantitativo e qualitativo do escoamento proveniente da rede de drenagem pluvial da cidade de Brasília – DF, Brasil.
Gomes, 2004 Rede de Drenagem	Os parâmetros de qualidade analisados foram: temperatura, pH, condutividade, DBO, DQO, orto-fosfato, nitrato, coliformes totais e termotolerantes, sólidos em suspensão, metais e óleos e graxas. O zinco, níquel, ferro e manganês.	Analisar dos aspectos qualitativos e quantitativos do escoamento de drenagem pluvial de uma área urbana localizada em Brasília-DF.
Menezes, 2007 Túnel Rebouças - RJ,	Sólidos totais, sólidos suspensos totais, condutividade, pH, alcalinidade total, óleos e graxas, DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo total, BTEX, cromo, cádmio, cobre e chumbo.	Avaliar através de alguns parâmetros físico-químicos de qualidade de água, os efluentes de precipitações pluviométricas e de águas de lavagem de pista coletados, com a finalidade de quantificar os poluentes oriundos do tráfego de veículos, no eixo viário num determinado intervalo de tempo.
Costa, 2013 Bacia do Lago Paranoá	DQO, o nitrogênio e o fósforo, além de parâmetros físicos como a turbidez, condutividade e sólidos.	Analizou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial em eventos de cheia e pela modelagem matemática, com o modelo SWMM.
Kemerich, 2013	Cloretos, Condutividade Elétrica, Cor, Flúor, Oxigênio Dissolvido, pH, Potássio, Sódio, Sólidos Sedimentáveis.	Determinar as características físicas e químicas da água oriunda do escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí- Mirim, utilizando o método “Cornell Sprinkle Infiltrometer”.

Em Paris foi realizado o monitoramento de uma bacia para análise da carga de sedimentos e contaminantes gerados em uma Bacia hidrográfica, que adotava uma rede combinada de águas pluviais e residuárias. Os resultados obtidos mostraram uma alteração na qualidade do escoamento a montante e a jusante da rede unitária. Em particular, um aumento foi observado nas concentrações de SS (Sólidos Suspensos), DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO_{5, 20} (Demanda Bioquímica de Oxigênio), Cu (Cobre) e nas velocidades de sedimentação de partículas. E a maior fontes dos metais pesados eram as regiões mais urbanizadas e que a rede recebia a água do escoamento das telhas das casas (CHEBBO, 2004). Ou seja, as fontes de nutrientes eram devido à rede de esgoto, porém, as maiores fontes de metais pesados eram em consequência da construção civil.

Foi realizado em Wichita, Kansas, por Whittemore (2012) um estudo da qualidade das águas superficiais, subterrâneas e dos sedimentos em vários poços de areia circundantes. Foram analisados os possíveis potenciais de poluição das águas subterrâneas pelas águas pluviais. As análises físicas e químicas (por exemplo, temperatura, condutividade, pH, potencial de oxidação-redução específica, Alkalinity) foram determinadas no local da coleta das amostras de águas superficiais e subterrâneas. As medições laboratoriais incluíram conteúdo bacteriológico (e-coli, fecais e bactérias coli-forma), as concentrações dissolvidas de todos os constituintes menores e traços inorgânicos, produtos químicos orgânicos, e radioatividade. Assim as análises de campo e laboratório totalizaram 18 propriedades físicas e químicas, 40 constituintes inorgânicos, 118 pesticidas e compostos degradar, 134 diferentes agrotóxicos compostos orgânicos, e 5 valores bacteriológicos. As Análises das amostras de sedimentos englobaram a análise de 45 constituintes inorgânicos, e 32 compostos orgânicos para constituintes inorgânicos, bactérias e 252 compostos orgânicos, e

sedimentos do poço para os componentes inorgânicos e 32 produtos químicos orgânicos.

O sistema hidrológico e as análises químicas indicaram que a principal fonte de herbicidas detectados, nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, foram os locais residenciais com gramados, paisagismo, e estradas. A carga de lavagem de produtos químicos volatilizados ou poeiras com compostos adsorvidos também poderia ser uma fonte potencial de alguns dos baixos níveis de herbicidas e outras substâncias orgânicas nas águas de poço. A idade de desenvolvimento residencial encaixa as ocorrências da persistente de inseticidas clordano e DDT (e seus produtos de degradação) e PCBs em sedimentos de dois poços, o início do desenvolvimento residencial ocorreu durante o período em que estes compostos ainda eram usados em os EUA. As concentrações de alguns destes compostos excederam os níveis mais baixos de orientações ecotoxicológicas.

Dessa forma, a variação da qualidade das águas subterrâneas em relação às suas propriedades físicas, químicas e biológicas dependerá da localização, da constituição rochosa adjacente e do período de formação do aquífero. Essa variação é mediada por vários fatores complexos que estão ligados, por exemplo, à evolução dos processos geológicos, hidrogeológicos e climáticos. Além disso, a resposta a esses fatores pode acarretar modificações tanto em escala espacial quanto em função da profundidade de localização do aquífero. Ao ser infiltrada e percolar pelo solo, a água sofre modificação na sua qualidade. Isso vale tanto para a água da chuva, que, ao chegar ao solo, pode ter diferentes compostos suspensos ou em solução incorporados ao longo da trajetória da gota de chuva, quanto para a água que é intencionalmente dispersa sobre o solo e que tem sua qualidade dependente do ponto de captação (CAMPANA et al., 2012).

Beecham (2012) desenvolveu seu estudo em uma bacia retenção na Austrália, sendo adotada, a metodologia

de Concentração Média dos eventos e cargas totais de poluentes determinados para as entradas e saídas da bacia. Os parâmetros de qualidade da água analisada foram: pH, condutividade, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais (TDS), nitrogênio total, fósforo total, hidrocarbonetos totais, cádmio, cromo, cobre, chumbo, zinco e níquel.

Na Tabela 5 são apresentados os metais pesados estudados nesta pesquisa, com suas características, concentração no ambiente, e comportamento nas estruturas de infiltração.

Tabela 5-Característica dos metais pesados.

Metais pesados	Características gerais	Concentração natural em solos e águas doces	Comportamento no solo
Cd	Distribuído na crosta terrestre em concentração média de 0,1 mg/kg. Pode formar um grande número de sais, sendo raramente encontrado em estado puro. Bioacumulativo e persistente no ambiente.	Concentração média de 0,1 a 0,4 mg/kg em solos, podendo atingir 4,5 mg/kg em solos vulcânicos. Concentração média de 0,01 a 0,06 µg/litro em águas doces.	É relativamente móvel no solo, mas tendem a acumular-se sobre a superfície em áreas ricas em matéria orgânica. A sua mobilidade depende do pH do solo e da sua adsorção com o aumento do pH aumenta.
Cu	Cobre (WHO, 1998) Concentração média na crosta de 60 mg/kg. Encontrado em uma grande variedade de sais minerais e compostos orgânicos e na forma metálica.	Concentração média em solos de 30 mg/kg, com uma variação de 2-250 mg/kg. Concentração em água doce variando de 1-20 µg/litro.	É solúvel a um pH inferior a 5, a adsorção é o processo dominante, se o pH se situar entre 5 e 6, não há precipitação a um pH entre 6 e 7 e que não é móvel no pH maior do que 7. É fixada sobre o material orgânico e, portanto, é geralmente adsorvido nas camadas superiores do solo.
Pb	Concentração média de 20 mg/kg na crosta terrestre. Ocorre em grande variedade de minerais, sendo os mais importantes a galena, cerusita e anglesita. Bioacumulativo.	Concentração média entre 10 e 70 mg/kg em solos e 0,02 µg/litro em águas doces.	O chumbo é muito solúvel em água e tem baixa mobilidade no solo. Isto, portanto, acumula-se na superfície e, mais particularmente em áreas ricas em matéria orgânica ou argila. Os solos

Concentração.		ácidos favorecem a mobilidade de Pb e assim a sua migração profundidade.
Zi	sua origem no escoamento vem, assim, principalmente do desgaste dos pneus, lubrificação a óleo e corrosão dos materiais de construção (telhados, calhas).	Concentração de 10-300 mg/kg em solos e de 0,1-50 µg/litro em águas doces. Zinco se acumula na superfície do solo, a migração profundidade é raro embora seja bastante solúvel e móvel suficiente na maioria dos solos. PH controla o comportamento de zinco no solo: um pH mais elevado proporciona melhor adsorção de Zn, uma diminuição do pH leva à dessorção de Zn.
Cr	Ocorre nos estados de oxidação de -2 a +6, sendo os mais comuns os estados 0 – elemental, +2, +3 e +6. Sua concentração na crosta varia de 5 mg/kg nas rochas graníticas até 1800 mg/kg nas básicas e ultrabásicas.	Concentrações de 2-60 mg/kg em solos e 1 a 5 µg/litro. No solo, a maior parte do cromo ocorre na forma de cromo trivalente. Em pH 5,0 e pouco solúvel e seus compostos são muito estáveis, tornando-se móveis em meios muito ácidos. NA presença de fósforo e matéria orgânica ocorre redução na mobilidade do cromo em solos contaminados*.

(Fonte: *CAMPOS,2001, BELOTTI, 2011 e LE COSTUMER 2008).

Barraud (2015) realizou uma revisão sintetizando estudos de caracterização físico-química de sedimentos de águas pluviais. A avaliação baseou-se em 20 anos de monitoramento de resultados de duas bacias experimentais da França: a bacia Cheviré (perto de Nantes) e bacia do Django Reinhardt (perto de Lyon). Este estudo avaliou os seguintes parâmetros: volume, conteúdo de poluentes, a sua mobilidade e especiação potencial. Sendo apresentado na Figura 3 o resultado da revisão da pesquisa de Barraud (2015).

			Cd	Cu	Pb	Zn	THC	ΣPAH	
			(mg kg ⁻¹)					(μg kg ⁻¹)	
Cheviré	Legret et al. (1995)	CH1	1.2	90	300	683			
		CH2	1.5	84	292	833			
		CH3	3.7	208	819	1,980			
	Durand (2003)	CH1	1.6	237	359	1,576		2206 (mean)	
		CH2	1.7	297	376	1,894			
		CH3	2.0	279	522	2,070			
	Durin (2006)	CH1	1.1	206	254	1,447			
		CH2	1.6	308	319	1,787			
		CH3	2.6	317	445	2,463			
	Pétavy (2007)	P1 (near CH1)	1.1	281	30	1,526	7,674	1,752	
	El-Mufleh (2011)	CH1	0.5	190	70	784	1,300	2,344	
		CH2	0.9	320	250	1,714	2,056	4,340	
CH3		1.2	366	368	1,863	1,686	4,283		
Django Reinhardt	Le Coustumer (2008)	A	2005	7.1	313	167	2,500	4,389	4,654
		B		3.5	265	105	1,338	14,171	32,893
		C		1.5	117	57	704	2,173	36,40
		Mean (SD %)	2005		97 (83)	56 (64)	703 (85)		
			2006		178 (59)	186 (103)	1,128 (65)		
			2007		213 (34)	234 (37)	1,299 (36)		
		2008		247 (16)	210 (23)	1,384 (22)			
	Badin (2009)	C		11.4 (2.0)	115 (40)		1,156 (70)		
	Saulais et al. (2011)	A–B		4.2 (0.4)	213 (22)		1,465 (112)		
	Dutch standard	Polluted soil ^a		0.8	36	85	140	50	1,000
Intervention threshold ^b		12.0	190	530	720	5,000			

Figura 3-Concentração de Metais Pesados em sedimentos (BARRAUD,2015)

2.2 FENÔMENOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLOGICOS NO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES PARA O AMBIENTE SUBTERRÂNEO

A água pluvial sofre alterações qualitativas em todas as fases do ciclo hidrológico urbano, quando ocorre a precipitação da água, os gases e partículas presentes na atmosfera dissolvem-se e/ou são arrastados pela água da chuva até atingirem o solo. Sendo a chuva um dos meios mais eficientes de remoção de poluentes atmosféricos, uma vez que apenas partículas com diâmetro superior a 10 µm sofrem deposição seca (MENEZES, 2004).

Com a chegada da água no solo inicia-se a formação da lâmina de água na superfície, a energia cinética presente nas gotas da chuva desagregam os sedimentos e contaminantes da superfície, (SANTOS, 2000), a maior parte dos contaminantes, serão carreados na forma solúvel ou particulada, os primeiros 25mm de escoamento superficial geralmente carregam grande parte da carga de poluente de origem pluvial. A composição dos sedimentos no escoamento superficial é reflexo dos seguintes processos: fontes de sedimentos, transporte e deposição de sedimentos e dos processos químicos que atuam no sedimento durante o processo de fonte-transporte-deposição entre a origem e o ambiente aquático (POLETO,2011). Na Figura 4 é apresentado no infograma dos fenômenos hidrológicos e sua interface com o processo de transporte de contaminantes para o ambiente subterrâneo.

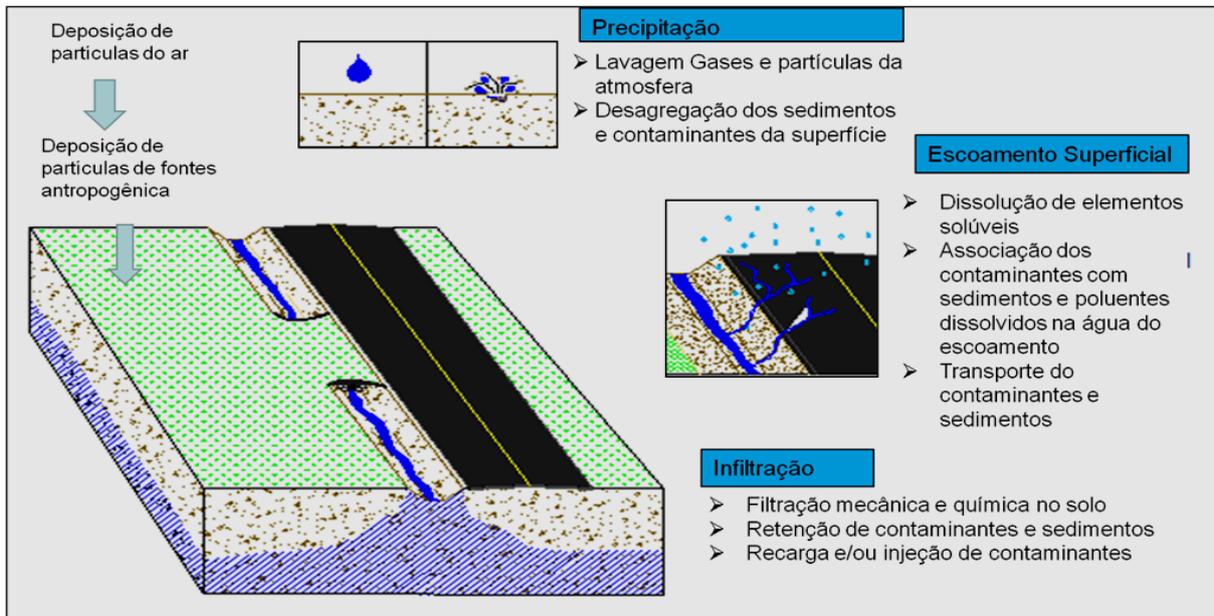


Figura 4- Ciclo Hidrológico e o transporte de Contaminantes e Sedimentos.

Segundo Zoppou (2001) os cinco processos que influenciam o movimento e a transformação dos poluentes em uma bacia urbana são: químicos, físico-químicos, biológicos, ecológicos e físicos.

Os processos químicos envolvem as reações de dois ou mais compostos que formam outros compostos diferentes. Os processos bioquímicos são resultantes de transformações químicas que acontecem com a participação de organismos biológicos. Os processos físico-químicos envolvem a química e a física de moléculas interagindo com o ambiente. Os mais importantes processos físico-químicos são: adsorção, dessorção e absorção. (pag.201)

Portanto, a quantidade de poluente aderida é função da concentração de poluentes no escoamento e da temperatura, e dos fenômenos de dessorção e absorção. A dessorção é a liberação dos poluentes das partículas de sedimentos. A absorção é a penetração de uma substância dentro da partícula. Devido à água ser um solvente universal, ocorre o processo químico de dissolução dos poluentes do escoamento superficial urbano (FERREIRA, 2008).

O transporte de contaminantes e sólidos das estruturas de infiltração para o ambiente subterrâneo dependerá das interações que envolvem as características químicas, mineralógicas e físicas do solo, que podem ser influenciadas por uma série de fatores como acidez, temperatura, potencial de oxirredução, composição e concentração da solução do solo (PREVEDELLO, 1996 apud FERREIRA 2007). Ou seja, depende diretamente das interações entre o soluto percolado presente nas águas pluviais e a matriz do solo.

Muitos poluentes, tais como o nitrogênio, fósforo e vários pesticidas e metais aderem às partículas de sedimentos e são transportados com elas no fluxo do escoamento. Por exemplo, os metais pesados presentes nas águas pluviais ou estão dissolvidos ou estão absorvidos principalmente por partículas menores do que 150 μm , sendo que podem ser transportadas até por partícula <125 μm . Caracterizando os micropoluentes dissolvido (concentrações de metais pesados com baixas concentrações de Cu, Zn e Pb) ou sorvido a pequenas partículas absorventes (BIRCH,2013).

O transporte de poluentes no solo pode ser influenciado por alterações em três variáveis: o solo, o poluente e o meio ambiente, As alterações em uma dessas variáveis ocasionam modificações nas outras. A retenção de poluentes por meio poroso é o resultado de processos complexos. Dois tipos de filtração são geralmente observados, dependendo do tamanho das partículas de águas pluviais. A filtração mecânica afeta, grandes partículas de águas pluviais (diâmetro > 30 μm), enquanto as partículas pequenas (diâmetro de cerca de 1 μm) sofrer filtração físico-química. As partículas médias (03 μm <diâmetro <30 μm) são afetadas por ambos os tipos de filtração. A filtração físico-química envolve sorção, complexação e precipitação (DECHEsNE, 2004).

Dechesne (2004) investigou a poluição do solo em bacias de infiltração, analisando sua distribuição espacial no solo e a otimização do número de amostras de solo, além de criar um indicador de contaminação. Os sedimentos foram coletados em diferentes profundidades e os parâmetros analisados foram nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos e tamanho de grão. Mesmo após 14 anos de funcionamento da estrutura a concentração de metais pesados nos sedimentos foram encontrados nos primeiros 30 cm de solo. A única exceção foi o zinco devido a sua mobilidade. O indicador de contaminação foi definido e avaliado considerando a concentração e a profundidade

alcançada pelo contaminante. O indicador mostrou que 30% das amostras de solo são altamente contaminados.

A França, foi um dos países pioneiros na avaliação da capacidade de retenção de poluentes em estruturas de infiltração dos possíveis riscos de contaminação do aquífero por estruturas de infiltração, possuem estruturas monitoradas desde a década de 90, e estudos comparativos entre diferentes estruturas (BARRAUD, 1999). Le Coustumer et al., (2007) estudou uma bacia de infiltração localizada na área Greater Lyons (França). Sendo esta monitorada para vários parâmetros da água em diferentes profundidades (o pH, a condutividade, a turbidez e temperatura), a fim de avaliar a qualidade do fluxo de entrada. Sendo avaliado a quantidade de poluentes adsorvidos ao solo em duas campanhas de amostragem do solo, uma em abril de 2005 e outra em fevereiro de 2006. As amostras foram então analisadas para os principais metais pesados encontrados no escoamento de águas pluviais. Com base nestes dados, foi realizada uma primeira análise qualitativa para avaliar as possíveis relações espaciais, repartição, o comportamento hidráulico e o histórico da bacia. A massa de metais pesados e o acúmulo de poluentes é muito maior nas áreas mais antigas da bacia. Assim o autor destaca o fato da acumulação histórica ser significativa e que se pode contabilizar a carga de contaminantes dos sedimentos para futuras restaurações, ou seja, prever uma remoção parcial dos sedimentos restaurando a bacia, no estudo eles obtiveram uma ótima eficiência com a remoção de cerca de 25% da área da bacia de infiltração.

Datry (2004) analisou os sedimentos em uma bacia de infiltração localizada no campus da Universidade Claude Bernard, Lyon, France. Estes foram amostrados para investigar o acúmulo potencial de componentes dissolvidos em sedimentos fluviais localizados abaixo do leito de infiltração Foram analisados: carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio particulado (PN), fósforo

particulado (PP), metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) e hidrocarbonetos totais. Os sedimentos coletados no leito da estrutura tiveram altas concentrações de nutrientes, hidrocarbonetos e metais pesados, zinco, chumbo e cobre representaram 95% da concentração total de metal em sedimentos de águas pluviais. As concentrações de nutrientes, hidrocarbonetos e metais pesados foram reduzido a uma profundidade de 0,5 m abaixo da parte inferior do leito de infiltração. As concentrações dos sedimentos fluviais coletados nas profundidades de 1-3 m abaixo do leito de infiltração não foram estatisticamente superiores aos valores obtidos nos sedimentos do local de referência. Sendo concluído que os metais pesados e hidrocarbonetos ficaram adsorvidos nos sedimentos da bacia de infiltração.

Nascentes (2006) avaliou a mobilidade de seis metais pesados (Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} e Cr^{3+}) durante percolação de uma solução contaminante multi-espécies, em um solo residual compactado e estudou a variação na condutividade hidráulica do solo durante o processo de percolação da solução contaminante. Estas interações entre os solos tropicais e as soluções contaminantes, podem modificar algumas propriedades do solo como a condutividade hidráulica, o coeficiente de difusão, o fator de retardamento e o coeficiente de dispersão hidrodinâmica, importantes nos processos de transporte de contaminantes nos solos. Foram realizados três grupos (I, II, III) de ensaios com o mesmo tipo de solo compactado, porém, cada grupo com grau de compactação e teor de umidade ligeiramente diferente. Para as amostras do Grupo I, foram realizados ensaios em coluna para avaliar a influência da estrutura compactada na condutividade hidráulica e nos parâmetros de transporte de uma solução contaminante produzida artificialmente a partir de nitratos de seis metais pesados, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb e Cr. O longo tempo de ensaio, oito meses e vinte dias, foi essencial para observar o a variação da condutividade

hidráulica e a adsorção dos metais pesados. A presença de Cu, Pb e Cr não foi detectada nos efluentes coletados. Estes elementos químicos, que são pouco móveis, ficaram totalmente retidos no solo, já que apresentam grande afinidade com óxidos de ferro, presentes em grande quantidade no material estudado. Houve dessorção de Mn e uma proporcional maior adsorção de Zn (exceto para o CP04) e de Cd, devido ao decréscimo nas condutividades hidráulicas (em especial, no CP08), ao final do ensaio em coluna, o que indicou que o Zn e o Cd ocuparam os sítios de adsorção do Mn, proporcionando sua dessorção. Assim, a autora concluiu que mesmo que as barreiras selantes possuam baixos valores de condutividade hidráulica, a grande mobilidade do Mn pode fazer com que este elemento atinja camadas de solo inferiores, podendo causar contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Bäckström (2001) analisou o transporte e a retenção dos contaminantes em valas de drenagem, e mostrou que valas relvadas têm um potencial para capturar uma quantidade considerável de sólidos suspensos. Foram observados percentuais de remoção de TSS de 79-98%. A eficiência de captura de partículas foi influenciada pelo estado da vegetação, a taxa de infiltração e comprimento vala.

Belotti (2005) investigou a capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em uma área de instalação de um sistema filtro-vala estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG, e os riscos de contaminação de águas subterrâneas associados à infiltração de águas de drenagem urbana no solo. Para avaliar a capacidade de retenção do solo foram realizadas amostragens e análises de solo no início da implantação das estruturas, na metade e no final do período chuvoso. As amostras coletadas no início da implantação das estruturas foram submetidas às análises de granulometria, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), pH em H₂O e em KCl, teor de matéria orgânica, teor de Argila Dispersa em

Água, mineralogia da fração argila e teor total dos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco. As amostras foram coletadas em três profundidades: 0–10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 – 1,10 m. Na vala de detenção foram coletadas amostras na lateral: 0 – 10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 - 1,10 m; e no fundo da vala: 0 – 10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 – 1,10 m; totalizando seis amostras. O experimento foi instalado em área com declividade de 4,5%; condutividade hidráulica média do solo de $k = 5,21 \times 10^{-5}$ m/s e profundidade do NA (Nível d'Água) maior que 4 metros e as estruturas (trincheira de infiltração e vala de detenção) entraram em funcionamento em maio de 2008. O experimento era composto por uma trincheira de infiltração com 20 m de comprimento, 1 m de largura, 1,50 m de altura (profundidade) média, recoberta por manta geotêxtil e preenchida por brita e uma vala de detenção de 12 m de comprimento, 3 m de largura de topo, 1,5 m de altura (profundidade) e 45° de declividade dos taludes, recoberta por gramíneas. Os resultados evidenciam os riscos de contaminação das águas subterrâneas na área de implantação dessas estruturas e a importância da inclusão da capacidade de retenção de poluentes pelo solo como mais um critério a ser considerado na seleção de áreas para a implantação de estruturas de infiltração em Belo Horizonte/MG.

Portanto internacionalmente já esta bem desenvolvida as pesquisas sobre a interface da água do escoamento superficial, estruturas de infiltração e seus impactos sobre o ambiente subterrâneos, como foi visto no trabalho de Bäckström (2001), Datry (2004) Le Coustumer et al., (2007), Barruad(2015), principalmente na França com sistemas monitorados a mais de 30 anos. Sendo estas linhas de pesquisa ainda incipientes no Brasil.

2.3 TÉCNICAS ALTERNATIVAS: ESTRUTURAS DE INFILTRAÇÃO

As técnicas compensatórias baseiam-se na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais (BAPTISTA, 2005). As técnicas alternativas de infiltração são soluções que complementam os sistemas de drenagem urbana, proporcionando redução do volume de água pluvial descarregado nas sarjetas e nas galerias pluviais (REIS, 2008). Os principais dispositivos de infiltração em meios urbanos são os pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e valas de infiltração, em razão do baixo custo e da facilidade de implantação (URBONAS E STAHERE 1993). Segundo Moura (2010), estas técnicas apresentam importantes vantagens:

- Reduzem as vazões de pico e os volumes nos condutos de jusante ou nos corpos receptores;
- Limitam o fenômeno de lavagem das superfícies urbanas com consequente redução as cargas poluidoras, uma vez que drenam áreas mais próximas à fonte;
- Favorecem a recarga de aquíferos através da infiltração;
- Apresentam potencial de redução da carga poluente das águas pluviais por meio de decantação;

Segundo Urban (2010), vários estudos têm demonstrado que as águas pluviais infiltradas são um dos principais fatores que contribuem para a deterioração das águas subterrâneas, assim precisa-se avaliar se a técnica compensatória de infiltração não injeta contaminantes no ambiente subterrâneo. Florian (2001) analisou as características físico-químicas e biológicas de águas subterrâneas abaixo de uma bacia de infiltração de águas pluviais, localizada na Cidade de Lyon, após 30 anos de uso. Os sedimentos finos orgânicos foram identificados

como principais fontes de metais pesados e hidrocarbonetos. A degradação biológica de sedimentos de águas pluviais derivados levou à contaminação das águas subterrâneas e à acumulação de fosfato de amônio que poderiam migrar para as águas subterrâneas nas proximidades. Metais pesados, especialmente chumbo, cobre, zinco e cádmio tipicamente encontrados em águas pluviais (DATRY, 2003), são considerados, que têm impactos mais significativos no ambiente subterrâneo.

Segundo Belotti (2011) a infiltração de águas pluviais urbanas em áreas onde o solo não tenha capacidade de reter tais poluentes pode representar um risco de contaminação das águas subterrâneas em virtude da possibilidade de percolação dos mesmos pelo solo. Os metais quando infiltrados no solo podem assumir as seguintes formas: solúvel (íons livres), Trocável (adsorvidos em Matéria Orgânica ou em Minerais), Adsorvidos, ligados a materiais orgânicos insolúveis e precipitados.

Foi realizado o estado da arte das pesquisas nacionais com estruturas de infiltração pesquisando-se informações sobre os pilotos de técnicas compensatórias de infiltração no Brasil, considerando os aspectos físicos, capacidade de infiltração, características hidrogeológicas, métodos de dimensionamento, a qualidade do escoamento a montante da estrutura e formas de avaliar acolmatação. Sendo os principais estudos sintetizados na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 6- Características dos pilotos e resultados dos projetos de trincheiras de infiltração

Referência	Dimensionamento hidrológico e hidráulico.	Monitoramento Qualitativo dos pilotos	Principais resultados
Sousa, 2002 PoA	Tr 5 anos, IDF IPH. Curva Envelope e método Racional. Taxa de infiltração por Darcy.	Vazão de entrada; Vazão de saída; Umidade do solo. Umidade por TDR proximidade da trincheira	Eficiência de 100% no controle do volume escoado mesmo para eventos com Trs superiores aos projeto; Metodologia de projeto super-dimensiona as estruturas. Condições iniciais do solo influenciam.
Graciosa, 2005	Vol. armazenado: curva envelope (balanço massa com vol. armazenado trincheira igual vol. água precipitado na área contrib., menos o volume de água infiltrado. Infiltração por Darcy.	Monitoramento: adução, recessão (leituras de NA dentro da trincheira com transdutores de pressão automáticos) e redistribuição (umidade do solo em sonda de nêutrons).	No início, o solo se encontrava relativamente seco nas superfícies expostas da trincheira. Logo após a infiltração a porção mais umedecida do solo concentrava-se mais abaixo do fundo da trincheira do que nos lados. Em aproximadamente 2 horas, a maior parte da água infiltrada já tinha se afastado do campo de medição da sonda de nêutrons (profundidade 1,70m).
SaC			
Silva, 2007 Brasília	Curva envelope, IDF do Distrito Federal, TR 2 anos. CE 0,95. Darcy para taxa de infiltração.	Piezômetros Casagrande, tensiômetros, tassômetros e controle topográfico superfície.	O uso de garrafas PET proporciona maior capacidade de acumulação e uma menor sobrecarga sobre o solo suporte, porém eleva o custo de implantação da trincheira.
Andrade et al., 2007	Vol. entrada pela chuva de projeto e volume de saída taxa de infiltração Philip. Vol afluente: método racional, IDF São Carlos e CE duas parcelas do terreno consideradas.	Monitoramento: NA em poço com linígrafo eletrônico. Saída dos tubos perfurados vindos do telhado: monitoramento contínuo. CTD Diver para NAna caixa de saída da trincheira.	Ao final do evento, o total efluente corresponde ao total afluente. Percebe-se volume efluente negativo sugerindo uma “infiltração negativa”. Não há medidas de vazão afluente à trincheira. Explicação por contribuições laterais ou a distribuição da água não ocorreria de maneira uniforme e a leitura de nível poderia estar influenciada por um acréscimo local que não corresponde ao volume completo da trincheira.
SaC			
Lima, 2009 SaC	Vol entrada: IDF São Carlos, Tr 5 anos; CE 0,95; Vol. trincheira: máxima diferença entre vol. entrada (método racional) e Vs (Philip)	Vazão de entrada; Na trincheira; á umidade do solo.foi monitorada pelo (TDR), por meio de sondas CS616	Resultados mostraram-se eficientes com 100% do volume controlado, mesmo para chuvas com intensidades superiores a projetos de microdrenagem podendo indicar superdimensionamento.

Tabela 7- Características dos pilotos e resultados dos projetos de sistemas Filtro-Vala e Trincheira de Infiltração

Referência	Dimensionamento hidrológico e hidráulico.	Monitoramento quantitativo dos pilotos	Quali- Principais resultados
TL, telhado verde (Ohnuma Jr, 2008) SaC	Trincheira: curva envelope, IDF São Carlos. Reservatório pluvial: Rippl demanda constante e chuva mensal. Telh. verde: balanço hídrico.	Volumes efluentes e afluentes da trincheira de infiltração; Hidrometeorologia; escoamento superficial telhado edificação.	Eficiência hídrica na saída do lote foi de 35% maior com medidas não-convencionais do que com instalações convencionais de uso da água; O estudo da trincheira de infiltração mostrou-se 85% mais eficiente do que uma residência sem controle na fonte
Trinch. vala de detenção e boca-de-lobo. Silva et al., 2009. BH	IDF Belo Horizonte, Tr 10 anos; hidrograma triangular e vazão de pico por método racional; propagação de cheia na estrutura por Puls.	Precipitação; vazão de entrada: calha Parshall; NA em cada dispositivo: sensores piezoresistivos. Qualidade entrada e saída com amostrador automático na entrada.	A eficiência inicial da vala de detenção apresenta comportamento padronizado para remoção de sólidos, a eficiência da vala começa a entrar em consonância com os dados pluviométricos e com o tempo de detenção. Águas de escoamento superficial não atendem os limites da classe 2 (CONAMA). Elevado índice de coliformes semelhante ao esgoto doméstico. O sistema se mostrou interessante para gerenciar poluição.
Gutierrez, 2011 SaC	Curva IDF Distrito Federal, Tr 2 anos. CE 0,95. Curva envelope. Infiltração: coef. de permeab. área infiltração.	Turb., cor, condut., ST, STD, DQO, Cl-, SO4 2-, NO3, NH4+, colif. totais, colif. fecais, Cd, Cu, Pb e Zn	Eficiência de remoção dos parâmetros analisados: zinco (90,89%), cobre (88,31%), condutividade elétrica (31,40%), nitrogênio amoniacal (24,32%) e cloreto (5,88%).
Lucas, 2011 SaC	Vol. armazenado: curva envelope, vazão de infiltração pela equação de Darcy.	Precipitação, vazão afluente; nível de água na trincheira e na vala de infiltração. Avaliação de geotêxtil e finos.	Sem registros de extravasamento do sistema estrutura superdimensionada cenário atual; Resultados de eficiência obtidos por modelagem e simulações; Após a construção verificou-se redução de finos de 29% para areia e 58% para brita; Geotêxtil: colmatação redução média de 45% da permeabilidade.
Trincheira e Vala Belótti, 2011	Trinch. infiltração: 20 x 1 m de comprimento, 1,50 altura; Vala de detenção: 12 x 3 m, 1,5	Vazão afluente: calha. Saída da trincheira: infiltração; saída da vala: infiltração e orifício para	O solo da área de estudo apresentava capacidade de retenção dos metais das águas de drenagem. Mas parte dos metais infiltrou no perfil do solo. Nos ensaios de lixiviação, os teores de cromo,

BH	altura, taludes 45°. Sem informação dimensionamento	boca de lobo. Monitoramento da retenção de metais.	chumbo e manganês recuperados na água percolada pelas colunas de solo foram muito baixos indicando que incorporar matéria orgânica aumenta a retenção de metais.
Lucas et al., 2013 SaC	Tr 5 anos, IDF IPH Porto Alegre. Curva Envelope. Taxa infiltração: anéis concêntricos.	Precipitação, vazão afluente: sensor de nível e vertedor triangular. NA no interior trincheira e vala: sensor de nível.	Para trabalhos futuros recomenda-se o monitoramento do teor de umidade do solo e interação vala - trincheira na frente de umedecimento; modelagem do sistema utilizando métodos de decréscimo da taxa de infiltração e análise de incertezas das simulações hidrológicas

Tabela 8- Características dos pilotos e resultados dos projetos de poços de infiltração

Referência	Dimensionamento hidráulico.	hidrológico e	Monitoramento e avaliação quantitativo dos pilotos	Principais resultados
Sobrinha, 2012 SaC	Curva envelope, IDF São Carlos, Tr 10 anos; Altura máxima armazenamento: diferença entre a altura precipitação e infiltração.		Vazão de entrada e avaliação de geotêxtil	Não houve registros de extravazamento do poço, eficiência de 100% na redução do volume escoado. Após 8 meses de funcionamento verificou-se redução média da permeabilidade do geotêxtil de 50,7% (fundo), 7,7% (paredes) e 21,2% (tampa)
Reis, 2005 GO	Poço infiltração tubo de concreto perfurado e geotêxtil, fundo com agregados graúdos e geotêxtil.		Tempo de esvaziamento do poço de infiltração e do poço a trado.	Os resultados mostraram que o poço experimental é mais eficiente, visto que o coeficiente de permeabilidade(k) e a taxa de infiltração(I) foram superiores às do poço escavado a trado.

Estudos com pilotos de técnicas compensatórias brasileiras que investigaram a qualidade da drenagem e a eficiência da técnica compensatória são mostrados na Tabela 9. Dentre os contaminantes analisados verifica-se que dois trabalhos analisaram metais, que é uma categoria de contaminantes das mais importantes devida toxicidade ambiental quase sempre presentes nas águas de drenagem. Importante notar também a ausência de monitoramento dos hidrocarbonetos de petróleo que também são contaminantes prioritários presentes nas águas de drenagem. As análises de metais e de hidrocarbonetos de petróleo dependem de tecnologias mais avançadas como a espectrofotometria de massas e a cromatografia. Além dos equipamentos de alto custo, estas análises requerem pessoal especificamente capacitado, o que as torna mais difíceis de serem implementadas. A otimização de equipamentos e de pessoal para este tipo de análise poderia ser uma alternativa interessante para fazer frente a este problema e difundir a prática de monitoramento qualitativo das técnicas compensatórias.

Tabela 9-Eficiência de remoção de contaminantes por estruturas de infiltração

Estrutura	Área contrib. (km²)	Turb.	Cor	Cond.	DQO	DBO	N	P	Cl	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	Mn	Ni	Sólidos			
		UNT		µS/cm	mgO ₂ /l			µg/L						mg/L		**				
F-V-T (Gutierrez,2011)	Telhado de um Prédio-	1,27	1-14	13,45 (31,4)	0,9-14		1,8 ⁽¹⁾ 0,004 ⁽²⁾ 0,43 ⁽³⁾ (24,32)	2-0,4 ⁽⁵⁾	0,2	0,21	1,42 (88,31)		0,21	1,42 (90,89)				0,047 ⁽⁸⁾ 0,031 ⁽⁹⁾		
TVala det. (Silva,2009)	2,3 x10 ³ 100% viário	981	-	13,45 -	434	49	0,59 ⁽⁴⁾	0,20 ⁽⁶⁾	-	<0,002 (LD)	0,088 (43,6)	0,018 (59)	0,024 (88,6)	0,427 (52,1)	0,245 (55,1)	0,017 (57,5)		1213 ⁽¹⁰⁾ (58 a 81) 160 ⁽¹¹⁾		
Pavimento permeável e ecotelhado. Castro, 2011.**	Proveniente apenas da chuva incidente	88,7	215	-	174,6	9,2	0,8 ⁽¹⁾ 0,6 ⁽³⁾ 0,42 ⁽⁴⁾	0,25 ⁽⁶⁾ 0,06 ⁽⁷⁾	-	0,01	0,02	0,01	0	0,11	-	-	-	560,8 ⁽⁸⁾		
Bacia de detenção Alagada (Campana, 2007) ^(a)	6,12 2% com 37% resi 54% AV 7% via	-	-	30,71	30,71	3,3	0,43 ⁽¹⁾	0,070 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,37 ⁽¹⁰⁾		
				29,19	29,19	1,29	0,35 ⁽¹⁾	0,071 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,15 ⁽¹⁰⁾	
				23,60	23,6	2,95	0,69 ⁽¹⁾	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,81 ⁽¹⁰⁾
				Nd	11,66	3,2	0,39 ⁽¹⁾	0,065 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,97 ⁽¹⁰⁾
Bacia de Detenção Seca (Campana, 2007) ^(b)	4,75 13% com 22% resid 56% AV 8% via	-	-	68,6	74,5	9,25	1,10 ⁽¹⁾	0,168 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95,00 ⁽¹⁰⁾		
				53,16	36,05	9,17	1,15 ⁽¹⁾	0,141 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95,05 ⁽¹⁰⁾	
				Nd	67,32	8,44	0,81	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,40 ⁽¹⁰⁾
				nd	33,24	8,65	1,03	nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,83 ⁽¹⁰⁾
				(4-7)	(1-3)	(7-11)												(38-54)		
				(7-10)	(5-9)	(7-14)												(41-74)		

() Os números em parênteses se referem à eficiência do sistema. ** Neste estudo não foi apresentado a eficiência de remoção ^(a) Neste estudo a primeira linha se refere à entrada e apresenta 3 eventos monitorados, a segunda linha à saída e a terceira linha à eficiência. ^(b) Idem a ^(a) mas com 2 eventos monitorados; *: mg Pt- Co; ** NMP/100m; ⁽¹⁾NO₃; ⁽²⁾NO₂; ⁽³⁾ NH₄; ⁽⁴⁾ Nitrogênio total; ⁽⁵⁾ SO₄; ⁽⁶⁾ Fósforo total; ⁽⁷⁾Ortofosfato; ⁽⁸⁾ Sólidos totais; ⁽⁹⁾ Sólidos totais dissolvidos; ⁽¹⁰⁾ Sólidos suspensos totais; ⁽¹⁰⁾ Sólidos suspensos voláteis.

2.3.1 Valas de Infiltração

As valas de infiltração são as técnicas compensatórias mais antigas, sendo inicialmente utilizadas ao longo de ruas, rodovias e estradas rurais, com a finalidade de transportar a vazão afluyente ao mesmo tempo em que facilitavam sua infiltração (PINTO, 2011). São dispositivos bastantes simples constituídos por depressões escavadas no solo, cujo objetivo é recolher as águas pluviais e efetuar seu armazenamento temporário, além de favorecer a infiltração e a retenção de poluentes (TOMINAGA, 2013).

As valas de detenção são depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher as águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário e, eventualmente, favorecer sua infiltração. Podem ser utilizadas para coletar o escoamento superficial urbano ao longo de ruas e estradas, por exemplo, substituindo as guias e sarjetas. São projetadas para permitir o escoamento a baixas velocidades e pequenas lâminas, de forma a aumentar a infiltração e diminuir as vazões para lançamento no corpo receptor. A introdução das águas é feita de forma direta, por escoamento superficial até a estrutura, podendo, eventualmente, ocorrer à afluência via tubulação. O armazenamento é efetuado em superfície livre, no interior da estrutura. A liberação das águas pode ocorrer por infiltração local, no caso de estruturas de infiltração, ou por deságue superficial, diretamente no corpo receptor, com ou sem dispositivos de controle. Não são muito eficientes na remoção de poluentes para eventos de chuva mais intensa, mas podem eliminar o escoamento superficial proveniente de chuvas mais fracas, (BELOTTI, 2011).

Embora existam diferentes tipo de valas de infiltração (Figura 5), existem pontos comuns na fase de concepção, uma semelhança primordial é a geometria da secção transversal. As valas, possuem uma secção transversal trapezoidal ou parabólica com inclinações laterais relativamente planas (mais plana do que 3: 1), embora os canais retangulares e triangulares, também são utilizados (USEPA, 2015). Projetando o canal com

inclinações laterais planas aumenta o perímetro molhado. O perímetro molhado é o comprimento ao longo da borda da seção transversal da vala onde o escoamento superficial que flui através da vegetação da vala. Aumentar o perímetro molhado diminui as velocidades de escoamento e proporciona maior contato com vegetação para incentivar sorção, filtragem e de infiltração. Outra vantagem para inclinações laterais planas é que o escoamento de entrar na vala gramada do lado recebe algum pré-tratamento ao longo da inclinação lateral.

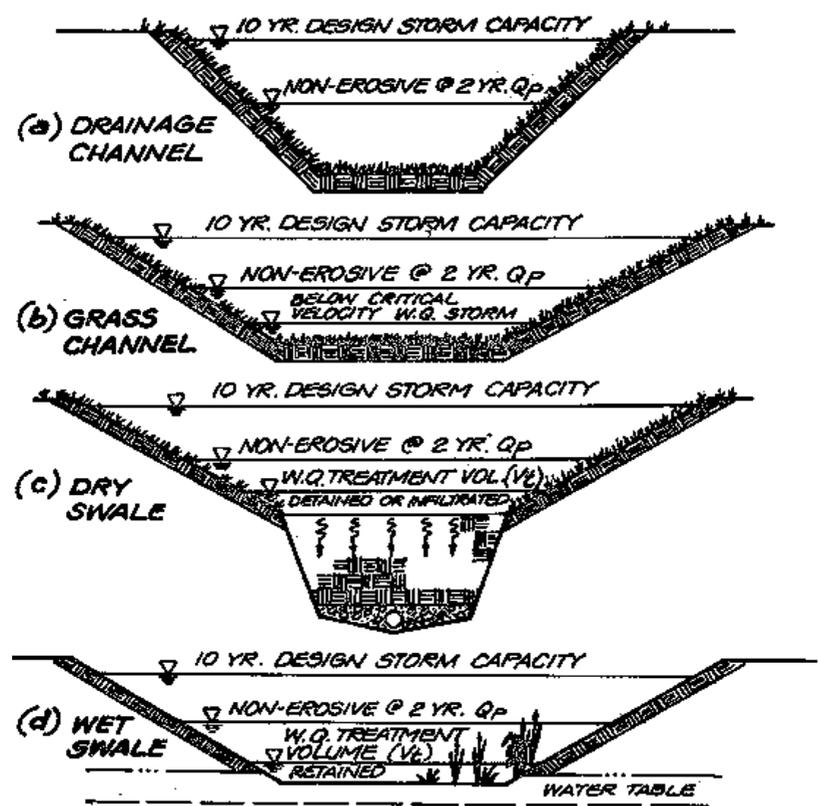


Figura 5-Tipos de valas de infiltração (Fonte: Claytor, 1996).

As vantagens da utilização das valas de infiltração são quanto á redução das vazões escoadas a jusante; fácil integração ao paisagismo e ganho financeiro com a redução das dimensões das tubulações da rede de drenagem.

Segundo Baptista (2005), na implantação das valas e valetas é importante controlar o aporte de finos, utilizando mantas impermeáveis para retirar os sedimentos e matérias que possam causar obstrução na vala. Além de controlar as dimensões iniciais da vala, para manter as seções iniciais de projeto, evitando transbordamentos indevidos. Lugares com altas intensidades de chuva, não são adequados para se utilizar valas de retenção, pois poderão saturar rapidamente o solo e promover escoamentos maiores em volume e velocidade, anulando seu efeito. Para chuvas menos intensas, porém frequentes, pode haver desconforto e perigos sanitários pela constante presença de água nas valas. Silveira (2002) outro aspecto importante é relativo a manutenção das valas e valetas, pois podem se tornar fontes de maus odores e de proliferação de insetos, reforçando a importância de uma manutenção adequada, o que muitas vezes deve ocorrer com a integração dos setores responsáveis pelas áreas verdes, parques e jardins dos municípios.

Souza (2002), apresenta os resultado do monitoramento, de duas trincheiras, da primeira trincheira citada anteriormente, avaliada por 33 meses e a segunda foi monitorada por 6 meses, drenando uma área de 600m². Porém ocorreu algumas modificações no projeto da segunda trincheira, foi construída em três módulos, funcionando em condições limites, ou seja, uma condutividade hidráulica saturada de 30mm/h, não considerando coeficiente de segurança, um valor mais baixo do coeficiente de escoamento. Pelos problemas de colmatação ocorridos na primeira trincheira, optou-se na segunda por um pré-filtro, formado por um trecho gramado de 1 metro de largura. A vazão de saída da trincheira foi calculado considerando a porosidade efetiva do material de enchimento, sendo considerado a percolação somente pelas laterais da estrutura por causa dos possíveis problemas de colmatação no

fundo da estrutura. O volume da trincheira foi calculado considerando a máxima diferença entre o volume do afluente e o volume de saída da trincheira, por processos iterativos, iniciando com um comprimento de 5m e variando até 10 m. A análise dos dados foi dividida em quatro etapas: seleção de ventos, formatação dos dados, ajuste de modelos, comportamento de longo prazo e vida útil. As duas unidades mostraram-se eficiente, controlando 100% do volume escoado, atingindo condições melhores, que a de pré-ocupação (considerando o controle do escoamento superficial).

Silva (2007) realizou um trabalho experimental com trincheiras de infiltração, mas testando garrafas recicladas de PET, como material de substituição aos agregados granulares utilizados. Para análise quali-quantitativa do sistema foram construídas quatro trincheiras 0%, 21%, 40% e 73% de garrafas PETS, completando o resto do enchimento da trincheira com brita (figura 1). A área drenada era de 2500m², e as dimensões da trincheira ficou de 0,8mx2mx1,8m. Avaliaram-se os resultados por ensaios edométricos (compressão, expansão ou adensamento do solo), índices físicos, sucção e do pinhole test do solo de fundação. Portanto, com o foco, não somente no dimensionamento e funcionamento da estrutura, mas no potencial colapso e erosão do solo, devido infiltração das águas pluviais. Portanto o uso da garrafa PET, aumentou o custo de implantação da trincheira, devido o processo manual de manipulação das garrafas, ocorreu uma redução no colapso do solo de 4,4% para 2,0%, além de ampliar a capacidade de armazenamento da trincheira.

Em São Carlos, Graciosa (2008) realizou um trabalho experimental e numérico para duas trincheiras de infiltração. Foi considerado um período de retorno de 1 ano e a curva de (IDF) da cidade de São Carlos, proposta por Barbassa (1991), determinando uma intensidade de precipitação de 53mm/h, totalizando um volume precipitado sobre a área de drenagem de 3,20 m³. Foi utilizado o Método Racional e o Modelo Philip, e o Modelo de Green Ampt para determinar o volume de entrada, o volume de saída e a infiltração acumulada no solo,

respectivamente. As duas trincheiras foram construídas com 0,5m de largura 0,7 de profundidade e 4 metros de comprimento e pelo programa “BidiSul”, simulou o volume infiltrado e a infiltração acumulada pela trincheira até o instante “t” considerado. Os dados de entrada para o modelo são: umidade inicial do solo, curva de retenção e curva de condutividade hidráulica não saturada.

Lima (2009), estudou o comportamento hidráulico de uma outra trincheira de infiltração, porém utilizando simuladores de chuva. A trincheira foi projetada para drenar uma área de 50m². Utilizou os mesmos procedimentos que Graciosa (2008), para determinar os volumes de entrada, saída, volume infiltrado acumulado, mas para um período de retorno de 5 anos, coeficiente de escoamento igual á 0,95. Fixou-se a largura e profundidade em 1x1,3m calculando o comprimento da trincheira por método interativo, variando o valor de 2m até 2,4m. A avaliação quantitativa da trincheira foi realizada monitorando vazão de entrada (manômetro digital acoplado no fundo do vertedor), nível da água na trincheira (através de um linígrafo instalado no poço de observação, dentro da trincheira) e umidade do solo (TDR-Time Domain Reflectometry). Na avaliação de custos de construção, deduziu que quanto maior for a porosidade do material e o período de retorno considerado, para um menor coeficiente de escoamento, mais econômica fica a estrutura da trincheira.

O uso associado de trincheiras de infiltração com outras medidas compensatórias foram analisadas por Beloti (2005), que investigou a capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em uma área de instalação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG, e os riscos de contaminação de águas subterrâneas associados à infiltração de águas de drenagem urbana no solo, vinculado ao Projeto SWITCH, Para avaliar a capacidade de retenção do solo foram realizadas amostragens e análises de solo no início da implantação das estruturas, na metade e no final do período chuvoso. As amostras coletadas no início da implantação das estruturas foram submetidas às análises de granulometria,

Capacidade de Troca de Cátions (CTC), pH em H₂O e em KCl, teor de matéria orgânica, teor de Argila Dispersa em Água, mineralogia da fração argila e teor total dos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco. Para a implantação das estruturas de infiltração foram pré-selecionadas, por técnicos da Prefeitura e professores da Escola de Engenharia, oito áreas no município de Belo Horizonte. As amostras foram coletadas em três profundidades: 0–10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 – 1,10 m; totalizando três amostras. Na vala de detenção foram coletadas amostras na lateral: 0 – 10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 - 1,10 m; e no fundo da vala: 0 – 10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 – 1,10 m; totalizando seis amostras. O experimento foi instalado em área com declividade de 4,5%; condutividade hidráulica média do solo de $k = 5,21 \times 10^{-5}$ m/s e profundidade do N. A. (Nível d'Água) maior que 4 metros e as estruturas (trincheira de infiltração e vala de detenção) entraram em funcionamento em maio de 2008. O experimento é composto por uma trincheira de infiltração com 20 m de comprimento, 1 m de largura, 1,50 m de altura (profundidade) média, recoberta por manta geotêxtil e preenchida por brita e uma vala de detenção de 12 m de comprimento, 3 m de largura de topo, 1,5 m de altura (profundidade) e 45° de declividade dos taludes, recoberta por gramíneas. Os resultados evidenciam os riscos de contaminação das águas subterrâneas na área de implantação dessas estruturas e a importância da inclusão da capacidade de retenção de poluentes pelo solo como mais um critério a ser considerado na seleção de áreas para a implantação de estruturas de infiltração em Belo Horizonte/MG.

Foram monitorados e analisado dispositivos de reservação, reuso e controle na fonte da drenagem urbana, por Junior (2008), sendo quatro medidas alternativas de manejo das águas pluviais e uma medida de tratamento das águas residuárias, em que o autor realizou uma pesquisa experimental. O método de dimensionamento da trincheira de infiltração utilizado foi Método do envelopamento pluvial, a partir dos dados da equação IDF para a cidade de São Carlos ,sendo monitorada de jan/2006 á jul/2008. Para o dimensionamento do

reservatório de águas pluviais foi utilizado o Método Análítico de Rippl com demanda constante e chuvas mensais. A partir do cálculo do Balanço hídrico na superfície do telhado verde, considerando a precipitação atmosférica a infiltração, escoamento subterrâneo e o escoamento gerado pela geomanta e pelo leito drenante, calculou-se o armazenamento do telhado verde, sendo monitorado de jul/2006 á agos/2008. Foi realizado o monitoramento quali-quantitativo do escoamento superficial e subsuperficial a partir de dois poços instalados na trincheira de infiltração, e foi monitorado por um período de seis meses , o escoamento subterrâneo ao longo do poço profundo. O poço 1 com um profundidade de 13m visou estimar a recarga do aquífero a partir do escoamento superficial das áreas permeáveis do lote e a partir do escoamento lateral afluyente a trincheira. AS instalações no lote obteve uma eficiência global de 80% em comparação a residência com instalações convencionais. O experimento é composto pelas estruturas de captação, adução, medição de vazões, trincheira de infiltração e vala de detenção encontrar-se localizado no campus Pampulha, a captação de águas escoamento superficial faz-se em uma via de trânsito intenso na cidade.

Silva *et al.*, (2009), realizou um experimento piloto com associação de estruturas, trincheira de infiltração, vala de detenção e boca e boca de lobo no campus da UFMG, que recebe contribuição de uma área de 3600m², o escoamento gerado nessa área é drenado por sarjetas até uma boca de lobo, onde é coletado e conduzido até a área do experimento. Uma caixa de passagem permite a divisão dos escoamentos afluentes em duas partes, de forma a alimentar, simultaneamente, a trincheira de infiltração e a vala de detenção. Para o dimensionamento dos dispositivos de infiltração e de detenção, adotou-se uma chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos. Foi utilizado o método do hidrograma triangular e o método Puls, pra o hidrograma de entrada e saída, respectivamente. Os parâmetros monitorados na trincheira foi umidade do solo, metais e hidrocarbonetos no solo. Na vala

foram monitorados metais sólidos suspensos, temperatura e condutividade da água, vazão de entrada, saída e precipitação. Com o monitoramento das estruturas pode-se analisar o funcionamento hidráulico, e a poluição difusa. A vala de detenção mostrou eficiência em redução de SST, em média, da ordem de 50%, com o melhor resultado em 80% e o pior, em apenas 6%. Em termos de abatimento das concentrações de metais, este dispositivo apresentou variabilidade elevada, com uma média em torno de 60%.

Na Tabela 10 é apresentado alguns dados de eficiência de remoção de contaminantes em diferentes tipos de valas de infiltração (USEPA,2015). Sendo as valas secas que apresentaram uma maior eficiência na remoção de Sólidos suspensos e metais pesados.

Tabela 10-Dados de remoção de poluentes em Valas Gramadas.

Estudo	Eficiência na remoção (%)					
	SST	P	N	NO 3	Metais	Tipo de estrutura
Goldberg 1993	67.8	4.5	-	31.4	42-62	Canais Gramado
Seattle Metro and Washington Department of Ecology 1992	60	45	-	-25	2-16	Canais Gramados
Seattle Metro and Washington Department of Ecology, 1992	83	29	-	-25	46-73	Canais Gramados
Wang et al., 1981	80	-	-	-	70-80	Valas secas
Dorman et al., 1989	98	18	-	45	37-81	Valas secas
Harper, 1988	87	83	84	80	88-90	Valas secas
Kercher et al., 1983	99	99	99	99	99	Valas secas
Harper, 1988.	81	17	40	52	37-69	Vals De Detenção
Koon, 1995	67	39	-	9	-35 to 6	Valas de Dentenção
Occoquan Watershed Monitoring Lab, 1983	-100	-100	-100	-	-100	Canal de Drenagem
Yousef et al., 1985	-	8	13	11	14-29	Canal de Drenagem
Occoquan Watershed Monitoring Lab, 1983	-50	-9.1	-18.2	-	-100	Canal de Drenagem
Yousef et al., 1985	-	-19.5	8	2	41-90	Canal de Drenagem
Occoquan Watershed Monitoring Lab, 1983	31	-23	36.5	-	-100 to 33	Canal de Drenagem
Welborn and Veenhuis, 1987	0	-25	-25	-25	0	Canal de Drenagem
Yu et al., 1993	68	60	-	-	74	Canal de Drenagem
Dorman et al., 1989	65	41	-	11	14-55	Canal de Drenagem
Pitt and McLean, 1986	0	-	0	-	0	Canal de Drenagem
Oakland, 1983	33	-25	-	-	20-58	Canal de Drenagem
Dorman et al., 1989	-85	12	-	-100	14-88	Canal de Drenagem

Fonte: Adaptado da USEPA, 2015.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em três fases principais, a primeira fase de diagnóstico e caracterização das estruturas, a segunda fase de instrumentalização e monitoramento da vala de infiltração e a terceira fase de análise e tratamento dos dados.

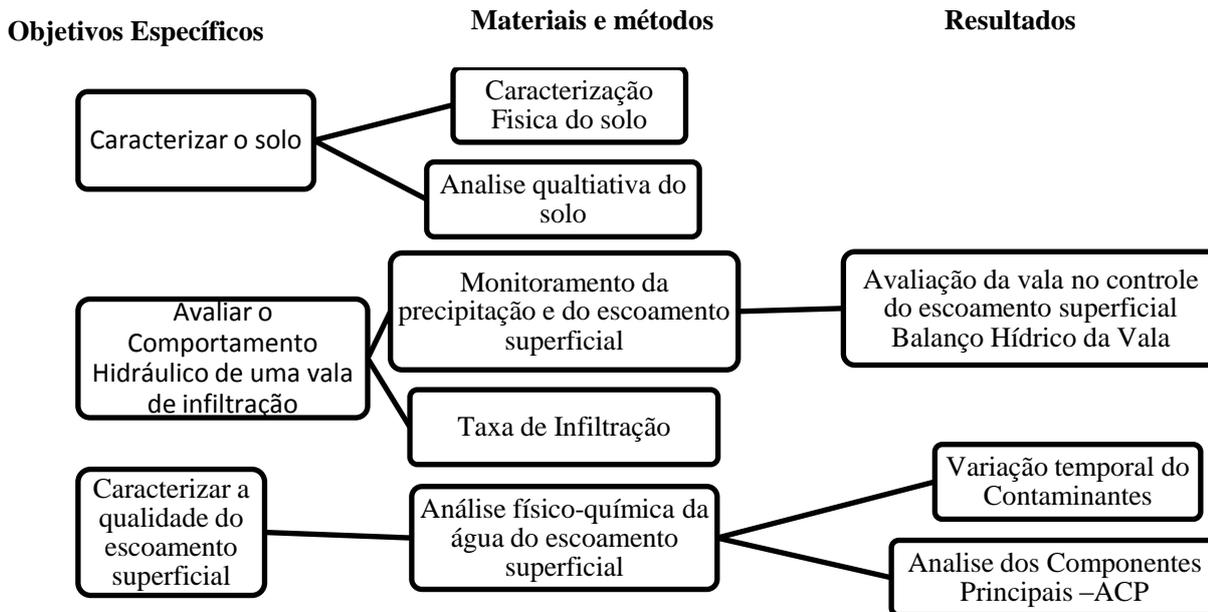
Na primeira fase da pesquisa foi realizado o levantamento e cadastro das estruturas de infiltração e da rede de drenagem do Distrito do Campeche, para a seleção da melhor estrutura a ser monitorada. Esta fase foi realizada em parceria com a Secretária de Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Após a seleção da estrutura, foi realizado o diagnóstico da bacia de contribuição para a vala de infiltração, bem como o diagnóstico do solo, dimensionamento, manutenção e operação da vala de infiltração.

Na segunda fase, foi instalado o amostrador automático de nível ascendente, os sensores de monitoramento da precipitação, turbidez e nível na tubulação a montante da vala de infiltração. Foi estruturado o laboratório de armazenamento das amostras e reagentes. A abertura e análise das amostras foram realizadas no LIMA - Laboratório Integrado do meio Ambiente. e LARESO - Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos

Na terceira fase foi realizado o tratamento dos dados brutos dos sensores de nível, turbidez e precipitação. Além disto, foram organizados, tabelados e avaliados por intermédio de análises estatísticas e gráficos, os dados qualitativos do solo e das águas do escoamento pluvial, obtendo-se assim a caracterização quali-quantitativa da vala de infiltração e a avaliação da estrutura na retenção de contaminantes.

Na Tabela 7 é apresentado o procedimento metodológico de cada objetivo da pesquisa com os resultados esperados.

Figura 6-Quadro síntese da estrutura da pesquisa



3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 **Localização da área de estudo**

O Distrito do Campeche localiza-se na parte insular do Município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, perfazendo parte da região sul da Ilha, localizado entre as coordenadas geográficas 27°10' e 27°50' latitude sul, e entre 48°25' e 48°35' de longitude oeste conforme apresentado na Figura 7.

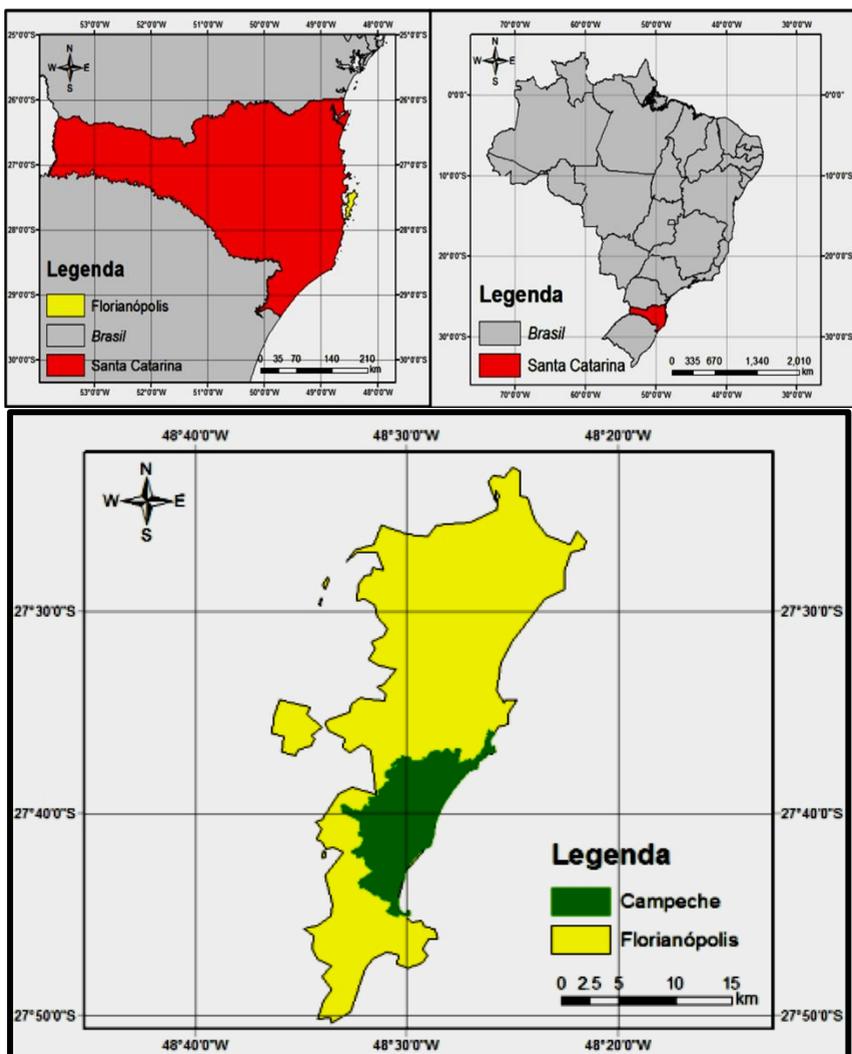


Figura 7- Localização do Distrito do Campeche

3.1.2 Estudo Hidrográfico do Distrito do Campeche

A hidrografia do Distrito do Campeche foi um dos fatores determinantes para a escolha da área de estudo, por estar localizada sobre o aquífero do Campeche. Pacheco (2011) fez uma compilação dos trabalhos de projetos técnicos encomendados pela Prefeitura Municipal de Florianópolis - PMF (Secretária de Obras, Secretária de Habitação e Saneamento Ambiental e Instituto de Planejamento Urbano) e pela Companhia Catarinense de Água - CASAN, além do Plano Diretor dos Balneários - Lei nº 2.193/85, PMF/IPUF (Tabela 11) e sintetizou a hidrografia do Distrito do Campeche (Figura 8) como sendo formada basicamente por:

Lagoa Pequena,

Lagoa da Chica

Nascentes e rios: Rio Tavares, Moca (riozinho do Campeche), Rafael e pequenos ribeirões que afloram na Mata Atlântica do Maciço da Costeira do Pirajubaé (APP) e desembocam próximos à área de exploração de pedras (Pedrita) na planície do Campeche;

Aquífero do Campeche.

Manguezal da Tapera e do Rio Tavares.

Tabela 11-Projetos compilados para caracterização hidrográfica.

Documento	Orgão	Executor/ano
Projeto Final de Engenharia do Sistema de Esgoto Sanitário do Sul da Ilha	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN	Engevix S.A.(2005) Engenharia
Estudo do Manancial Subterrâneo da Costa Leste - Campeche	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN	EPT Engenharia e Pesquisas Tecnológicas (2002).
Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do município de Florianópolis – PMISB.	Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental – SMHSA	Empresa MPB Saneamento Ltda (2009).
Projeto de Macrodrenagem do Distrito do Campeche	Secretaria Municipal de Transportes e Obras	Engevix S.A.(1999). Engenharia

A Lagoa Pequena tem superfície total de aproximadamente 186.372 m², representa o mais importante afloramento do lençol freático da Planície do Campeche e, do ponto de vista hidrogeológico, constitui uma das sub-bacias mais importante da Ilha de Santa Catarina (BARBOSA, 1999). Quando a lagoa inunda e ocupa o leito secundário a água escoam por um canal a sudeste da lagoa e entre dunas formando brejos que lentamente escoam para o Riozinho do Campeche para atingir a praia do Campeche. Apresentam três poços de captação de água para abastecimento em sua área de influência (PACHECO, 2014).

A Lagoa da Chica, cuja superfície total é de aproximadamente 100.000 m², tem como principal função servir de vertedouro natural da drenagem da região, função esta que vem sendo inabilitada devido à ocupação desordenada de seu entorno (PIPI, 2004). Segundo Engevix (1999), na região da Lagoa da Chica também se encontra o afloramento do Aquífero do Campeche, o qual é extremamente vulnerável correndo sério risco de poluição nessa região pelas atividades degradantes da urbanização.

O aquífero do Campeche abrange aproximadamente 39,2 km², ocupando parte do Distrito do Campeche, e sobre a metade leste do Distrito da Lagoa da Conceição. A porção setentrional da área em estudo tem seus limites nos Costões graníticos da Praia da Joaquina e na própria Laguna da Conceição. Mais a oeste encontra-se o cinturão de morros graníticos formado pelos Morros Canto da Lagoa (306m), Morro do Sertão (320m) e Morro do Badejo (241m). Na porção meridional da área os limites são formados igualmente pelo alinhamento do Morro das Pedras (77m), Morro do Ribeirão (440m) e Morro da Chapada (532m) (CASAN, 2002).

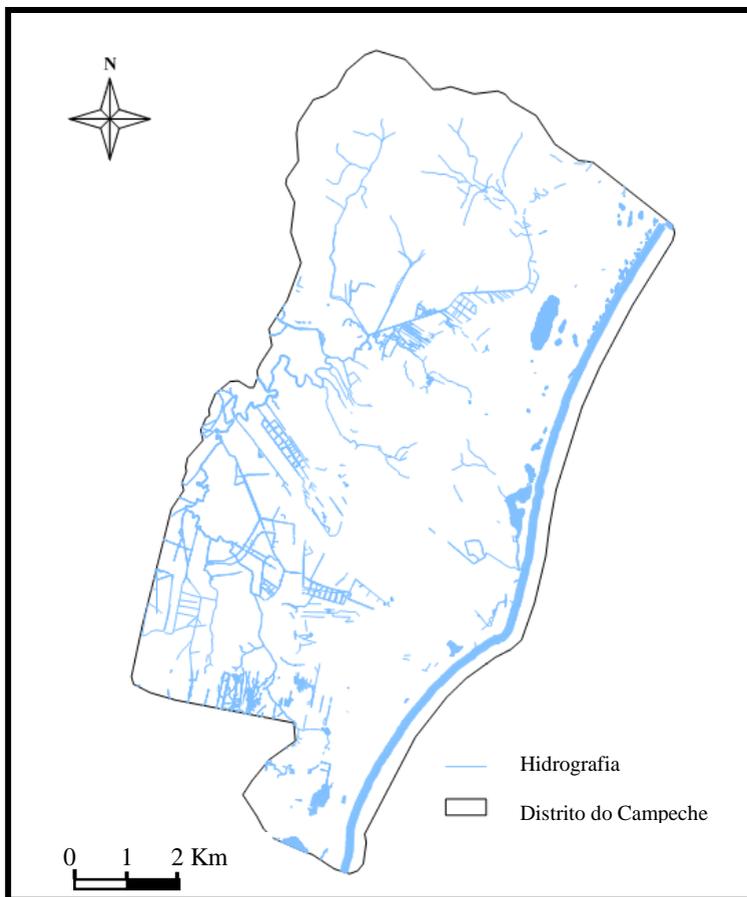


Figura 8 - Imagem dos recursos hídricos encontrados no Distrito do Campeche. (Fonte: PACHECO, 2014)

À área de estudo foi delimitada de acordo com as Unidades Territoriais de Planejamento (UTP), adotadas pela Prefeitura Municipal de Florianópolis – PMF, que consideram a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. As UTP's foram apresentadas no Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

(FLORIANOPOLIS, 2010). O Distrito do Campeche está localizado em duas UTP's: Rio Tavares e Morro das Pedras.

A Bacia Hidrográfica do Rio Tavares possui uma área total de drenagem de 49.238.504 m², sendo suas nascentes localizadas ao leste do maciço central e sua foz no mangue do Rio Tavares na baía Sul. Durante este percurso, o Rio Tavares recebe contribuição de águas do maciço Sul e do Morro do Lampião, percorrendo desde áreas de grande biodiversidade até áreas com alta densidade demográfica.

A Bacia hidrográfica do Morro das Pedras possui uma área de drenagem de 10.798.994 m², sendo que esta engloba toda a faixa costeira e área de preservação das Dunas do Campeche. Nela estão localizados os dois importantes afloramentos do Aquífero do Campeche, a Lagoa Pequena e lagoa da Chica. Ambas as regiões dessas lagoas são áreas de preservação criadas pelo Decreto Municipal n.º 135/88 que estabelece que estas áreas sejam patrimônio natural e paisagístico do Município. Porém nenhuma das duas possui plano de manejo e as ocupações irregulares ainda não foram removidas (Florianópolis, 2009). A bacia do Rio Tavares e do Morro da Pedras estão sobre o Aquífero do Campeche. Este é um aquífero predominantemente livre, composto por areias finas a médias, com intercalação descontínua de níveis areno-argilosos. É recarregado principalmente por infiltração direta da precipitação e sua recarga artificial é advinda dos sistemas locais de disposição de efluentes domésticos (sistemas sépticos) e das perdas do sistema de abastecimento, que embora relevantes, figuram em um segundo plano (PACHECO, 2012).

3.1.3 Seleção da estrutura de infiltração para monitoramento

De acordo com a caracterização ambiental e das características físicas do distrito do campeche (uso e ocupação do solo, rede de drenagem e rede viária), foi selecionada a vala de infiltração através da aplicação dos seguintes critérios:

- Maior área de contribuição
- Presença de áreas comerciais
- Presença de vias com alto fluxo de veículos
- Aspectos construtivos da estrutura de drenagem em função do risco de poluição e facilidade de amostragem.

Para a integração da informação dos mapas da hidrografia, rede viária, bacia de contribuição, hipsometria e da rede de microdrenagem foi utilizado o sistema SIG através do QuantumGis 2.1 e do programa Autocad 2011. A figura síntese (Figura 9) foi obtida pelo cruzamento da tabela de atributos de cada plano de informação utilizandoo SIG, o que permitiu escolher as estruturas mais relevantes. Nesse trabalho apresentamos a vala de infiltração da Avenida Pequeno Príncipe que foi o objeto de todo o estudo.

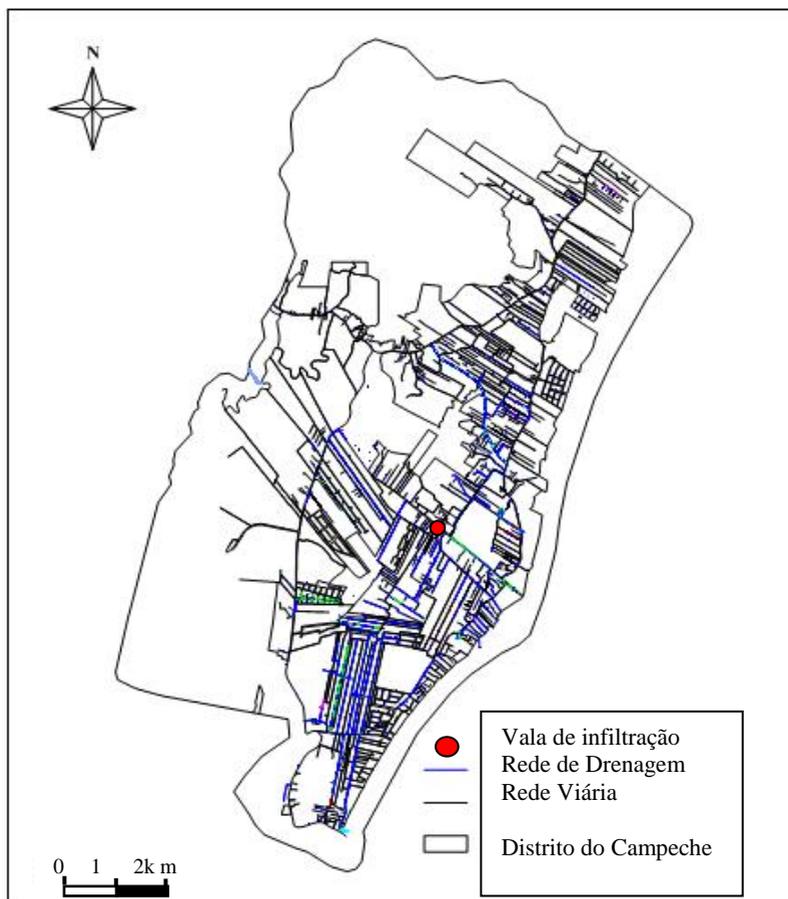


Figura 9-Figura síntese para a seleção da estrutura a ser monitorada. (Fonte: PACHECO, 2014)

3.1.4 Caracterização da vala de infiltração

A vala de infiltração selecionada para o monitoramento é utilizada pela prefeitura de Florianópolis desde a década de 70. As tubulações de montante e de

jusante são de 60 cm e 50 cm de diâmetro, respectivamente (Figura 10).

Para o monitoramento da estrutura e para avaliá-la como uma técnica compensatória foram realizados alguns ajustes na estrutura como manejo do fundo da vala, limpeza e manutenção das laterais e taludes e limpeza com hidrojato da tubulação a montante da Vala de Infiltração.

Dimensões da Vala de Infiltração	
Comprimento (m)	10,5
Largura Superior (m)	2,9
Largura inferior(m)	1,6
Profundidade	1,1
Área do fundo d vala (m ²)	16,8



Figura 10-Vala de infiltração

A área de contribuição direta para a vala de infiltração está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Tavares, paralela à principal via de acesso do Distrito do Campeche. Esta foi determinada a partir de levantamento planialtimétrico, totalizando uma área de 17,910 m² sendo composta por uma área mista, constituída por ocupação comercial, residencial e de intenso fluxo viário (Figura 11).

No levantamento topográfico da área de contribuição foram cadastrado todos os elementos de drenagem como bueiros, boca de lobos, tubulações, canaletas, e a distinção das áreas permeáveis e impermeáveis. O processamento dos dados topográficos foi feito no programa topoGRAPH e AutoCAD. A área de contribuição apresenta 79,8% de área impermeável e 20,15% de área permeável, formada por solo exposto arenoso. A rede foi projetada de forma que somente o primeiros lotes da avenida contribuam para a vala, o resto da drenagem dos lotes é lançado para rua paralela à avenida Pequeno príncipe, onde são utilizados "sumidouros" de drenagem, ou seja, parte da rede é interligada na vala e a outra parte drena para bocas de lobo que promovem infiltração (sumidouros de drenagem).

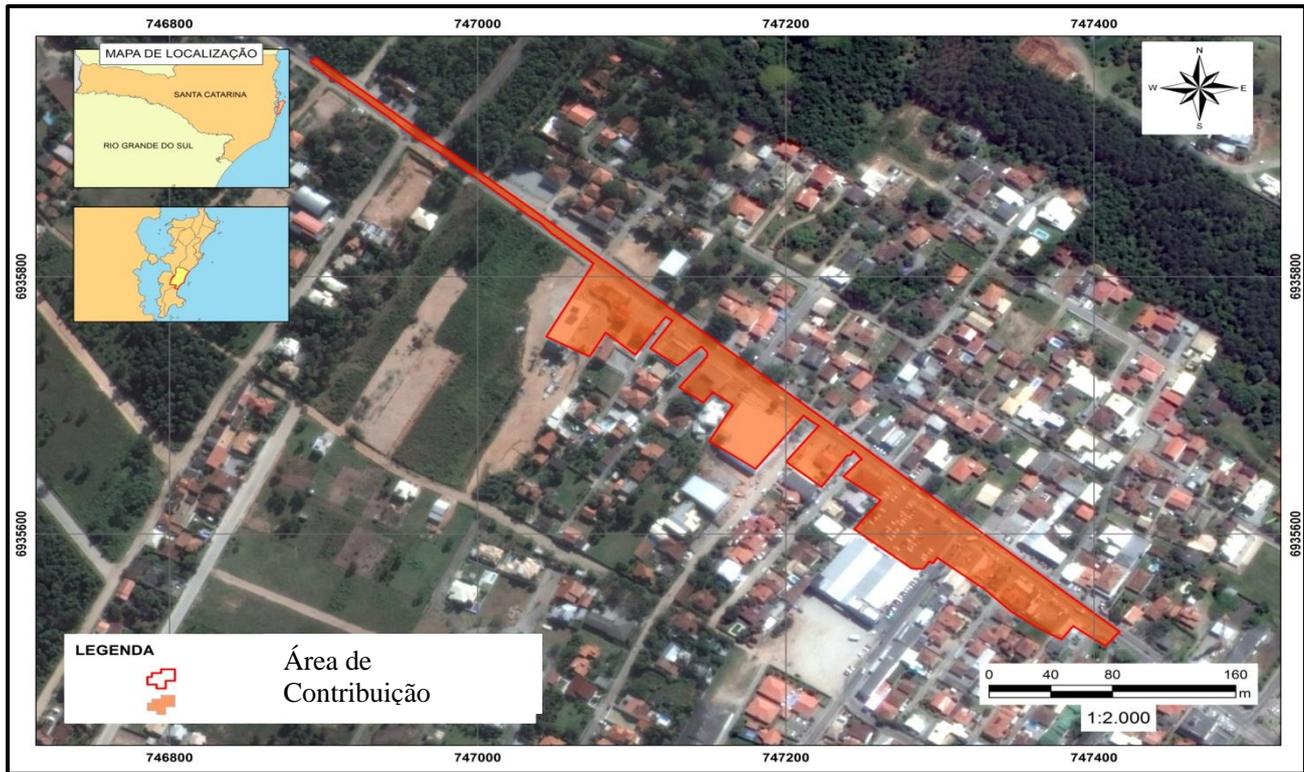


Figura 11-Área de contribuição para vala de Drenagem.

Foi realizado um diagnóstico da vala de infiltração com a caracterização hidrológica da bacia contribuinte e do solo. As análises do solo foram: granulometria, teor de matéria orgânica, pH em Água, pH em cloreto de potássio, Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e metais pesados. Além disso, foi avaliado o desempenho da estrutura no controle do escoamento superficial através do balanço hídrico e seu comportamento como técnica compensatória de drenagem. Na caracterização hidrológica da bacia foi analisada a série histórica de precipitação (1930-2015) e o número de dias com chuvas.

3.2 INSTRUMENTALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DA VALA DE INFILTRAÇÃO

Os instrumentos foram instalados na vala de infiltração conforme mostrado no croqui da Figura 12. A precipitação foi medida a partir de um pluviógrafo de balança instalado em um lote residencial ao lado da vala de infiltração, por medidas de segurança do datalogger e para evitar vandalismo com os equipamentos. Na entrada da vala, em um prolongamento da tubulação executado em aço inóx foram implantados um sensor de nível e um turbidímetro. Neste prolongamento em inóx foi instalado um amostrador automático ascendente, desenvolvido pelo projeto, que serviu para a coleta de amostras para análise da qualidade da água de escoamento superficial que entra na vala. Na tubulação de concreto na saída da vala foi implantado um segundo sensor de nível de mesma marca e modelo. Foram implantados também três poços de monitoramento das águas subterrâneas, um a montante e dois a jusante da vala, de acordo com a direção do fluxo subterrâneo. Os registros das informações coletados nos equipamentos foram armazenados em um datalogger localizado em caixa metálica no poste do pluviômetro, sendo mantida a energia por placa de energia solar.

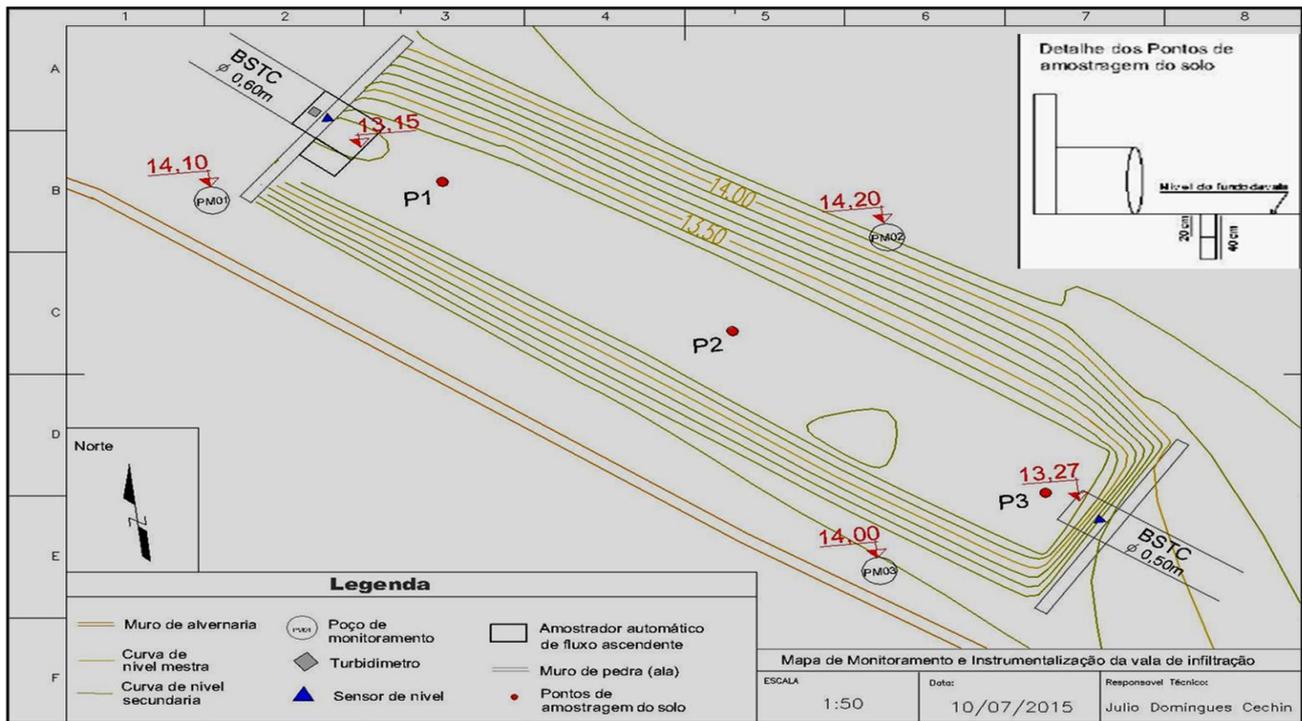


Figura 12- Croqui com os pontos de Monitoramento e Instrumentalização da Vala de Infiltração (P1, P2 e P3- Pontos de amostragem do solo).

Os instrumentos instalados para o monitoramento quali-quantitativo da Vala de Infiltração e o período de monitoramento foram sintetizados na Tabela 12.

Tabela 12-Instrumentalização da Vala de Infiltração

Instrumento	Monitoramento	Período de Monitoramento.	de
Pluviógrafo- SL2000P (Figura 13)	Variação temporal da precipitação	30/04/2014 30/04/2015	á
Sensor de Nível e Vazão Submersível - SL2000NV	Vazão de entrada e saída da tubulação	15/07/2014 30/04/2015	á
Data logger	Coleta e armazenamento dos dados do pluviógrafo e dos sensores		
Turbidímetro-SL 2000-TS	Turbidez (Sólidos suspensos)	15/07/2014 30/04/2015	a
Poços	Monitoramento da água subterrânea.	02//03/2015 30/04/2015	a
Amostrador automático Ascendente (desenvolvido pelo projeto)	Coleta e amostragem das águas do escoamento superficial	27/07/2015 30/04/2015	a



Figura 13- Pluviógrafo com datalogger.

O pluviógrafo foi instalado em Abril de 2014, sendo que os dados pluviométricos foram validados com os dados de precipitação da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, localizada no Distrito do Pântano do Sul (Figura 14) a distância de 5,34 km.

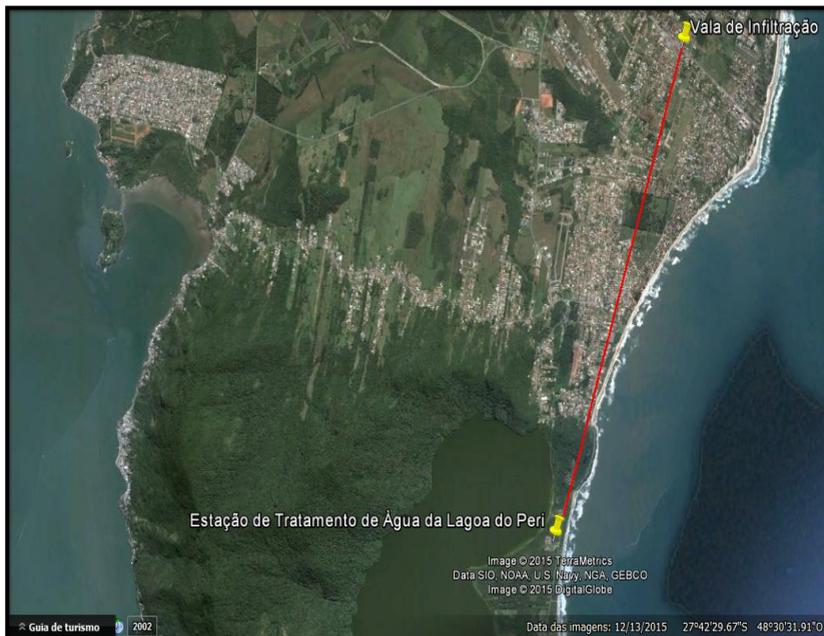


Figura 14- Localização da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri. (Fonte: Google Earth. Acessado em junho de 2015).

Os sensores de nível foram calibrados na empresa Solar Instrumentação para obtenção da curva do sensor de nível. Após um mês de funcionamento foi realizado o teste com régua em campo para analisar a sensibilidade dos sensores na subida e descida do nível.

3.2.1 Amostrador automático

Foi desenvolvido pela autora do trabalho um amostrador de nível ascendente (Figura 15) com nove níveis de coleta, composto de uma tubulação de inox de 60 cm de comprimento por 60 cm de diâmetro encaixado dentro da tubulação de concreto que chega à vala de infiltração, junto com uma caixa de armazenamento dos frascos de coleta. Os frascos foram posicionados para realizar as coletas em 9 níveis diferentes (Tabela 13), com um sistema de respiro.



Figura 15-Amostrador Automático de Fluxo Ascendente.

Tabela 13- Níveis dos frascos de coleta do amostrador automático.

Amostra	Altura da entrada da amostra em relação á geratriz inferior da tubulação (cm)
1	0
2	2
3	4
4	7
5	11
6	15
7	19
8	24
9	29

Dentro do prolongamento do amostrador automático foram instalados o sensor de nível e o turbidímetro conforme já mencionado anteriormente (Figura 16). Para o bom funcionamento destes sensores devem ser feitas limpezas periódicas no turbidímetro e calibração mensal dos sensores de nível.



Figura 16- Instalação do sensor de nível e do turbidímetro

3.2.2 Programa de amostragem

Foram monitorados o solo e água do escoamento superficial. Nas Tabela 14 e Tabela 15

Tabela 15, respectivamente, são apresentadas a síntese do programa de amostragem, a listagem de equipamentos de coleta utilizados, as análises realizadas e as metodologias utilizadas. A seleção dos parâmetros analisados na água do escoamento superficial foi realizada considerando os seguintes princípios:

- A qualidade do escoamento superficial em geral, verificada na revisão bibliográfica (EPA, 1999; DOTTO, 2006; LE COSTUMER, 2008, FIFI, 2010 e GASTALDINI, 2011);
- pela identificação das fontes potenciais de poluição, a partir do levantamento de uso e ocupação do solo da área de contribuição para a vala de infiltração que apresenta alto fluxo de veículos e posto de abastecimento de combustíveis;
- dos padrões de qualidade da água dos corpos receptores e os padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água, estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357 de 2005 e CONAMA 430 de 2011 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Para a delimitação da frequência de coleta das amostras do escoamento superficial foi delimitado tempo de duração da precipitação, tempo de duração do escoamento superficial na bacia de contribuição e tempo de duração do escoamento na vala de infiltração, sendo o tempo de duração do escoamento que determinou o evento amostrado. Com uma precipitação responsável por formar uma lâmina de água na tubulação a montante da vala, com o mínimo de 5 cm, lamina necessária para encher pelo menos os 3 primeiros níveis do amostrador automático, e altura limite de sensibilidade do sensor de nível. Para os eventos que não ocorreu o enchimento de no mínimo dos três primeiros frascos de coleta, foi considerado amostra única homogeneizada.

Tabela 14-Programa de Amostragem monitoramento do solo

Amostra	Coleta	Tipo de análise	Método USEPA	Método analítico	Equipamentos utilizados
Solo	Trado caneco de 3” (Sondaterra) em três pontos, equidistantes na vala, início meio e fim, em duas profundidades 0-20cm e de 20-40cm.	Analise granulométrica (simples+ sedimentação)		NBR 07181 - 1984 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação) (ABNT, 1984).	Mesa vibratória; Peneiras nº: 3, 2, 1,5, 1, 3/4, 3/8, 4, 10, 16, 30, 40, 50, 100, 200; Densímetro; Termômetro.
		Metais Pesados (µg/L)	USEPA 3051	Espectroscopia de Emissão.	ICP – OES
		Capacidade de Troca Catiônica, (CTC).		TEDESCO et al (1995)	Mesa agitadora horizontal; Balança digital;
		Teor de matéria orgânica (g/Kg)		EMBRAPA (1997)	Peneira 80 mesh; Placa elétrica; Agitador magnético;
		Teor de argila (g/Kg)		TEDESCO et al (1995)	Mesa agitadora horizontal; Densímetro.
	pH em H ₂ O e pH em KCl		EMBRAPA (1997)	Potenciômetro com eletrodo combinado	

Tabela 15 - Programa de amostragem monitoramento da Água do Escoamento superficial. (* mesmos equipamentos de ST).

Amostra	Coleta	Tipo de análise	Método Standard	Método analítico	Equipamento utilizado
Água do Escoamento Superficial	Amostrador automático de nível ascendente	Metais Pesados			
		µg/L			
		P-PO4 (mg/L)	4500-P C	Colorimétrico Ácido Vanadomolybdofosfórico	Chapa Aquecedora Espectrofotômetro
		N-NO ₂ (mg/L)	4500-NO2 - B	Colorimétrico	Espectrofotômetro
		Alc.	2510B	Método Titulométrico de Neutralização	
		Turbidez	2130B	Nefelométrico	Turbidímetro
		ST	2540 B	Gravimétrico	Balança Analítica Mufla Estufa
		SDT	2540 C	Gravimétrico	*
		SST	2540 D	Gravimétrico	*
		DQO (mg/L)	5220 D	Colorimétrico de Refluxo Fechado	Digestor para DQO Espectrofotômetro
COT	5310 B	Combustão de Alta Temperatura	Analizador TOC - 5000A		

3.2.3 Amostragem, separação e conservação da amostra.

O amostrador automático de Fluxo ascendente tem a capacidade de coletar até 9 amostras de 1l por evento. Na Tabela 16 é apresentado o procedimento realizado na chegada das amostras ao laboratório. A abertura e análise das amostras foi realizado no LIMA - Laboratório Integrado de Meio Ambiente, localizado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - ENS, da UFSC.

Tabela 16-Separação e Conservação das amostras.

Parâmetros	Quantidade de amostra	Acidificação
DQO (TOTAL) DQO (SOLUVEL)	10 ml	Acidificar com ácido sulfúrico até pH<2
COT	10ml	Acidificar com HCl até pH<2
SST, SDT e SST.	100 ml	-
Nitrito	10 ml	Congelamento da amostra
Fósforo	10 ml	Congelamento da amostra
Metais pesados	150 ml	Acidificar com HNO ₃
BTEX	40 ml	Ácido clorídrico
HPAS	100 ml	Tiosulfato de sódio

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para análise do comportamento do solo da vala de infiltração foi realizada a caracterização física e qualitativa do solo, para os seguintes parâmetros (Figura 17).

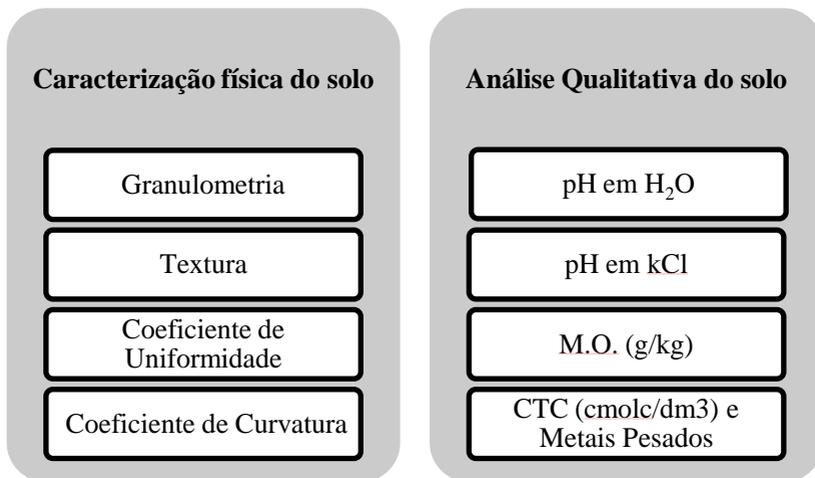


Figura 17-Caracterização do solo

Foram realizadas 3 campanhas de coleta do solo em Abril de 2014, Julho de 2014 e Abril de 2015. Em julho de 2014 foi realizada a Análise granulométrica (simples + sedimentos) no Laboratório de Mecânica dos solos do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. A taxa de infiltração no solo foi avaliada pelo ensaio Duplo Anel ou Anéis Concêntricos (CAUDURO & DORFMAN (s/d)) e a Condutividade Hidráulica foi estimada pelo Slug Test..

As amostras de solo foram coletadas em 03 pontos distribuídos equidistantes ao longo do comprimento da vala e nas profundidades 20 cm, P1, e 40 cm, P2, conforme mostrado na Figura 12. As coletas de solo foram realizadas em Abril de 2014 e Abril de 2015, conforme os métodos apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** s análises foram realizadas no Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias da UFSC.

A textura dos solos interfere diretamente no comportamento do solo afetando parâmetros hidráulicos e mecânicos, assumindo grande importância no estudo da infiltração da água no solo. Ao mesmo tempo em que os vazios proporcionam a rápida penetração da água nos solos, a

estabilidade estrutural das ligações pode ser afetada com o umedecimento decorrente do processo de infiltração.

As amostras de solo para análises granulométricas foram coletadas em 04 pontos distribuídos equidistantes ao longo do comprimento da vala. Para a análise granulométrica as amostras foram coletadas em 2 profundidades 20cm e 40cm. As coletas de solo foram realizadas em Abril de 2014 e Abril de 2015, conforme os métodos apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** As análises foram realizadas no Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias da UFSC.

3.4 COMPORTAMENTO HIDRAULICO DA VALA DE INFILTRAÇÃO

Para análise do comportamento hidráulico da vala de infiltração foi realizado as seguintes atividades de acordo com a Figura 18.

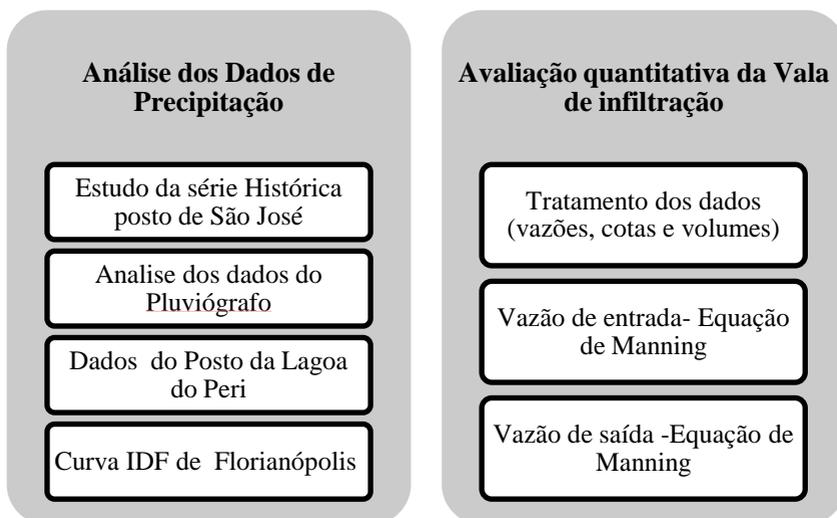


Figura 18-Síntese das atividades realizadas para análise do comportamento hidráulico da vala.

3.4.1 Análise dos Dados de Precipitação

O Distrito do Campeche, assim como Florianópolis, é caracterizado por um clima mesotérmico úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano, verões quentes e inverno ameno

(ANDRADE, 1996), sendo classificada como clima Cfa (clima temperado úmido com Verão quente). A precipitação anual da região oscila entre 1400 e 1600 mm, apresentando uma média de 160 dias de chuva por ano. Na Tabela 17 é apresentada uma sinopse dos dados de chuva para o período de 1948 a 2015, com as precipitações mensais médias, máximas e mínimas e o número de dias de chuva médio, mínimo e máximo observados.

Tabela 17-Sinopse da Precipitação (1948-2015).

	Precipitação máxima (mm)	Precipitação média (mm)	Precipitação mínima (mm)	N.º máximo de dias de chuva	N.º médio de dias de chuva	N.º mínimo de dias de chuva
Jan.	625,00	190,70	28,50	28,00	13,00	9,00
Fev.	436,80	182,70	31,70	22,00	12,09	4,00
Mar	483,80	169,70	28,30	23,00	12,13	8,00
Abril	314,20	128,80	14,10	20,00	12,14	2,00
Mai	443,00	105,70	3,40	22,00	12,13	3,00
Jun.	244,70	84,70	5,70	17,00	13,00	0,00
Jul.	503,60	81,00	0,80	21,00	12,17	2,00
Ago	371,90	94,90	3,80	19,00	12,18	2,00
Set.	307,10	113,40	15,10	24,00	12,20	4,00
Out.	339,00	128,70	36,10	26,00	12,22	7,00
Nov	614,90	130,90	11,90	28,00	12,24	8,00
Dez.	365,50	139,00	25,60	24,00	12,25	8,00

FONTE: INMET- Estação Meteorológica de São José.

O estudo da série histórica é um elemento importante para a análise do controle quantitativo da vala de infiltração, bem como na sua capacidade de controle na poluição difusa, visto que são dados de longo período e que os dados gerados no pluviômetro do projeto instalado na vala apresentam o registro somente de um ano de observação.

Para análise dos dados de precipitação foram estimados a partir dos dados do pluviógrafo para cada evento de precipitação, a intensidade, a precipitação acumulada, o período anterior de dias sem chuva.

A equação IDF utilizada foi a de Pompeu (2001 apud POMPEU,1992) (3) ajustada para a estação pluviométrica de São José com dados de 1921 a 1972.

$$i = \frac{145T^{0,25}}{(t + 1,18)^{0,34n}} \quad \text{Equação 1}$$

para t 60 minutos

$$i = \frac{597T^{0,32}}{(t-3)^{0,73}} \quad \text{Equação 2}$$

para $t > 60$ minutos

3.4.2 Avaliação Quantitativa da vala de infiltração

Para estimar a vazão de entrada foi realizado o Método dos Flutuadores. Em um dia com a precipitação de 55,6 mm de chuva, foi lançada uma bola de isopor na calha a montante da vala de infiltração. O teste foi realizado em 3 níveis diferentes e em 3 distancias diferentes da entrada da vala : 26m , 27m e 28m e cronometrado o tempo. A partir dos dados de tempo e distancia percorrida pela bola de isopor foi calculada a velocidade do escoamento e estimado 9 valores para o coeficientes de Manning, estimando um Manning médio de 0,061 para a tubulação a montante da vala.

A partir do valor estimado do coeficiente de Manning foi calculado a Vazão de entrada (Q_e) na vala de infiltração. Este foi utilizado para o calculo do balanço Hídrico e para calculo da Concentração Média (CM) e Concentração Média Parcial do Evento (CMPE) nas análises qualitativas da água do escoamento superficial.

A vazão de saída (Q_s) foi calculada considerando que a vala é uma estrutura de retenção, em que parte do escoamento é infiltrado (V_{inf}) e parte é lançado na rede de drenagem. A vazão lançada na rede de drenagem foi calculada pela equação de Manning, considerando o Coeficiente de Manning igual 0,025, considerando fundo da vala com solo arenoso descoberto (PORTO, 2006).

Tabela 18-Teste dos Flutuadores

T (s)	Altura da lamina d'agua cm	y (m)	Distância	Declividade Montante (m/m)	Dm (m)	Θ (graus)	Perimet. molhado	Área molhada	V	n
42	7	0,07	28,450	0,030	0,600	79,889	0,418	0,062	0,677	0,072
46,23	8	0,08	28,450	0,030	0,600	85,667	0,449	0,067	0,615	0,079
47	11	0,11	28,450	0,030	0,600	101,407	0,531	0,079	0,605	0,080
27	12,5	0,125	27,650	0,030	0,600	108,629	0,569	0,085	1,024	0,048
25,86	12,5	0,125	27,650	0,030	0,600	108,629	0,569	0,085	1,069	0,046
28,24	12,5	0,125	27,650	0,030	0,600	108,629	0,569	0,085	0,979	0,050
25,95	11,5	0,115	26,850	0,030	0,600	103,854	0,544	0,081	1,035	0,047
31,31	11,5	0,115	26,850	0,030	0,600	103,854	0,544	0,081	0,858	0,057
38	10	0,1	26,850	0,030	0,600	96,379	0,505	0,075	0,707	0,069

Para o estudo do Comportamento Hidráulico da vala foi realizado o balanço hídrico de acordo com a equação:

$$P + Q_e = ET + Q_s + \Delta S \quad (1)$$

Em que:

P é a precipitação;

Q_e e Q_s são fluxo de água entrando e saindo da bacia;

ET é a evapotranspiração; e

ΔS é a variação no armazenamento de água.

O volume de armazenamento foi estimado pela diferença de cota registrada pelos sensores de nível a montante e a jusante da vala de acordo com a Equação 5:

$$V_{arm} = (H_e - H_s) * A_b \quad (3)$$

V_{arm}- Volume armazenado

H_e- Cota de entrada

H_s-Cota de saída

A_b, área da base da Vala de Infiltração

E o Volume infiltrado foi calculado por

$$V_{inf} = V_e - V_{arm} - V_{evap} - V_s$$

Para a análise do comportamento hidráulico foi plotado o hidrograma da Q_e, Q_s e Q_{inf} e os gráficos dos volumes acumulados, verificando o controle do volume escoado.

O volume de armazenamento não foi considerado para todos os eventos, pois como a tubulação a jusante estava no mesmo nível da tubulação a montante, dependendo da intensidade da chuva, a água já escoava para a rede de microdrenagem do Campeche.

Assim, após plotar e analisar os gráficos (balanço hídrico, volume acumulado) dos 19 eventos avaliados, foi gerado uma matriz de avaliação da vala como técnica Compensatória de infiltração considerando os seguintes parâmetros: V_{inf} (volume infiltrado), V_s (Volume de saída), % V_{infil} (porcentagem infiltrada em cada evento), t_{asc} (tempo de ascensão da chuva), H_s (altura da lamina) e D (dias antecedentes sem chuva).

3.4.3 Avaliação da taxa de infiltração

Foi realizado três Ensaio dos Anéis Concêntricos na vala de infiltração, obtendo-se um valor final constante de 21mm/h ($5,95 \times 10^{-6}$ m/s). Dentro do intervalo de taxa de infiltração para solos franco arenoso de 20-30mm/h(referência).(Figura 19)

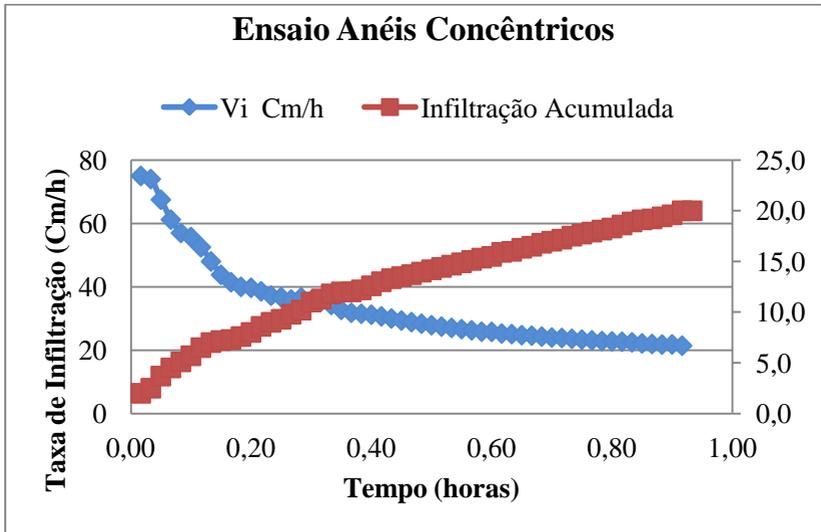


Figura 19-Taxa de infiltração pelo ensaio dos Anéis Concêntricos.

Para determinar a condutividade Hidráulica foi realizado o Slug test e seus dados foram analisados pelo método Hvorslev. O Slug test foi realizado para os 3 poços (Figura 20) de monitoramento instalados ao redor da vala de infiltração, sendo apresentado na tabela o resultado da Condutividade Hidráulica. O teste de Slug normalmente traz resultados para a condutividade hidráulicos, mais representativos e menos influenciados por condições muito específicas do solo que podem ocorrer nos testes com os anéis concêntricos.

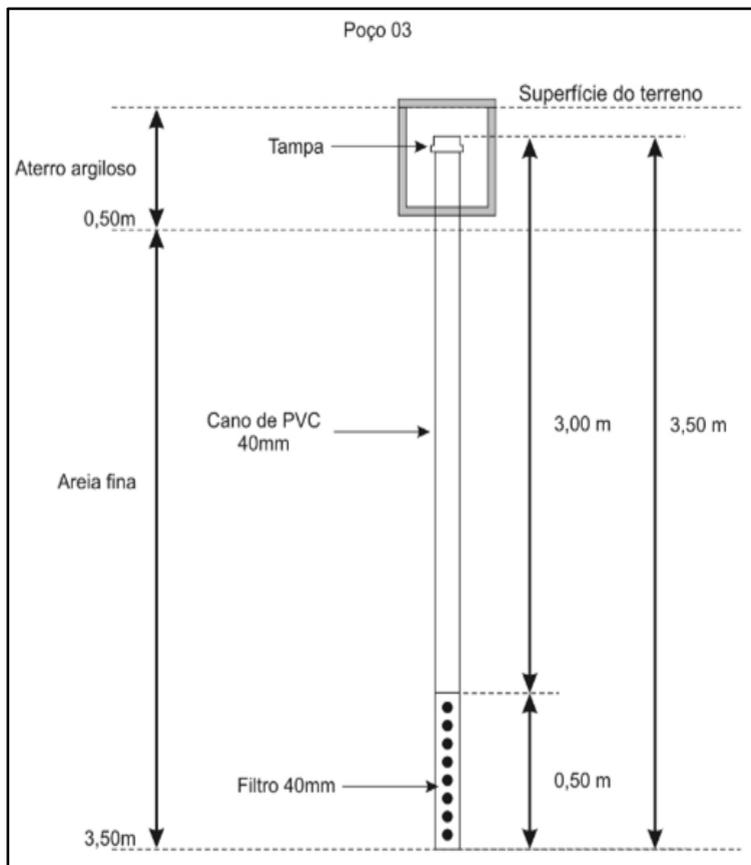


Figura 20 - Croqui dos poços de Monitoramento

Após o balanço hídrico foi realizado um estudo de comparação da taxa de infiltração por evento com a taxa de infiltração encontrada pelo Ensaio dos anéis concêntricos.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

As estatísticas descritivas podem ser agrupadas em 3 tipos distintos: (a) medidas de tendência central; (b) medidas de dispersão e (c) medidas de assimetria e de curtose.

Foi avaliada a correlação da concentração de contaminantes no escoamento superficial com o volume do escoamento, com os dias de

seca precedentes e a concentração de sólidos suspensos e sólidos totais. Além disto, foram avaliadas as medidas de tendências centrais e de dispersão considerando as variações sazonais e as variações mensais dos contaminantes. Estes foram representados pelos gráficos de Box Plots, obtendo-se assim, informações sobre a forma, valores representativos, dispersão e valores discrepantes da representação.

Os testes de correlação dos dados quantitativos e qualitativos foram realizados para todo o período de monitoramento. A partir desses resultados foram selecionados os parâmetros a serem analisados mais detalhadamente no evento. Foram realizados três diferentes testes para analisar o grau de correlação entre as variáveis, um paramétrico e dois não paramétricos. Os testes foram realizados de acordo com os parâmetros de qualidade que foram analisados e estavam disponíveis, ou seja, primeiro considerou-se os eventos com análises de metais pesados, para os 5 primeiros eventos 04/ago, 12/08, 25/08, 31/08 e 02/08. Segundo, as análises que tiveram nutrientes e terceiro os testes de correlação entre os dados de matéria orgânica, sólidos e turbidez.

Para análise totalizadora dos dados utilizou-se ACP - Análise dos Componentes. De acordo com Dechesne (2004), grandes conjuntos de dados brutos frequentemente contêm correlações entre variáveis medidas que são difíceis de analisar com estatísticas comuns. Análise de Componentes Principais (PCA) é comumente usado para revelar as relações em conjuntos de dados complexos (Jackson, 1991). Como outros métodos estatísticos multivariados, PCA é útil na redução da dimensão dos dados, mantendo informações importantes e que representam variáveis de uma forma que pode ser facilmente interpretadas. A matriz de variância-covariância da matriz de dados inicial é explicada através de um pequeno número de componentes principais (PCs).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

OS resultados são apresentados. Inicialmente são apresentados os resultados relativos à caracterização do solo na vala de infiltração. Em seguida são apresentados os resultados relativos ao monitoramento do funcionamento hidráulico da vala através da análise de seu balanço hídrico e da apresentação da matriz de avaliação da vala como técnica compensatória. A terceira etapa da seção é composta pela análise qualitativa do escoamento superficial que adentra a vala.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.1.1 Caracterização Física do Solo

A análise granulométrica do solo foi realizada em duas profundidades A(0-20cm) e B(20-40cm), em 4 pontos equidistantes no fundo da vala, para avaliar como a entrada e distribuição do escoamento superficial na vala interfere na mudança de textura do solo longitudinalmente. Os resultados da análise textural do solo são mostrados nas curvas granulométricas apresentadas na Tabela 19 e Figura 21.

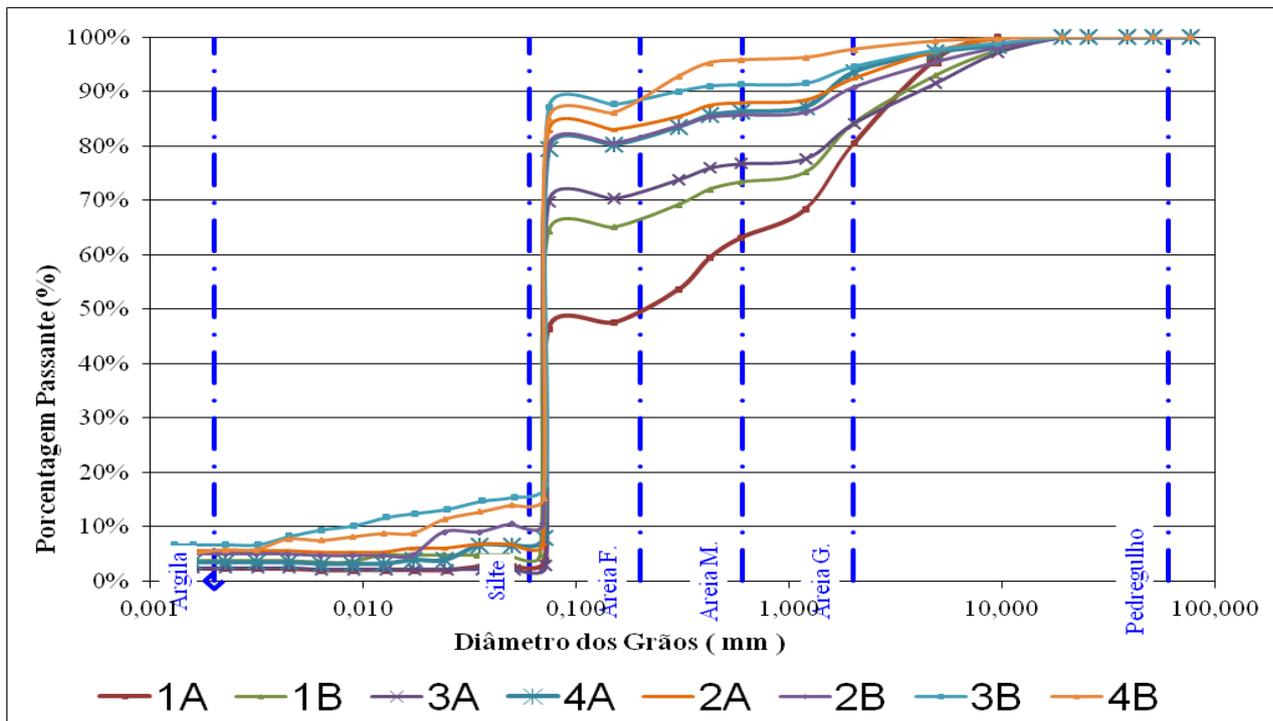


Figura 21-Curva Granulométrica

Tabela 19- Caracterização Granulométrica do solo

Ponto de Coleta	Argila	Silte	Areia			Pedreg.
			Fina	Média	Grossa	
1						
0-20	2,27%	1,64%	43,70%	15,54%	17,32%	19,54%
20-40	3,80%	1,01%	60,28%	8,31%	10,78%	15,82%
2						
0-20	5,62%	1,18%	76,16%	4,91%	4,45%	7,68%
20-40	5,05%	5,49%	69,95%	5,14%	5,09%	9,28%
3						
0-20	2,49%	0,37%	67,50%	6,41%	7,39%	15,84%
20-40	6,79%	11,01%	69,88%	3,60%	3,32%	5,39%
4						
0-20	3,46%	4,57%	72,19%	6,10%	7,28%	6,40%
20-40	5,85%	9,49%	70,73%	9,68%	1,95%	2,30%

O solo foi classificado como Areias Quartzosas não-hidromórficas descoloridas, Neossolo. De acordo com a curva granulométrica o solo pertence à classe textural areia franca (Figura 22), predominando areia fina no perfil do solo, sendo que o teor máximo de argila mais silte não chegou a 17%.

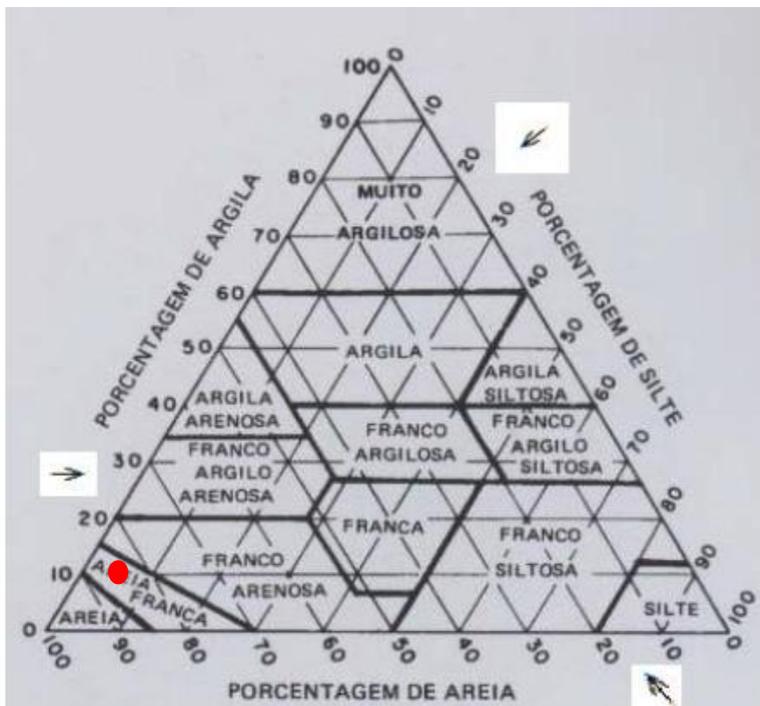


Figura 22-Triângulo para determinação de classes texturais. (USDA 1967)

As amostras 1A, 1B e 3A, entretanto, apresentaram maior teor de material fino do que as demais indicando que pode haver a presença de material filtrado vindo do escoamento superficial. Para finalizar a caracterização física do solo foi calculado o coeficiente de não uniformidade e o coeficiente de curvatura (Tabela 20).

Tabela 20-Análise da uniformidade das curvas granulométricas do solo da vala de infiltração

1	D10	D30	D60	$C_{nu} = D60/D10$	$CC = d_{30}^2/(d_{60} \times d_{10})$
0-20	0,09	0,074	0,074	0,84	0,84
20-40	0,07	0,074	0,074	1,00	1,00
2					
0-20	0,07	0,074	0,074	1,06	1,06
20-40	0,07	0,074	0,074	1,07	1,07
3					
0-20	0,07	0,069	0,074	1,06	0,92
20-40	0,01	0,074	0,074	8,41	8,41
4					
0-20	0,07	0,074	0,074	1,03	1,03
20-40	0,02	0,074	0,074	3,70	3,70

* Coeficiente de não uniformidade, **Coeficiente de Curvatura

Quanto mais uniforme a Curva Granulométrica, mais mal graduado será classificado o solo. Assim de acordo com os valores do C_{nu} e do CC o solo é uniforme e mal graduado. A uniformidade do solo é classificada em $C_{nu} < 5$ muito uniforme $5 < C_{nu} < 15$ uniformidade média $C_{nu} > 15$ não uniforme, e o coeficiente de curvatura é $1 < CC < 3$ solo bem graduado $CC < 1$ ou $CC > 3$ solo mal graduado.

A baixa porcentagem de argila no solo em média 3,46% de 0-20 e 5,37% de 20-40cm, e a alta porcentagem de areia faz com que este solo seja inapropriado para infiltração de águas residuárias pluviais, devido a baixa retenção de contaminantes pelo solo. De acordo com Carvalho (2005), solos arenosos possuem uma alta permeabilidade e uma alta taxa de infiltração não sendo adequados para estruturas de infiltração pluvial, somente se utilizar sistemas de pré-tratamento.

A entrada da vala apresentou uma maior porcentagem de pedregulho (19,54%), devido a resíduos sólidos de obras (Tabela 19), carreados pelo escoamento superficial. Sendo que na época da coleta para o Ensaio de Granulometria estava ocorrendo reforma nas edificações do comércio local.

4.1.2 Análise qualitativa do solo

Para complementar a avaliação do solo da vala de infiltração na retenção de contaminantes foi realizada a caracterização físico-químicas do solo (Tabela 21). Estes parâmetros juntamente com as características físicas do solo configuram o comportamento da vala de infiltração na injeção de contaminantes para o ambiente subterrâneo, que podem influenciar no transporte de contaminantes para o aquífero.

Tabela 21- Características químicas do solo da vala de infiltração.

Ponto de Coleta	Data da Coleta	pH em H ₂ O	pH em kCl	M.O. (g/kg)	CTC (cmolc/dm ³)
Ponto 1					
0-20	abr/14	6,80	6,54	23,63	3,73
	abr/15	8,69	-	19,10	3,60
20-40	abr/14	7,18	6,64	16,77	4,75
	abr/15	-	-	-	-
40-60	abr/14	6,96	6,74	22,48	3,56
	abr/15				
Ponto 2					
0-20	abr/14	6,46	6,16	20,77	3,95
	abr/15	10,14		13,03	2,41
20-40	abr/14	7,42	7,59	9,34	5,50
	abr/15	8,91		28,00	2,40
Ponto 3					
0-20	abr/14	7,22	7,25	33,35	6,11
	abr/15	9,64	-	29,11	2,67
20-40	abr/14	7,62	7,1	31,06	6,23
	abr/15	8,8	-	29,38	3,87

O pH apresentou valores quase sempre básicos e com uma nítida tendência de aumento de um ano para o outro. O teor de matéria orgânica apresentou-se variando entre 9,34 e 33,35 mg/l e pode-se verificar um aumento entre as duas amostragens. Normalmente o pH em solos arenosos é ácido, os valores atípicos de pH que foram bem próximos da neutralidade nas coletas de 2014 em média 7 e básico nas coletas de 2015 foram devido aos

altos teores de matéria orgânica, que em solos arenosos costumam ser menores que 10g/kg. Um solo in natura não teria este comportamento, mas como a vala recebe carga de águas residuárias de lavagem de rua altera o comportamento natural do solo.

Porém, segundo Conciani (2011) a matéria orgânica presente no solo, mesmo quando em pequena quantidade, é capaz de contribuir com uma grande parcela da retenção de cátions. Mesmo em solos arenosos, que apresentam, comumente, teor de matéria orgânica inferior a 1%, essa exerce influência significativa nas reações químicas que ocorrem no solo.

Como o pH de todas as amostras foi superior a 5,5, infere-se que não existe alumínio disponível, ou seja, ele não está ocupando cargas da CTC. O mesmo ocorreu com o H^+ , pois com o pH elevado ocorre predominância de hidroxilas (OH). Os valores de CTC foram obtidos a partir das somas das bases de $K + Ca + Mg +$ fator de correção para Na. O solo da vala de Infiltração apresentou uma baixa capacidade de reter cátions em forma trocáveis, assim possuindo uma baixa capacidade de reter poluentes através de trocas de carga.

As concentrações dos metais pesados no fundo da vala são apresentadas na Tabela 22. Para análise dos metais pesados no solo foram consideradas a variação temporal e espacial dos contaminantes. A variação espacial foi analisada em relação ao perfil longitudinal da vala, nas profundidades 0-20cm (perfil A) e de 20-40 cm (perfil B).

A variação dos contaminantes na vala de infiltração é determinada pelos fenômenos hidrológicos de escoamento superficial e infiltração, ou seja, a concentração dos contaminantes ao longo da vala será influenciada diretamente pelo carreamento dos contaminantes pelo escoamento, bem como a variação em profundidade será influenciada pela infiltração da água de escoamento superficial. Para variação temporal foi considerado o intervalo de um ano entre as amostras Abril/2014 e abril/2015.

Tabela 22-Concentração de metais pesados (mg/kg)- Pontos 1 e 2.

	Ponto1A		Ponto 2 A		Ponto 2B	
	abr/14	abr/15	abr/14	abr/15	abr/14	abr/15
Cd	22,40	10,20	19,30	17,40	7,10	14,70
Cu	45,60	35,10	41,50	58,50	31,20	48,40
Pb	51,90	39,40	50,50	52,10	37,30	41,20
Zi	290,50	224,00	279,40	284,30	160,50	257,40
Cr	29,70	29,50	23,40	67,00	41,10	35,00
Mn	448,70	497,20	397,60	474,20	403,20	379,90
Ní	14,80	12,30	11,10	24,80	18,70	16,30

Tabela 23-Concentração de metais pesados (mg/kg)-Ponto 3

	Ponto 3A		Ponto 3B	
	abr/14	abr/15	abr/14	abr/15
Cd	30,90	22,90	23,50	9,10
Cu	78,40	54,00	47,30	31,10
Pb	64,80	50,80	50,70	35,80
Zi	451,40	312,60	309,10	187,90
Cr	33,70	39,70	26,00	24,70
Mn	558,60	467,60	380,80	494,40
Ní	15,00	17,40	11,10	9,90

A maioria dos metais analisados diminui sua concentração entre a primeira (abril/2014) e a segunda (abril/2015) amostragem. Como o aporte de metais deve ocorrer com o escoamento superficial ao longo do tempo pode-se inferir que a redução de concentração no solo demonstra uma baixa capacidade do solo em reter os contaminantes que podem estar sendo lixiviados pelas água do escoamento superficial. Porém, deve-se levar em consideração que alguns metais se ligam a matéria orgânica presente nos solos superficiais, diminuindo sua mobilidade para o ambiente subterrâneo.

Por exemplo, o chumbo que em solos com $\text{pH} \geq 5$ e pelo menos 50 g/Kg de matéria orgânica fica retido na camada superior (entre 2 e 5 cm) (FORTUNATO,2009). Apesar da influência do pH do solo na adsorção dos metais, Amaral Sobrinho et al. (1993) comentam que os elementos relativamente móveis, como o Zn, encontram-se, predominantemente, nas frações: solúvel, trocável e associada a carbonatos, enquanto os de baixa mobilidade estão ligados às frações: óxidos de Fe e de Mn, orgânica e residual. (ANDRÉ,2003)

Nas Figura 23 e tabela 22 são apresentados as estatística descritivas dos parâmetros analisados nos dois perfis do solo de 0-20 e de 20-40. O Zinco apresentou maior variação entre a entrada e a saída da vala, nas duas coletas realizadas.

Tabela 24-Estatística Descritiva- Perfil A (0-20cm)

Parâmetro	2014				2015			
	Média	Mínimo	Maximo	DP	Média	Mínimo	Maximo	DP
Cd	24,20	19,30	30,90	6,01	16,83	10,20	22,90	6,37
Cu	55,17	41,50	78,40	20,22	49,20	35,10	58,50	12,42
Pb	55,73	50,50	64,80	7,88	47,43	39,40	52,10	6,99
Zi	340,43	279,40	451,40	96,26	273,63	224,00	312,60	45,25
Cr	28,93	23,40	33,70	5,19	45,40	29,50	67,00	19,39
Mn	468,30	397,60	558,60	82,27	479,67	467,60	497,20	15,54
Ni	13,63	11,10	15,00	2,20	18,17	12,30	24,80	6,29
pH em água	6,83	6,46	7,22	0,38	9,49	8,69	10,15	0,74
pH em kCl	6,65	6,16	7,25	0,55				
Teor de matéria orgânica (g/kg)	25,91	20,77	33,35	6,59	20,41	13,03	29,11	8,12
CTC (cmolc/dm ³)	4,60	3,73	6,11	1,31	2,89	2,41	3,60	0,63

Tabela 25-Estatística Descritiva- Perfil B (20-40cm)

	2014				2015			
	Média	Mínimo	Maximo	DP	Média	Mínimo	Maximo	DP
Cd	11,87	5,00	23,50	10,13	11,90	9,10	14,70	3,96
Cu	36,37	30,60	47,30	9,47	39,75	31,10	48,40	12,23
Pb	42,20	37,30	50,70	7,39	38,50	35,80	41,20	3,82
Zi	204,30	143,30	309,10	91,17	222,65	187,90	257,40	49,14
Cr	29,43	21,20	41,10	10,38	29,85	24,70	35,00	7,28
Mn	410,83	380,80	448,50	34,49	437,15	379,90	494,40	80,96
Ni	14,50	11,10	18,70	3,86	13,10	9,90	16,30	4,53
pH em água	7,41	7,18	7,62	0,22	8,86	8,80	8,91	0,08
pH em kCl	7,11	6,64	7,59	0,48				
Teor de matéria orgânica (g/kg)	19,05	9,34	31,06	11,04	28,69	28,00	29,38	0,98
CTC (cmolc/dm3)	5,49	4,75	6,23	0,74	3,13	2,40	3,87	1,04

Segundo Nascentes (2006), a mobilidade dos metais é, geralmente, maior em solos arenosos e ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e com baixo teor de matéria orgânica e de argila, sendo este o caso do solo da vala de infiltração. Como análise do solo chegou a valores anômalos de pH básico com alto teor de matéria orgânica teria a necessidade de realizar experimentos de adsorção.

Na correlação entre os parâmetros físico-químicos e a concentração de metais pesados (tabela 23), os dados que possuíram maior correlação significativa positiva foi a relação do cádmio, cobre, chumbo e zinco com o teor de matéria orgânica.

Tabela 26-Correlação entre os parâmetros de solo analisados

	pH em H ₂ O	pH em KCl	Teor de matéria orgânica (g/kg)	CTC (cmolc/dm ³)
Cd	-0,11	-0,04	0,91	0,22
Cu	0,04	0,19	0,83	0,42
Pb	-0,17	-0,06	0,89	0,21
Zn	-0,07	0,05	0,89	0,32
Cr	0,36	0,79	-0,24	0,37
Mn	-0,02	0,18	0,45	0,21
Ni	0,28	0,66	-0,53	0,13

O ponto 2 apresentou uma maior concentração de Cr, Mn e Ni no perfil de 20-40cm em 2014 e o Mn analisado no ponto 3, foi o único metal que aumentou a concentração em profundidade na coleta de 2015. Em relação a variação longitudinal dos metais na vala de infiltração (Figura 23), os metais que apresentaram maior variação no perfil A foram o Zn e o Mn, e no perfil B foi o Zn, sendo que em ambos os perfis o Zn aumentou sua concentração. O Manganês e o Zinco tem a tendência de formar ligações fracas com as partículas do solo permanecendo como cátions trocáveis e facilitando sua mobilidade no solo (Belotti, 2001).

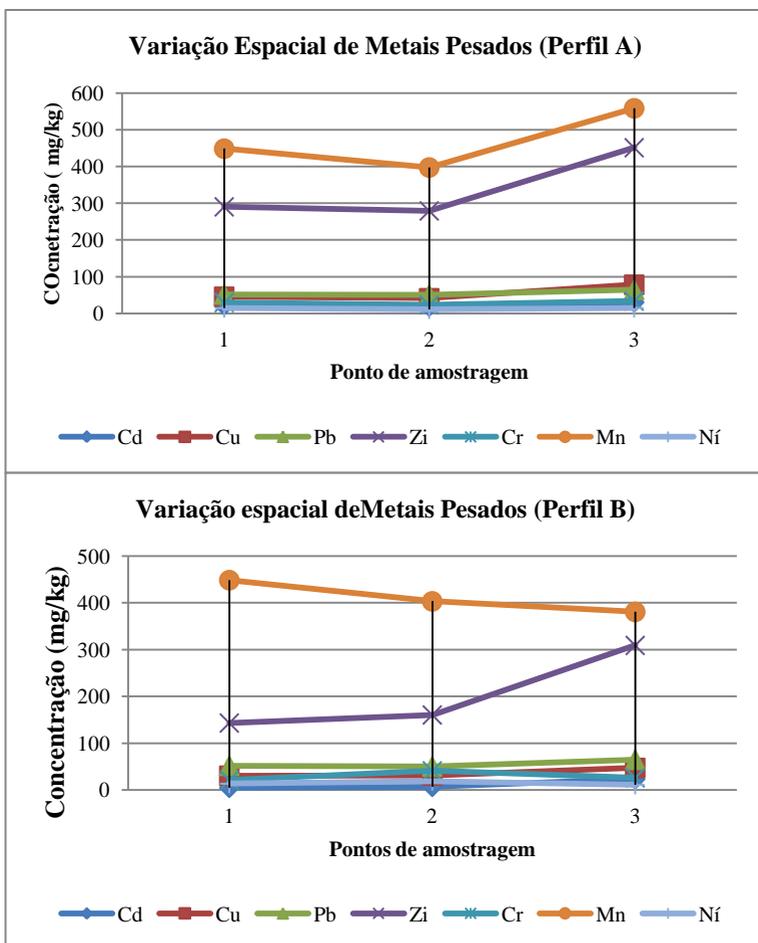


Figura 23- Variação longitudinal de Metais Pesados na Vala de Infiltração-

O pH exerce forte influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} e Cd^{2+}), sendo estes mais móveis em condições de pH baixo, ou seja, em ambiente de maior acidez, principalmente em solos com

elevado grau de intemperização (CAMPOS, 2011). Degryse e Smolders (2006), que estudaram a mobilidade de Cd e Zn em Espodossolos poluídos e não poluídos no norte da Bélgica, afirmam que solos ácidos e de textura arenosa apresentam maior vulnerabilidade à lixiviação e contaminação por metais pesados. Porém, no caso da vala, a lixiviação dos metais pesados pode ser contida pelo pH neutro e alcalino da maioria das amostras.

A complexação de íons metálicos (Cd, Pb, Cr, Ni, entre outros) pela matéria orgânica pode reduzir a atividade desses elementos na solução do solo, atenuando sua capacidade de poluir águas superficiais e subterrâneas (BELOTTI, 2011). Como pode ser visto a correlação positiva entre estes metais e o teor de matéria orgânica no solo da vala e na variação temporal.

Foram utilizados os Valores de Referência de qualidade dos estados de Pernambuco (baseado em Biondi, 2010), São Paulo (Cetesb, 2005), Minas Gerais (COPAM, 2011), Santa Catarina (baseado em Huguen, 2010). Estes dados foram comparados com a concentração de metais pesados encontradas no solo do fundo da vala de infiltração.

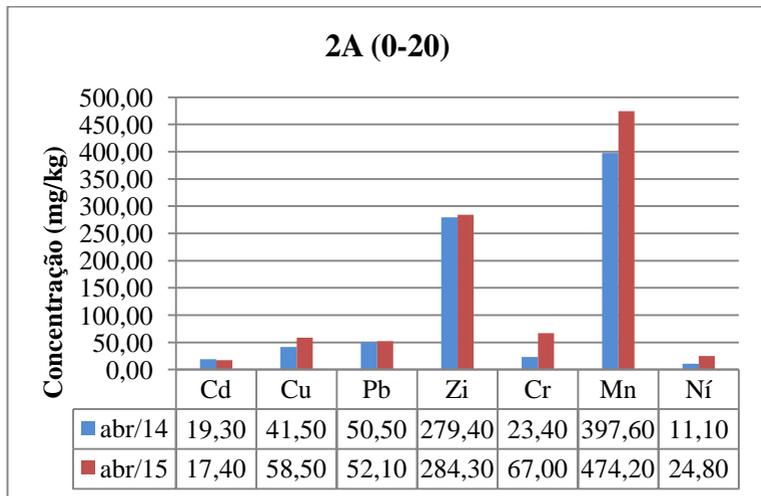
Tabela 27- Valores de referência de qualidade para os Metais Pesados analisados em mg/kg.

	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni
Pernambuco	0,68	5	12	34,5	35	8,5
São Paulo	<0,5	35	17	60	40	13
Minas Gerais	<0,4	49	19,5	46,5	75	21,5
Santa Catarina	-	111	12	61	112	32

Todos os metais analisados apresentaram valores acima do valor de referência de qualidade da CETESB (2005), mas os dados da CETESB foram estimados para locais com baixa interferência humana. O único metal que superou extremamente o valor de intervenção foi o de Cd. Considerando o VLQ para o estado de Santa Catarina, o solo apresentou valores muito superiores para Pb, Zn. A concentração do Pb (0-10 cm) foi 10 vezes superiores ao

encontrado por Belotti (2011) no fundo de uma vala de infiltração instalada na UFMG, que encontrou 4,2 mg/kg, o mesmo para os outros metais.

Nas Figura 24 e Figura 25 são apresentadas a variação temporal dos metais pesados no período de monitoramento, A (0-20) e B (20-40).



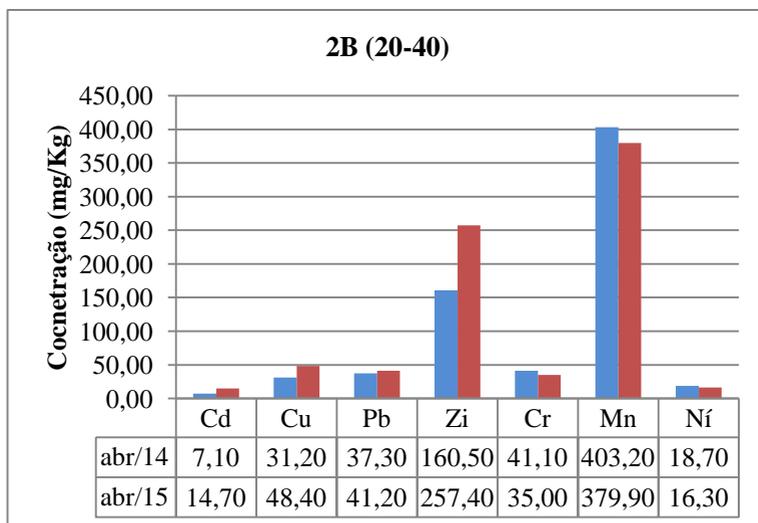
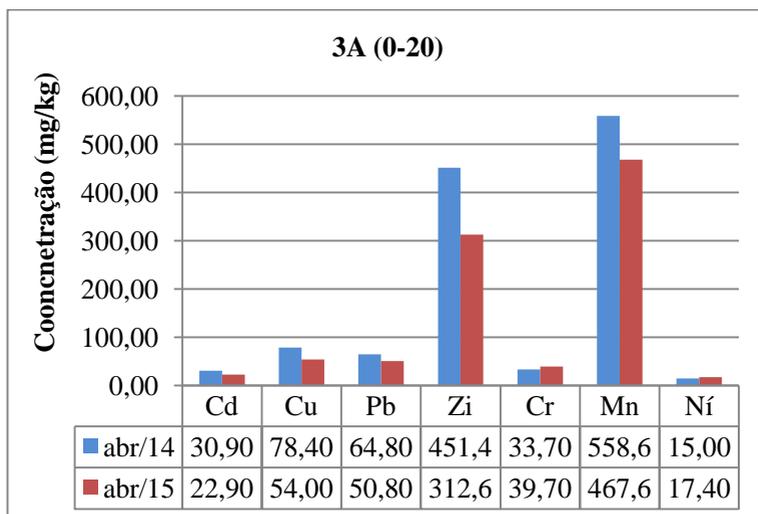


Figura 24- Gráfico da variação temporal de metais pesados no ponto 2A e 2B.



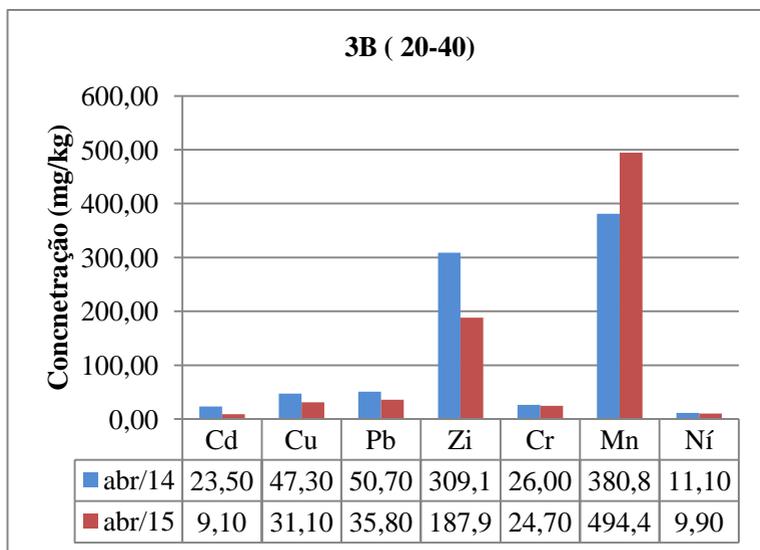


Figura 25-Gráfico da variação temporal de metais pesados no ponto 3A e 3B

Assim, na análise temporal dos metais pesados ocorreu um aumento de 56% na concentração de Cr e de 33% de Ni no perfil A, entre abril/2014 e abril de 2015. O Pb em profundidade teve uma redução tanto em 2014 como em 2015, por ser um dos metais mais fortemente adsorvido pelo solo.

De acordo com a análise do perfil longitudinal da vala não ocorreu um padrão de comportamento dos metais e nem uma redução da concentração destes, evidenciando que estes seguiram pela rede de drenagem até o mar.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

O período de monitoramento da vala de infiltração (Abril/2014 á abril/2015) caracterizou-se por um ano com primavera e verão com totais mensais acima da média e outono/inverno com totais mensais ligeiramente abaixo da média.

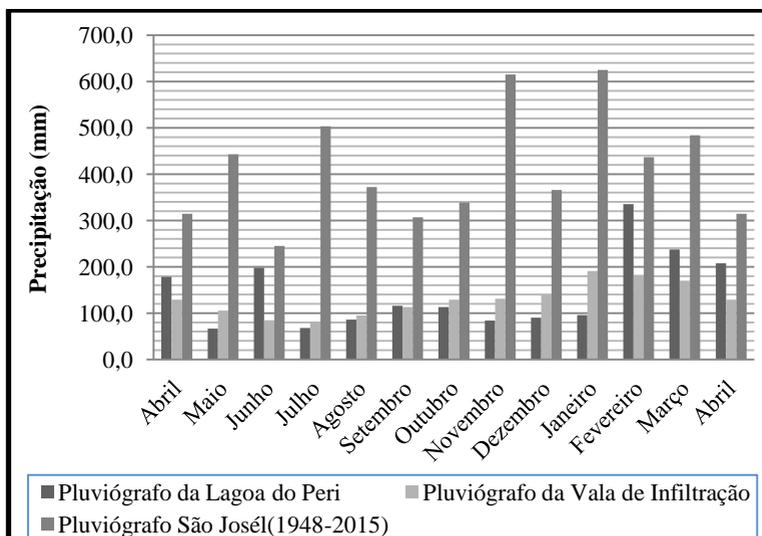


Figura 26-Precipitações Médias Mensais do Pluviógrafo da Vala e infiltração e do pluviômetro de São José.e da Lagoa do Peri.

Segundo Lima (2009), para obras de microdrenagem, o tempo de retorno varia de 2 a 10 anos, sendo dois para áreas pouco densas e residenciais e dez para área comercial, porém na época em que foi realizada a vala de infiltração (década de 70) o distrito do Campeche era uma área predominantemente rural, e atualmente a Av. Pequeno Príncipe está completamente urbanizada, tornou-se a avenida principal de comércio da região, sendo esta mudança mais intensa no últimos 10 anos, como pode ser visto na Figura 27 e Figura 28 (Imagem área de 2002) e (Imagem aérea de 2015), principalmente nas área circuladas, próximas a vala. Com a construção de um Supermercado e o fechamento de uma outra vala de infiltração, aumentou os picos de alagamento na região, mesmo com um aumento de 3% de área impermeável (estacionamento e prédio do mercado).



Figura 27- imagem Aérea da Avenida Pequeno Príncipe em 2002.
(Fonte Google Earth,2015).



Figura 28- Imagem Aérea da Avenida Pequeno Príncipe em 2015.

Na Tabela 28 são apresentados os eventos de precipitação selecionados para a análise da vala de infiltração. Os eventos foram delimitados pelo Tempo de Duração do Escoamento Superficial. A seleção dos eventos aqui apresentados para análise levou em consideração o bom registro da precipitação, do escoamento superficial e a coleta das amostras de qualidade das águas superficiais. Para caracterização dos eventos de 31/01/2015, 09/02/2015 e abril/2015, foram utilizados os dados de precipitação da estação meteorológica do Posto da Lagoa do Peri (fornecidos pela CASAN), devido a problemas técnicos no armazenamento do datalogger do pluviógrafo da vala.

Tabela 28- Características dos eventos de precipitação selecionados para estudo da vala

Evento	t_d (min) ¹	D (dias) ²	Total precip (mm)	Iméd (mm/h)	I^3	T^4 (anos)
04/ago	135,00	2,5	10,4	4,62		0,018
12/ago	345,00	7,0	16	2,78		0,032
25/ago	290,00	9,0	14,2	2,94		0,025
31/ago	372,00	6,0	38,4	6,19		0,461
02/set	189,00	2,5	15,2	4,83		0,045
05/set	162,00	0,9	2,4	0,89		0,000
18/set	93,00	1,0	19,8	12,77		0,187
26/set	135,00	0,1	3,2	1,42		0,000
11/out	295,00	5,0	11,0	2,24		0,011
04/nov	70,00	1,0	6,0	5,14		0,006
31/jan	-	1,0	2,7	-		-
09/fev	-	0,4	3,8	-		-
13/fev	70,00	2,0	55,6	47,66		-
09/mar	560,00	2,0	97,6	10,46		6,026
15/mar	170,00	2,0	26,8	9,46		0,003
02/abr	-	0,5	2,7	-		-
05/abr	-	4,0	0,9	-		-
06/abr	-	0,5	42,2	4,62		0,018
14/abr	-	5,0	42,2	2,78		0,032

(1)Tempo de Duração da Precipitação, (2) Período de estiagem, (3) Intensidade média da Chuva, (4)Período de retorno

Os eventos de maior intensidade foram nos meses de fevereiro e março, sendo que em fevereiro ocorreu a maior precipitação (47,66 mm) para um menor tempo de duração da precipitação (70 min), março ocorreu uma precipitação de 97,6 em 560 min, sendo que em ambos os eventos o período de estiagem foi inferior a 2 dias. Nestes eventos ocorreu o transbordamento da vala de infiltração. O tempo de concentração da área de contribuição foi calculado em 19min, e nesses eventos de maior magnitude a vazão de pico ocorreu em 5 min (13/02/2015) e em 15 min (15/03/2015).

4.3 COMPORTAMENTO HIDRAÚLICO DA VALA DE INFILTRAÇÃO

4.3.1 Avaliação quantitativa da Vala de infiltração

Para análise dos dados brutos do escoamento superficial e do comportamento hidráulico da vala de infiltração foram realizados os seguintes procedimentos:

- Ajuste das leituras dos dados do sensor de nível a montante, de acordo com a cota de coleta do amostrador hidráulico de nível ascendente.

- Cálculo da vazão a montante e a jusante da vala de infiltração, a partir do coeficiente de Manning estimado em campo pelo método dos flutuadores e pela equação de Manning para secções circulares.

- Foi retirado dos registros do pluviômetro e dos sensores de nível o tempo de Duração da Precipitação (min.), tempo de duração do Escoamento Superficial (min.), tempo de Duração do escoamento na vala de infiltração (min.), bem como foi calculado o balanço hídrico de cada evento para avaliar o comportamento hidráulico da vala no controle do escoamento superficial. Sendo os eventos delimitados pelo tempo de duração do escoamento superficial.

- Foram calculados ou preparados a partir dos registros para cada evento de precipitação, a intensidade, a precipitação acumulada, o período de retorno e o período anterior de dias sem chuva. Bem como os dados do escoamento superficial: Cota

máxima na entrada (H_e) e Cota máxima na saída da vala de infiltração (H_s), vazão de pico na entrada (Q_e) e na saída da vala (Q_s).

Os dados foram utilizados para o balanço hídrico da vala, no qual, a variável estimada foi a infiltração. A evapotranspiração foi calculada a partir de dados da estação de São José pelo método de Penman, mas chegou-se a conclusão que seus valores foram baixos, que eram constantes em relação ao mês pelo uso das temperaturas mensais e que sua estimativa seria mais uma fonte de incerteza no cálculo do balanço hídrico. Desta forma decidiu-se por retirar seu cálculo do balanço hídrico e deixar para que seja calculada quando houver a medição de um parâmetro mais preciso e lido no local. O Volume de armazenamento foi considerado somente nos eventos que ocorreu afogamento da tubulação a jusante.

4.3.2 Balanço Hídrico da Vala de Infiltração.

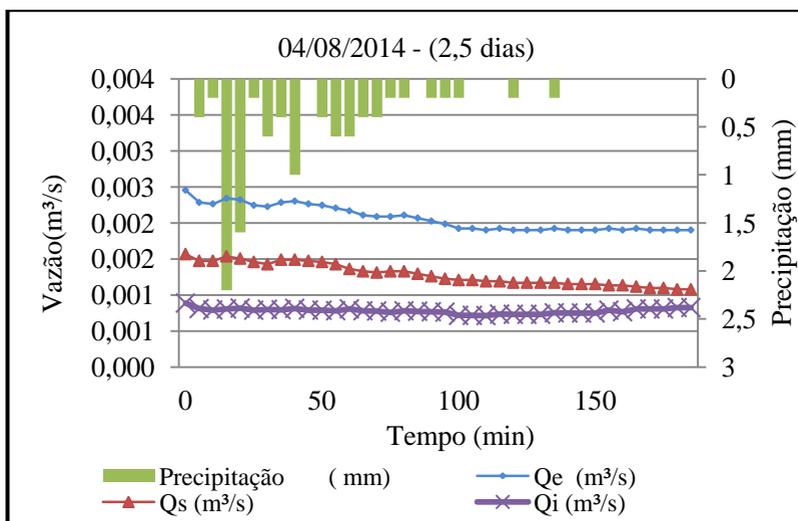
Os eventos de escoamento superficial delimitados para o estudo do comportamento da vala de infiltração são apresentados na Tabela 29. A seleção destes eventos levou em consideração também o fato de haver a coleta de amostras de dados de qualidade, que serão analisados na próxima seção deste trabalho.

Tabela 29-Dados quantitativos da vala de Infiltração

Event.	t_{esc}¹ (min)	t_{escv}² (min)	D (dias)	Total prec. (mm)	H_e³ (m)	h_s⁴ (m)	Qe⁵ (m³/s)	Qs⁶ (m³/s)
04/ago	160	160	2,5	10,4	0,25	0,21	0,0027	0,0018
12/08	325	355	7,0	16,0	0,18	0,14	0,0022	0,0014
25/ago	305	245	9,0	14,2	0,24	0,07	0,0026	0,0010
31/ago	420	426	6,0	38,4	0,14	0,14	0,0019	0,0694
02/set	309	216	2,5	15,2	0,24	0,32	0,0026	0,0018
05/set	708	736	0,8	2,4	0,21	8,75	0,5989	0,0006
18/set	132	138	1,00	19,8	0,20	17,6	0,0011	0,0008
26/set	175	180	0,11	3,2	0,08	0,08	0,0014	0,0008
11/out	326	275	5,00	11,0	0,28	0,27	0,0018	0,0000
04/nov	115	125	1,00	6,0	0,20	0,12	0,0018	0,0013
31/jan	-	-	1,00	2,7	-	-	-	-
09/fev	-	-	0,38	3,8	-	-	-	-
13/fev	115	736	2,00	55,6	0,57	-	42,21	0,0000
09/mar	620	615	2,00	97,6	0,60	0,56	0,0041	0,0109
15/mar	315	615	2,00	26,8	0,02	0,00	0,0029	0,0018
02/abr	-	-	0,50	2,7	-	-	-	-
05/abr	-	-	0,50	0,9	-	-	-	-
06/abr	-	-	2,50	42,2	-	-	-	-
14/abr	-	-	7,00	42,2	-	-	-	-

1-Tempo de Duração do Escoamento, 2- Tempo dede duração do escoamento na vala, 3-Cota máxima de entrada na vala, 4-Cota máxima de saída da vala, 5- Vazão de Entrada na vala e 6- vazão de saída da vala

Para cada evento foram plotados os hietogramas da precipitação, os hidrogramas de entrada e saída da vala e da vazão de infiltração estimada pelo balanço hídrico. Não foi considerado o volume de armazenamento no balanço hídrico para todos os eventos somente naqueles que houve afogamento da tubulação a Jusante. Além disto, foram plotadas as curvas acumuladas das variáveis, para a análise do funcionamento da vala como técnica compensatória de Infiltração. Os primeiros eventos do mês de agosto 04/08/2015, 12/08/2015, 26/08/2015 são apresentados na Figura 29.



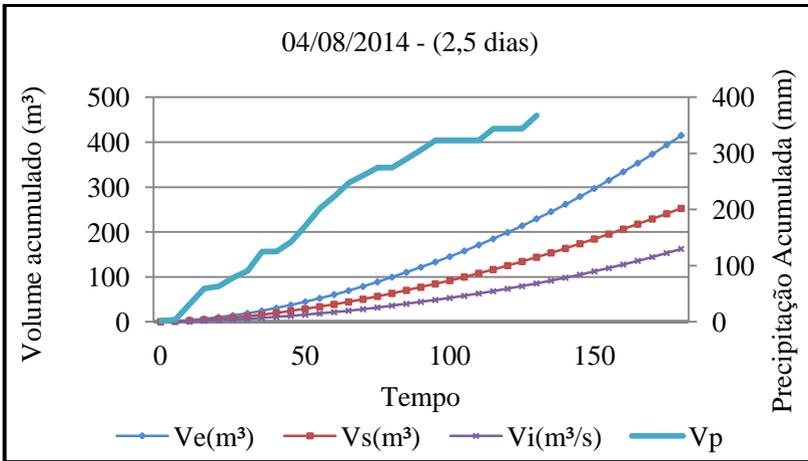
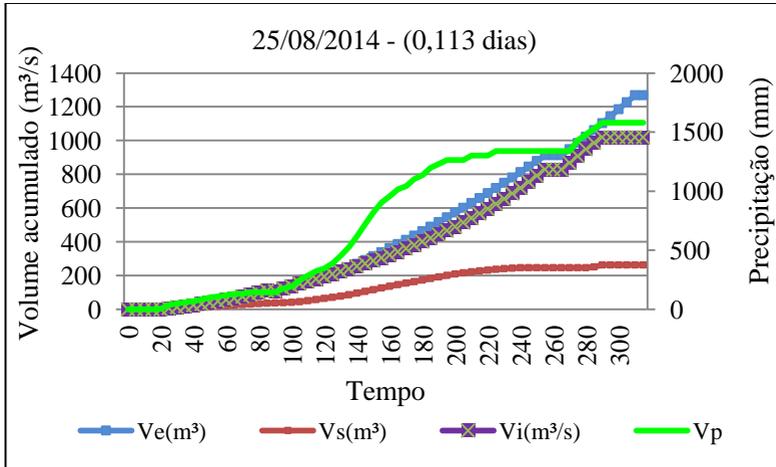


Figura 29 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 04/08/14.



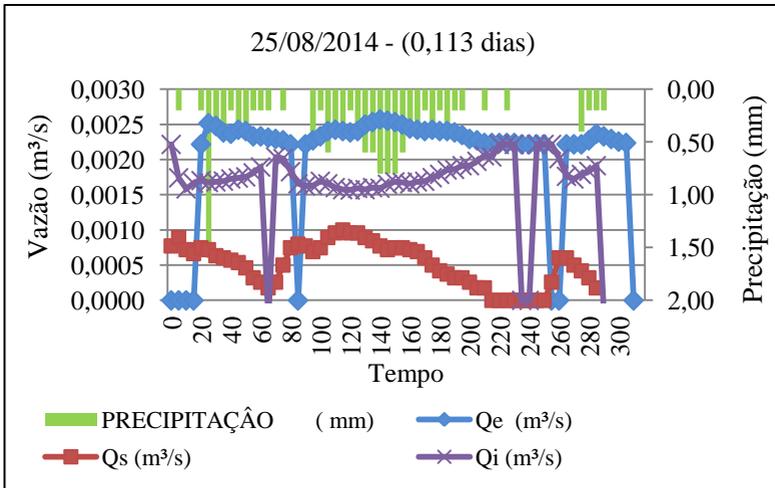


Figura 30 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 25/08/2014

No evento do dia 04/08/2014 devido a saturação do solo, o volume acumulado infiltrado foi somente 39% do volume de entrada, ou seja, prevaleceu o escoamento superficial sobre a infiltração (Figura 29).

Nos eventos dos dias 12 e 25/08/14 o comportamento se inverteu. A vala permite a infiltração em volumes superiores aos volumes escoados que deixam a vala. Neste caso ela faz um bom controle do volume precipitado cumprindo sua função de técnica compensatória para controle de volumes e de pico. Se forem comparadas as intensidades médias verifica-se que estes eventos de 12 e 26/8/14 apresentam intensidade média de 2,7 e 2,93mm/h e que o do dia 4/8 tinha quase o dobro disto, 4,6mm/h.

Pelo hidrograma do evento de 12/08/14 pode-se identificar interferências no funcionamento dos sensores de nível, por exemplo, na Figura 31, ocorreu dois degraus no hidrograma de entrada da vala, que não era relativo ao escoamento superficial da bacia, e sim o registro da retenção de água dentro da vala de infiltração, identificado pelo longo período de esvaziamento da vala, que foi superior em quase 10 vezes o período de esvaziamento da vala no outros eventos.

Nos eventos dos dias 31/08/2014(Figura 31), 02/09/2014 e 05/09/2014, os dados foram armazenados de 3min em 3 min para melhor caracterização dos eventos.

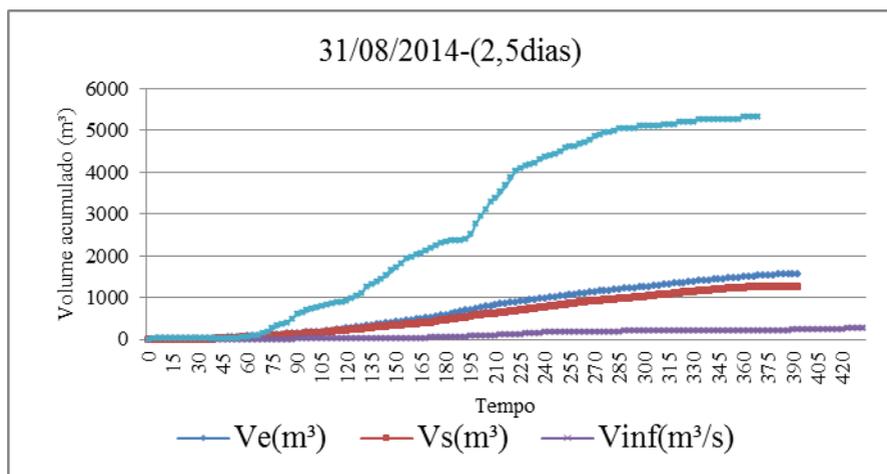
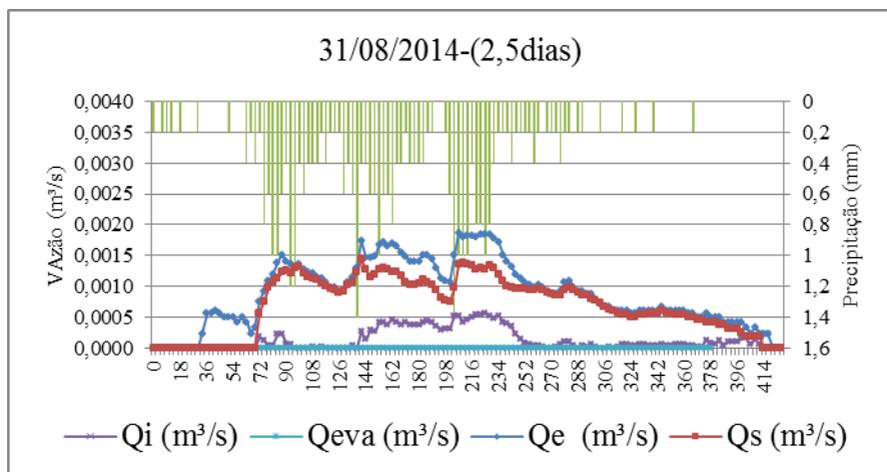


Figura 31 – Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em 31/08/2014.

No evento do dia 31/08/2014 mudou o fenômeno de variação do escoamento superficial na vala de infiltração, sendo que o volume escoado foi superior ao volume infiltrado, devido a

baixa taxa de infiltração da vala, influenciada pelo curto período de tempo de dias seco e pela saturação do solo. Neste evento, na vala de infiltração ocorreu uma variação constante entre os hidrogramas de entrada e saída da vala de Infiltração.

O evento do dia 5/9 (Figura 30) foi atípico no comportamento hidráulico da vala no controle do escoamento, pois mesmo após quase 4 dias de chuva com uma precipitação acumulada de 67,6 mm o volume infiltrado foi 10,32 vezes superior ao volume de saída da vala. Consequência do espaçamento constante da precipitação no tempo.

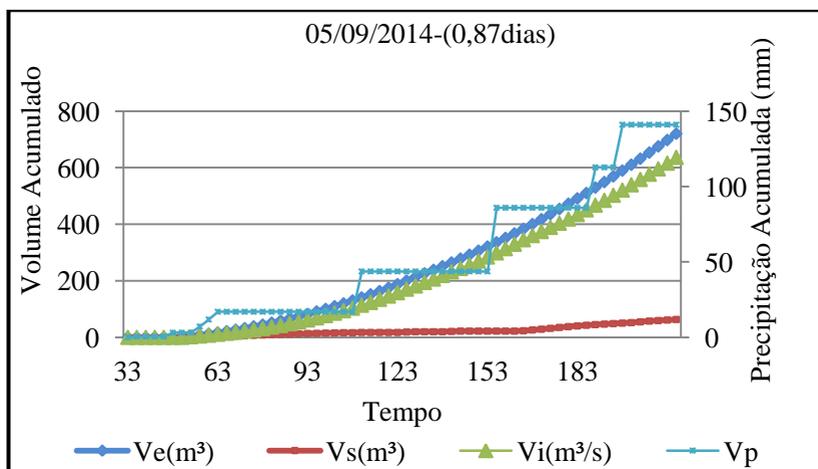


Figura 32-Volumes acumulados 05/09/2015

No fim de setembro, devido a capacidade de armazenamento de dados do datalogger, voltou-se a registrar os dados no intervalo de 5min em 5 min. O período de setembro a novembro foi um período de seca em Florianópolis, tendo somente 7 dias de chuva e com intensidade média menor que 3mm/h.

O evento do dia 27/09/2014 teve o comportamento bem similar ao evento do dia 05/09, se diferenciando somente pelo tempo de duração do evento que foi de 175 min e de 708 min, respectivamente. Mas em ambos prevaleceu o fenômeno de

Infiltração, com 51% e 91% do volume de entrada infiltrado, respectivamente.

No evento do dia 11/10/2014 ocorreu um aumento gradativo da precipitação exemplificando melhor todas as fases de formação do escoamento superficial, infiltração e saturação do solo da área de contribuição da vala e na vala de infiltração. Com 95% do escoamento infiltrado na vazão de pico do evento, a uma taxa média de infiltração de $1,0E-04$, superior a taxa de infiltração estimada pelo slug test e pelo ensaio dos anéis concêntricos. Este foi um dos eventos que mais demorou para formar escoamento superficial na vala, 370 min .Nos período de dezembro e janeiro ocorreu problemas experimentais, assim teve poucas coletas no verão somente em fim de janeiro e início de fevereiro. Na Figura 33 e na Figura 34 são apresentados os últimos eventos analisados, 13/02/2015 e 15/03/2015. A síntese do comportamento hidráulico da vala é mostrada na Tabela 30.

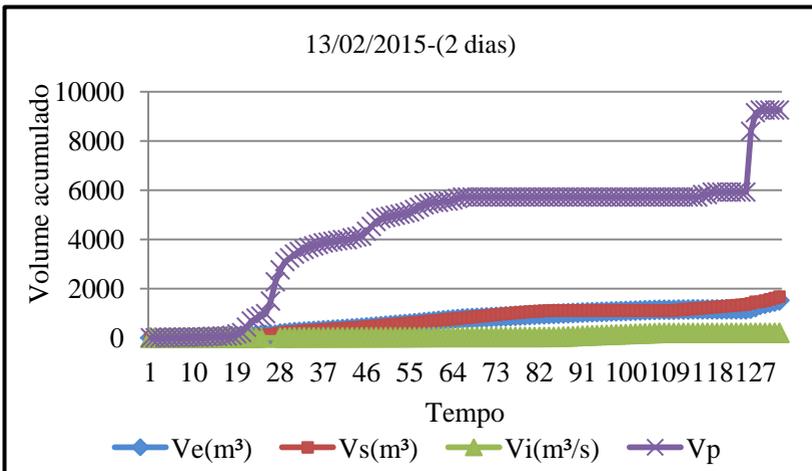
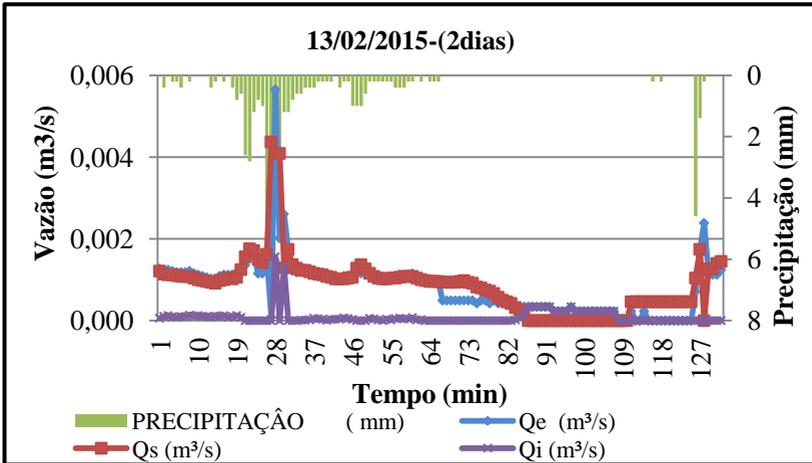


Figura 33- Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em, 13/02/2015 .

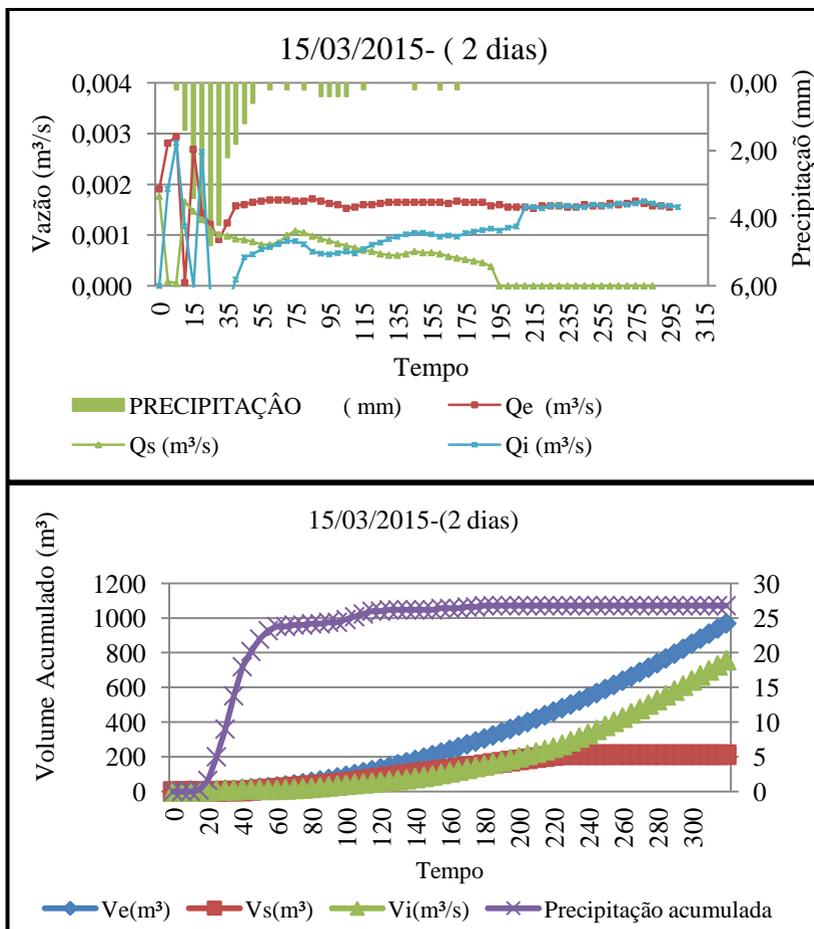


Figura 34- Hidrogramas e curvas de volume acumulado para a vala de infiltração em, 15/03/2015.

Tabela 30-Síntese do Comportamento Hidráulico da Vala de Infiltração

<u>Evento</u>	<u>Tp</u> (min)	<u>tesc</u> (min)	<u>tescv</u> (min)	<u>D</u> (dias)	<u>Total</u> <u>prec.</u> (mm)	<u>He</u> (m)	<u>hs</u> (m)	<u>Im</u> (mm/h)	<u>Evap</u>	<u>Ve</u> (m³)	<u>Vs</u> (m³)	<u>Vinf</u> (m³)	<u>Porcentagem</u> <u>Infil</u>
04/ago	135	160	180	2,5	10,4	0,25	0,21	4,62	1,68	415,25	252,78	162,47	0,39
12/08	345	325	320	7	16	0,18	0,14	2,78	1,68	683,36	212,65	514,41	0,75
25/ago	290	305	245	9	14,2	0,24	0,07	2,94	1,68	1268,50	262,88	1018,97	0,80
31/ago	372	420	426	6	38,4	0,14	0,14	6,19	1,68	1549,69	1259,52	254,16	0,16
02/set	189	309	216	2,5	15,2	0,24	0,32	4,83	2,35	836,99	757,96	29,90	0,04
05/set	162	708	736	0,87	2,4	0,21	0,03	0,89	2,35	720,63	63,28	657,35	0,91
18/set	2690	2750	2735	1	19,8	0,15	0,04	0,44	2,35	60393,20	18387,33	42008,30	0,70
26/set	135	175	180	0,11	3,2	0,08	0,08	1,42	2,35	334,31	140,02	193,72	0,58
11/out	295	326	275	5	11	0,28	0,27	2,24	3,17	2899,64	985,42	1900,51	0,66
04/nov	70	130	170	1	6	0,20	0,12	5,14	3,77	66,52	49,83	16,69	0,25
31/jan	-	-	-	1	2,7	-	-	-	5,09	-	-	-	-
09/fev	-	-	-	0,37	3,8	-	-	-	4,50	-	-	-	-
13/fev	70	115	736	2	55,6	0,57	-	47,66	3,85	1516,34	1667,36	198,96	0,13
09/mar	560,	620	615	2	97,6	0,60	0,56	10,46	3,85	2637,79	2272,73	365,05	0,14
15/mar	170	315	615	2	26,8	0,02	0,00	9,46	3,85	969,67	212,40	757,27	0,78

Os eventos dos dias 04/11, 13/02 e 15/03, foram eventos similares por terem uma alta precipitação acumulada em um pequeno intervalo de tempo, mas nos dois últimos eventos ocorreu o transbordamento da vala de infiltração.

Os eventos de 04/08, 02/09 e 04/11 tem curvas $V_s > V_i$. Quase todos tem I_m maior que aproximadamente 4mm/h. Os demais todos tem V_i maior que V_s . O que é bom, significa que está controlando melhor o escoamento. A maior parte deles tem I_m menor que 4mm/h exceto 18/09 com $I_m = 12,7$ e 15/03 com $I_m=9,45$. Nos eventos extremo ocorrido no dia 02/09, 04/11, 13/02/2015 e 15/03/2015, ocorreu um grande acúmulo de precipitação nos primeiros 10 min de precipitação (Figura 13), descaracterizando o real funcionamento da vala de infiltração, como pode ser visto nos hidrograma de saída, em que novamente a vala funcionou como um canal sendo quase insignificante a vazão de infiltração, sendo em média $1,68 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, controlando somente 9% da vazão de entrada.

Dos 18 eventos analisados, somente em 3 eventos (02/09/, 13/02 e 09/03) a vala não controlou o escoamento pela infiltração, consequência dos dias antecedentes de chuvas e pela precipitação acumulada (figura 32).



Figura 35-Vala alagada

Na Figura 36 foi plotado o comparativo do tempo de precipitação, tempo de escoamento superficial e tempos de escoamento na vala junto com a porcentagem do volume infiltrado, onde se percebe uma maior porcentagem do volume infiltrado nos eventos em que o $t_{escv} < t_{esc}$.

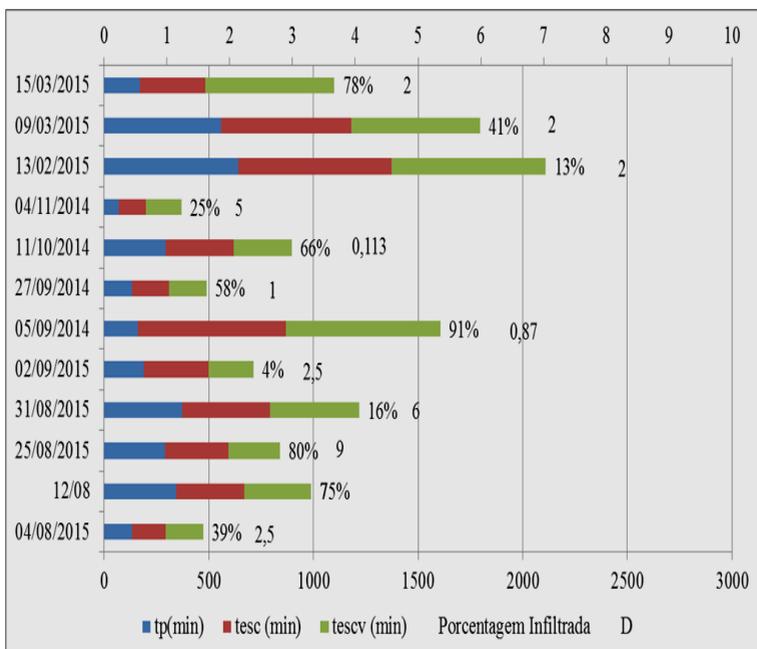


Figura 36- Comparativo entre os tempos e a porcentagem do volume infiltrado.

Um maior tempo de escoamento superficial na vala não teve relação direta com a porcentagem do Volume infiltrado. No evento do dia 13 de fevereiro em que transbordou a vala de infiltração, somente 13 % do volume de entrada foi infiltrado para um tempo total de escoamento superficial 320 min, porém este maior tempo de escoamento na vala teve influência do número de dias antecedentes sem chuva. Para melhor visualizar a interface da

precipitação com o escoamento foi realizado a correlação dos dados.

Outro ponto importante nesta figura foi verificar que na maioria dos eventos, o tempo de escoamento na vala foi inferior ao tempo de escoamento na bacia, mostrando à ótima performance da vala como técnica compensatória, pois realizou o controle do escoamento sem lançar excedente de volume na rede de drenagem.

4.3.3 Correlação entre os dados quantitativos.

Foi realizado o estudo de correlação entre as variáveis de precipitação e escoamento na vala de infiltração. Os resultados são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31-Correlação de student para os dados quantitativos

	tp (min)	tesc (min)	tescv (min)	D	Total preci pit (mm)	He (m)	Hs (m)	Cota Máxc olet (m)	Iméd (mm/ h)	T (anos)	Evap.* (mm/dia)	Qpe (m ³ /s)	Qps (m ³ /s)	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vinf (m ³)
tp (min)	1,00															
tesc (min)	0,99	1,00														
tescv (min)	0,97	0,92	1,00													
D	0,85	0,89	0,72	1,00												
Total precipitado (mm)	0,23	0,26	0,26	0,05	1,00											
He (m)	-0,23	-0,25	-0,22	-0,51	-0,23	1,00										
Hs (m)	-0,21	-0,28	-0,11	-0,57	-0,32	0,92	1,00									
Cota Máx. olet (m)	0,26	0,37	0,04	0,38	0,27	0,23	-0,14	1,00								
Imédia (mm/h)	-0,67	-0,66	-0,59	-0,53	0,32	-0,44	-0,38	-0,41	1,00							
T	-0,46	-0,45	-0,54	-0,48	-0,43	0,84	0,68	0,36	-0,27	1,00						
Evap.* (mm/dia)	-0,76	-0,76	-0,71	-0,61	0,23	-0,31	-0,28	-0,31	0,97	-0,05	1,00					
Qpe	-0,13	-0,15	-0,10	-0,45	-0,17	0,99	0,93	0,20	-0,49	0,75	-0,39	1,00				
Qps	-0,11	-0,19	-0,03	-0,48	-0,34	0,92	0,99	-0,10	-0,48	0,67	-0,38	0,93	1,00			
Ve (m ³)	0,78	0,84	0,63	0,73	0,37	0,04	-0,19	0,80	-0,67	-0,07	-0,68	0,10	-0,10	1,00		
Vs (m ³)	0,34	0,38	0,29	0,06	0,64	0,47	0,26	0,70	-0,36	0,25	-0,32	0,52	0,28	0,71	1,00	
Vinf (m ³)	0,68	0,71	0,56	0,94	-0,24	-0,59	-0,60	0,17	-0,43	-0,46	-0,50	-0,56	-0,51	0,47	-0,28	1,00

*(média diária).

As melhores correlações para um grau de significância de 0,5 pelo teste de Student foram entre os dias antecedentes sem chuvas e volume de entrada na vala, intensidade da chuva com a porcentagem infiltrada, e a evapotranspiração com a porcentagem infiltrada e a porcentagem infiltrada com o tempo de escoamento na vala.

4.3.4 **Avaliação da taxa de infiltração na Vala de Infiltração**

Pelo slug test encontrou-se uma Condutividade Hidráulica de $5,18 \times 10^{-6}$ m/s, valor aproximado da taxa de infiltração calculada pelo ensaio dos anéis concêntricos, $5,83 \times 10^{-5}$ m/s. Teoricamente, quando o tempo da infiltração tender ao infinito, o potencial de infiltração tende a depender apenas da parcela relativa à gravidade. Sob essas condições, a taxa de infiltração se aproximará da condutividade hidráulica para o solo saturado (Ks) (CARVALHO,2011).

Na Figura 37 é apresentado comparativo das curvas de infiltração dos eventos avaliados na vala de infiltração com a curva de infiltração obtida pelo ensaio dos anéis concêntricos. Na Tabela 32-Taxa de Infiltração por evento.

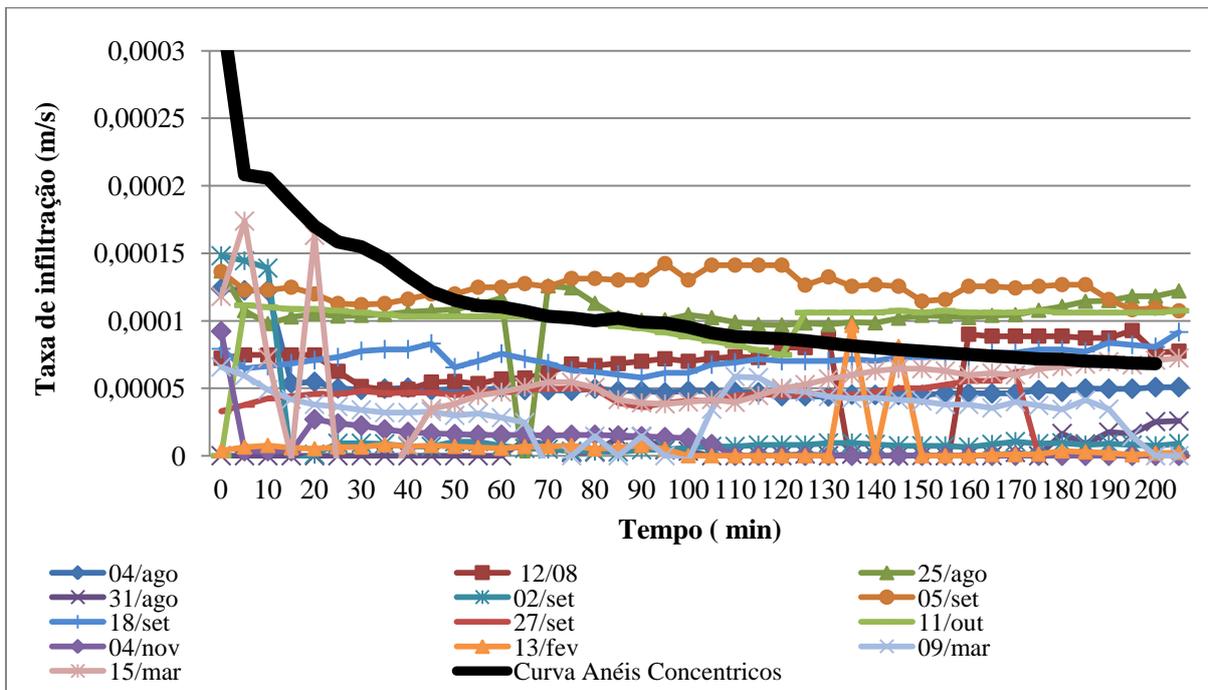


Figura 37-Comparativo das curvas de infiltração dos eventos monitorados na vala de infiltração

Tabela 32-Taxa de Infiltração por evento.

Evento	Taxa de infiltração (m/s)	D	Porcentagem Infiltrada
04/ago	5,2E-05	2,5	0,39
12/08	6,2E-05	7	0,75
25/ago	1,0E-04	9	0,80
31/ago	1,5E-05	6	0,16
02/set	1,7E-05	2,5	0,04
05/set	1,2E-04	0,87	0,91
18/set	7,2E-05	1	0,70
26/set	4,6E-05	0,113	0,58
11/out	1,0E-04	5	0,66
04/nov	1,8E-05	1	0,25
13/fev	7,7E-06	2	0,13
09/mar	3,1E-05	2	0,41
15/mar	5,4E-05	2	0,78

Em 80% dos eventos avaliados, a taxa de infiltração assintótica foi da mesma ordem de grandeza que a taxa de infiltração realizada pelos anéis concêntricos. Não teve uma proporção direta entre os dias antecedentes sem chuva com uma maior taxa de infiltração no evento, sendo estes influenciados por outros parâmetros como o tempo de ascensão e do volume acumulado de precipitação.

4.3.5 **Matriz de Avaliação da vala de infiltração como Técnica Compensatória de Drenagem Pluvial**

Na Tabela 33 é apresentada a matriz de avaliação da vala de infiltração como técnica compensatória de infiltração de águas pluviais.

Tabela 33-Matriz da Avaliação da Vala como Técnica Compensatória

Evento	Vinf>Vs	Tasc<30min	%Vinf>70%	hs>0,5	D>5
04/ago					
12/08	x		x		x
25/ago	x		x		x
31/ago					x
02/set		x			
05/set	x		x		
18/set	x		x		
27/set	x				
11/out	x				
04/nov		x			
31/jan					
09/fev					
13/fev		x		x	
09/mar				x	
15/mar	x	x	x		
%	47%	27%	33%	13%	20%

Os eventos dos dias 04/11, 13/02 e 15/03, foram similares por terem uma alta precipitação acumulada em um pequeno intervalo de tempo.

Os eventos de 04/08, 02/09 e 04/11 tiveram curvas $V_s > V_i$. Nos eventos extremos ocorridos no dia 02/09, 04/11, 13/02/2015 e 15/03/2015, a vala funcionou como um canal sendo quase insignificante a vazão de infiltração (controlando somente 4% da vazão de entrada). Dos 18 eventos analisado somente em eventos (02/09/, 13/02 e 09/03) a vala não controlou o escoamento pela infiltração, consequência dos dias antecedentes de chuvas e pela precipitação acumulada.

A vala obteve um ótimo desempenho como técnica compensatória de Drenagem em 47% do eventos analisados.

4.4 QUALIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

4.4.1 Seleção dos eventos analisados

No período de 9 meses de monitoramento qualitativo ocorreram 50 eventos de precipitação e foram avaliados 18 eventos de água do escoamento superficial, totalizando 69 amostras. Os eventos foram delimitados pelo tempo de duração do escoamento superficial, registrado pelo sensor de nível a montante da vala de infiltração. Os dados do sensor de nível, do pluviômetro e do turbidímetro foram armazenados em intervalos de tempos diferentes conciliando a validação dos dados do amostrador com o tempo de armazenamento do datalogger. Na Tabela 34 são apresentados os eventos monitorados, os níveis de coletas e o intervalo de tempo de armazenamento dos dados no data logger. Houve alguns eventos com amostra única devido ao enchimento da caixa de armazenamento das amostras, por precipitações muito intensas e problemas na conexão dos tubos de coleta no amostrador. Alguns testes foram feitos para o melhor tempo de intervalo na armazenagem dos dados, tendo sido escolhido o tempo de 5 min, em função da capacidade de armazenamento do data logger.

Tabela 34 - Eventos Seleccionados para Análise do escoamento superficial

Evento	Níveis da Coleta	Intervalo de armazenamento
04/08	(2,3,4,5,7)	5 min
12/08	(3,4,7)	5 min
26/08	(5,6,7,8)	5 min
31/08	(4,5,6,7,8)	3 min
02/09	(2,3,4,5,7,8)	3 min
06/set	Única	3 min
19/set	Única	3 min
27/set	Única	5 min
12/out	Única	5 min
04/nov	Única	5 min
31/jan	(4,5,6,7,8)	1min
09/fev	Única	1 min
13/fev	Única	5 min
09/mar	Única	5 min
15/mar	(5,6,,8,9)	5 min
02/abr	(1,2,3,4,5,6,7)	-
06/abr	Única	-
14/abr	(4,5,6,7,8,9)	-

Para a análise dos dados de qualidade do escoamento superficial foram feitos determinados tratamentos em função do tipo de dado disponível, devido a erro experimental e perda de amostras. As concentrações foram ponderadas por meio das vazões ocorridas no momento da coleta, sendo este dado retirado do gráfico do hidrograma do evento com a variação do nível. Os tratamentos foram os seguintes:

-Para todos os eventos foi calculada a CME para a turbidez medida com o turbidímetro em campo, exceto os eventos do dia 31/01/2015, 09/02/2015, 2/04/2015 e 06/04/2015 e 14/04/2015, pois neste eventos, o datalogger descarregou a bateria e não armazenou as medições.

-Para os eventos em que houve coleta de amostras distribuídas no tempo, foi realizado o cálculo da CMPE. Nestes casos, quando houve perda do registro do tempo no data logger utilizou-se a média das concentrações das amostras coletadas.

-Para a avaliação do comportamento dos contaminantes no evento foi considerado o tempo de duração do escoamento superficial.

Na Tabela 35Tabela 34, são apresentados todos os eventos nos quais foi analisada a qualidade do escoamento com o respectivo método estatístico empregado para a análise dos resultados de qualidade, assim como os parâmetros que foram analisados nestes eventos.

4.4.2 **Análise estatística dos dados**

Os dados de qualidade da água do escoamento superficial são apresentados na Tabela 36. Na ausência de um valor limite de comparação específico para a drenagem urbana são mostrados nessa tabela os limites da Resolução de classificação e lançamento de efluentes em corpos hídricos CONAMA 357 (CONAMA, 2005) para a classe 3, nas águas litorâneas, praias e nos rios que deságuam nas praias frequentadas pelas pessoas para recreação.

Tabela 36-Resultados das análises qualitativas da água do Escoamento

Evento	pH	Alc.	Con d	TURB L	TURB_ C	DQO ₅	DQO ₁₅	COT	ST	SDT	SST	No ₃ ⁻	P	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Fe	Mn
04/08/15	7,15			432,19	288,909	63,25	14,74			345,40	-	0,0016		0,0180	0,0002	0,0794	0,5185	0,5873	0,3813	0,1653
12/08/15	6,89			506,10	370,70	155,35	3,19	680,2		-	803,36	-		0,0155	0,0002	0,0551	0,5936	0,7046	0,3862	0,1715
25/08/15	5,21			-	226,23	388,75	135,6	57,06	13,46			-		0,0263	0,0005	0,0131	0,5059	0,4527	0,5514	0,1525
31/08/15	7,0			342,29	692,53	429,12	0,00	0,00	0,00			-		0,01	0,0002	0,0173	0,2797	0,2850	0,2889	0,0795
02/09/15	8,03	51,17		1411,2	129,0438	116,43	127,3	37,60	1059	1058,9	1326,8	-		0,00	0,03	0,00	0,04	0,51	0,61	0,48
05/09/14					107,72		66,39	48,21	3290,	5300	468	-	-							
18/09/14	6,61	79,8	0,2	18,90	2641,00	188,40	100,2	25,39	1510	1030,0	530,00	0,008	-							
27/09/14	6,35	36,9	0,2	888,00	125,49	134,31	69,94	24,49	6030	-	-	-	-							
11/10/14	7,06	44,46	0,28	415,25	774,40	86,93	75,27	0,00		8586,7	612,18	0,004	-							
04/11/14	7,28	120,83	0,16	0,00	584,96	151,58	151,6	69,03	15,41	975,75	114,19	0,074								
31/01/15	7,81	111,09		177,53		86,81	86,81	35,50	10,92	720,00	218,67	0,058								
09/02/15	7,45	50,7		8,82	-	85,00	66,33	8,94	-	-	-	-	25,65							
13/02/15	7,16	16,5		12,10	87,21	55,33	45,33	10,72	180,0	80,00	44,00	-	24,57							
09/03/15	6,68			14,80	104,98	112,33	35,00	10,31	170,0	120,00	36,00	0,007	34,33							
15/03/15	6,85	44,11		14,39	104,784	50,02	25,82	12,02	195,4	110,05	23,30	0,0046	34,47							
02/04/15	6,68	38,93				57,10	33,52	12,68	257,7	82,86	141,71	0,024	23,68							
06/04/15	6,99	38,2		30,70		23,33	17,67	13,92	390,0	110,00	220,00	0,004	2,03							
14/04/15	6,73	53,92		248,48		37,47	20,27	11,14	239,2	70	143,2	0,009	33,53							
CONAMA*	6-9			100	100	150		<500				1	0,15	0,01	0,013	0,033	5	0,05	5	0,5

Em negrito: Valores acima do Limite estabelecido pela Legislação. *Legislação (Conama 357, águas superficiais - classe 3)

Nos eventos dos dias 04/08/2015, 12/08/2015 os valores turbidez, Cd, Pb e Cr deram acima do valor limite estabelecidos pelo CONAMA 357, para classe 3 de águas doce, e para despejo do efluente pluvial em água salinas, exutório da rede de drenagem que a vala de infiltração descarrega, somente o Zn e o COT que ultrapassaram os Valores limites de 0,12 mg/l e de 5mg/l, respectivamente.

Na Tabela 37-Estatística Descritiva dos Parâmetros Analisados. é apresentado a estatística descritiva, para se ter um panorama de todo o período monitorado.

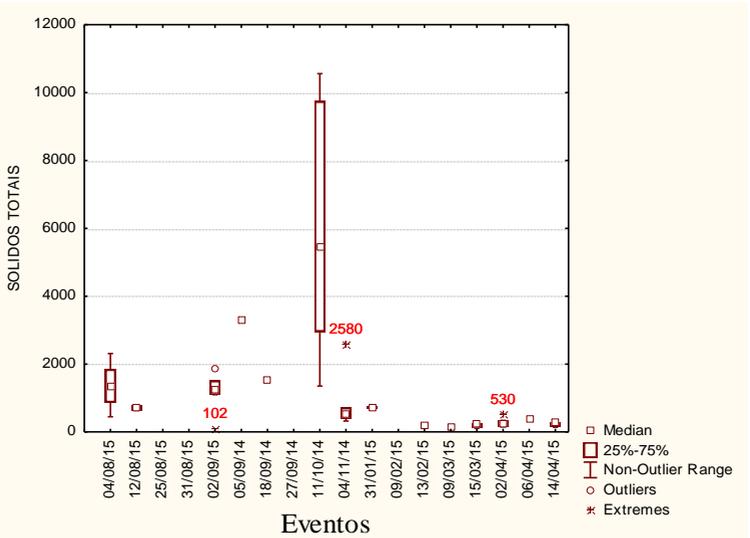
Tabela 37-Estatística Descritiva dos Parâmetros Analisados.

	N	Média	Min	Max	Desvio padrão.
pH	17	6,94	5,213	8,03	0,62
Alc.	10	45,47	16,500	79,80	16,06
Cond.	4	0,21	0,162	0,28	0,05
TURB_LAB	15	257,87	8,820	1411,21	363,52
TURB.	13	480,12	87,208	2641,48	692,17
DQO_{TOTAL}	17	127,53	23,333	429,12	115,16
DQO_{SOLUVEL}	17	47,41	3,192	135,65	34,24
COT	13	18,69	6,296	57,06	15,82
ST	13	1207,5	170,00	6030,75	1681,97
SDT	13	1345,7	70,000	8586,75	2603,48
SST	12	297,31	23,297	803,56	262,29
NO₂⁻	10	0,02	0,002	0,07	0,03
P	7	25,47	2,033	34,47	11,39
Cd	5	0,02	0,012	0,03	0,01
Cu	5	0,00	0,000	0,00	0,00
Pb	5	0,04	0,013	0,08	0,03
Zn	5	0,48	0,280	0,59	0,12
Cr	5	0,53	0,285	0,70	0,16
Fe	5	0,42	0,289	0,55	0,10
Mn	5	0,15	0,079	0,17	0,04

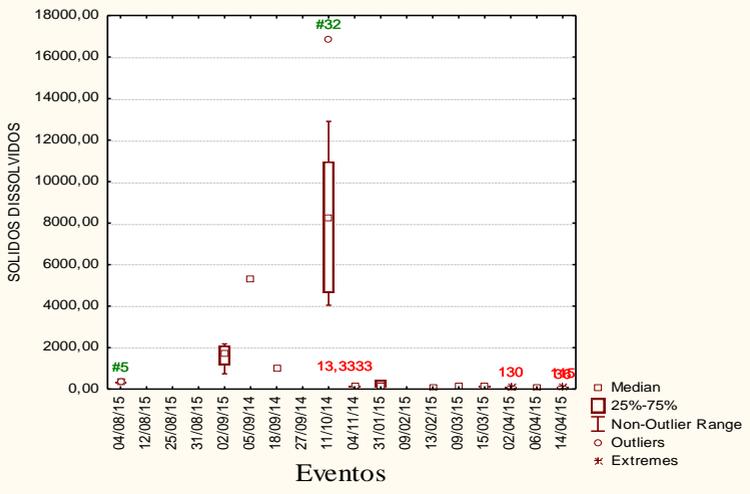
Os parâmetros que apresentaram maior desvio padrão no período de monitoramento foram aqueles relacionados aos

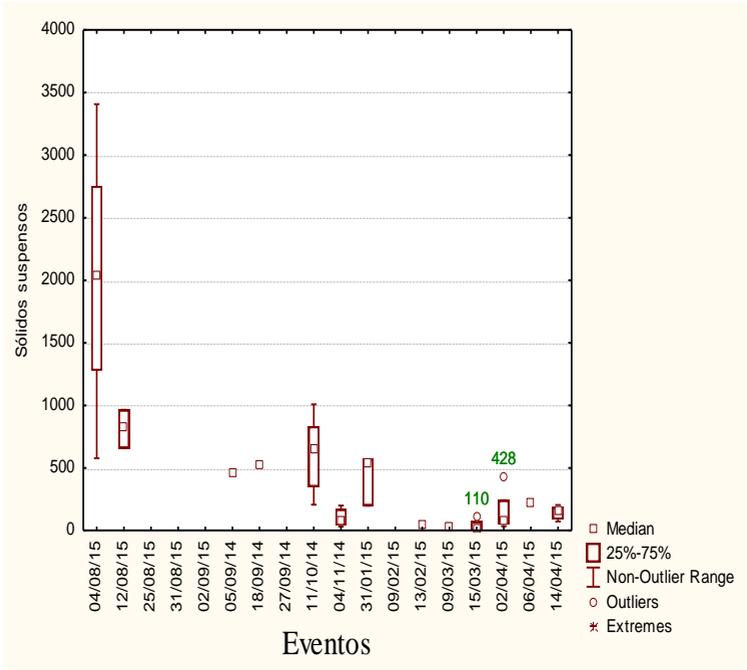
sólidos (turbidez, ST, SST e SDT) devido à grande variação de acúmulo de sedimentos nas superfícies impermeáveis nos dias antecedentes sem chuva. O evento em que ocorreu o maior carreamento de sólidos sendo atípico aos outros eventos, foi no mês de outubro em que estava ocorrendo reformas no comércio próximo à vala de infiltração. Houve um aumento de 800% de sólidos em relação à média dos outros eventos.

Para análise da variação temporal da qualidade do escoamento superficial foram usados os boxplot para variação dos contaminantes por eventos na Figura 38.

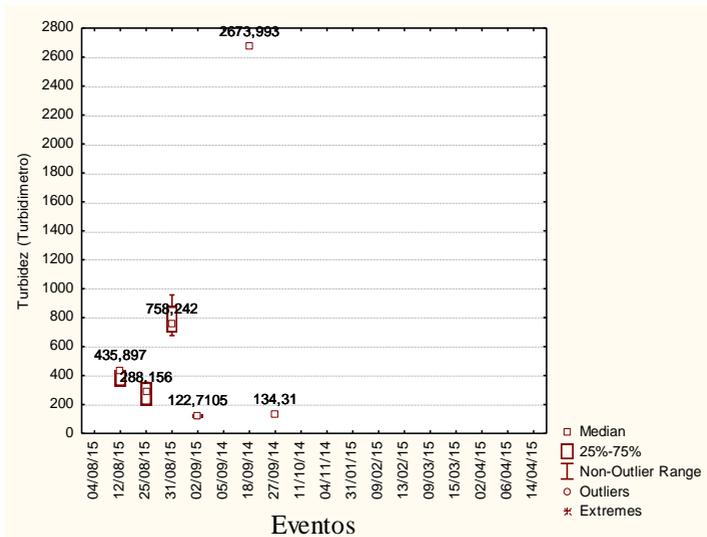
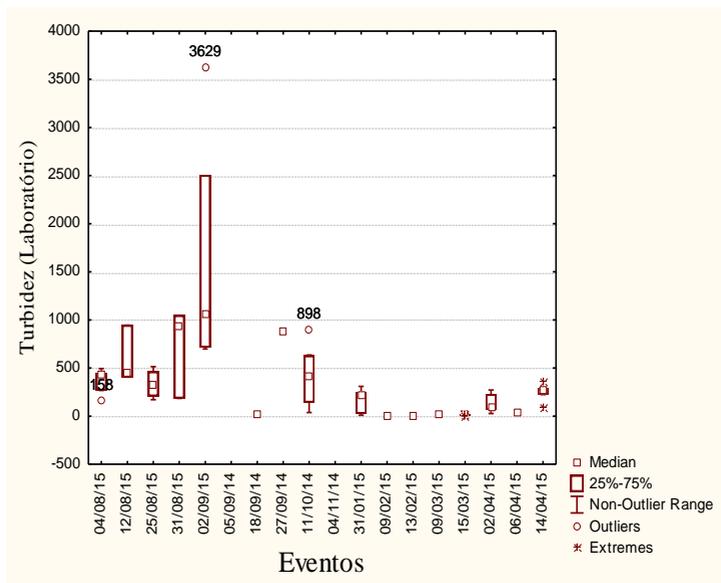


A.





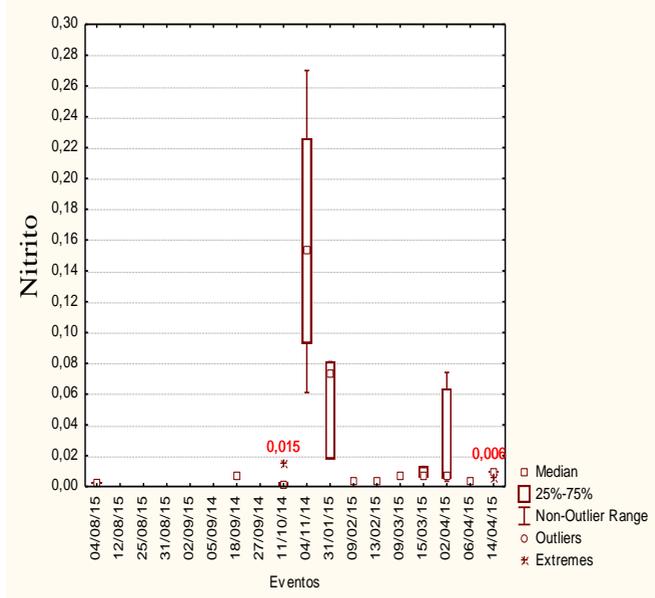
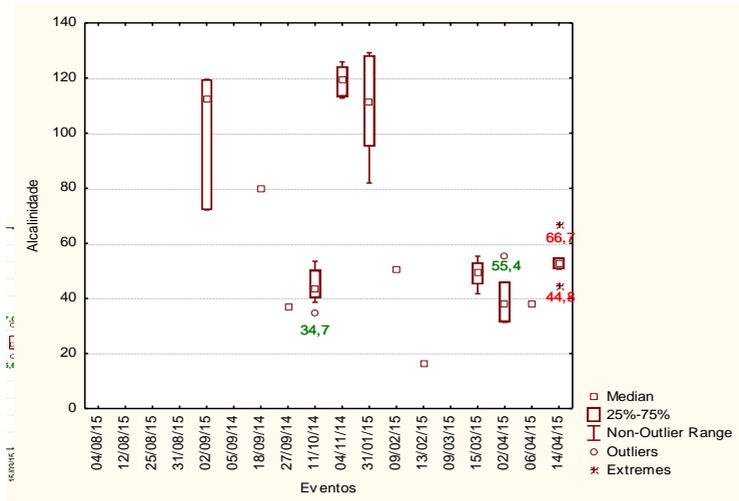
B.



C. Figura 38-Box-plot Sólidos X eventos (A, B e C)

Foram identificado outilliers somente na Turbidez (laboratório) e nos sólidos do evento do dia 11/10, sendo estes desconsiderados nas análises posteriores para correlação entre os dados e na Análise dos Componentes Principais.

Na Figura 39, Figura 40 e Figura 41 são apresentados os box-plot para Alcalinidade, pH e nutrientes, Matéria Orgânica e metais pesados, respectivamente.



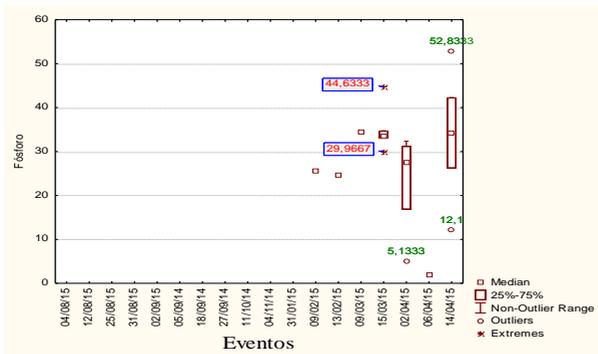


Figura 39-Parâmetros físico-químicos x Eventos

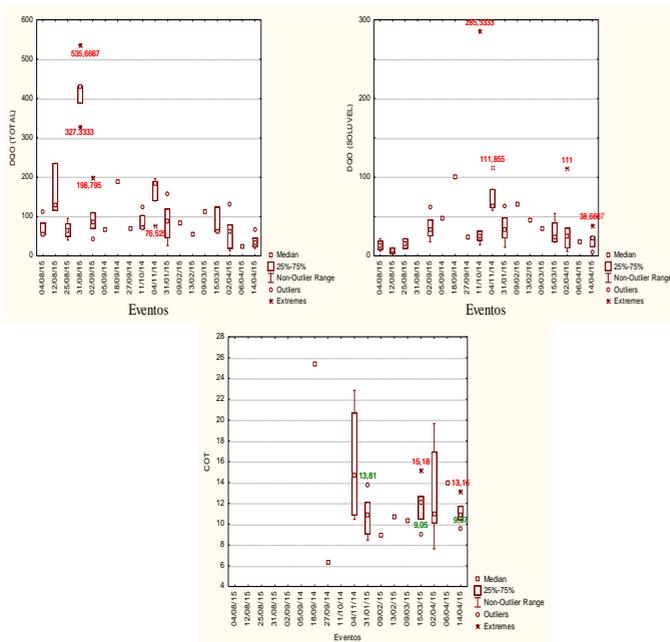
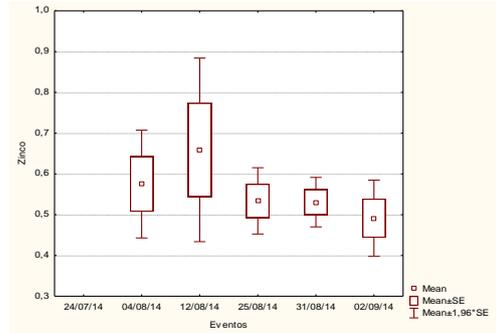
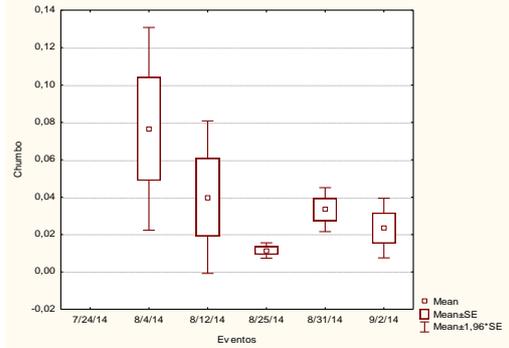
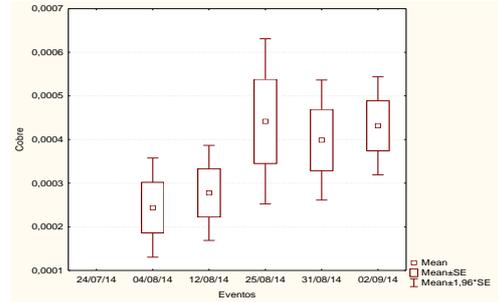
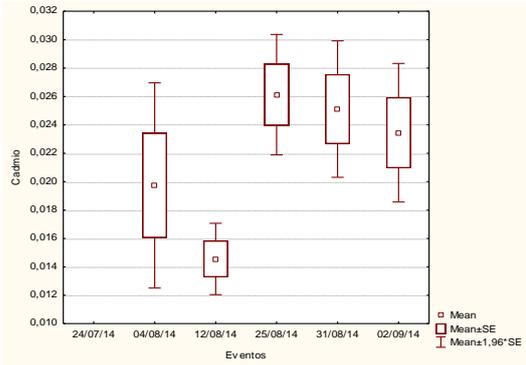


Figura 40-Box-plot Matéria Orgânica X Eventos



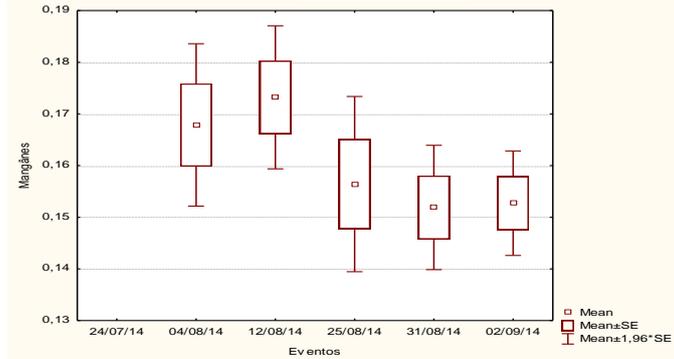
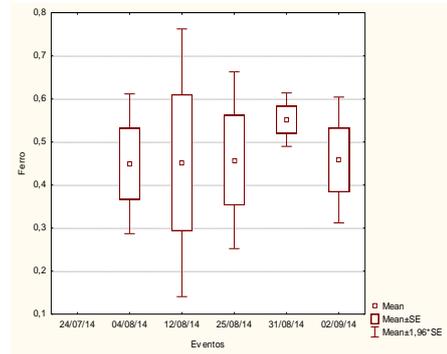
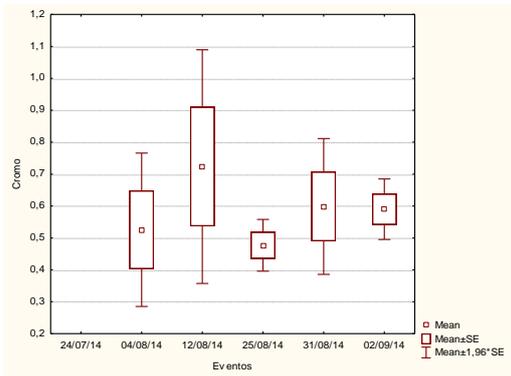


Figura 41- Box-plot Metais x Eventos

4.4.2.1 Análise exploratória dos dados

A primeira etapa da análise exploratória consistiu na verificação da normalidade das variáveis (através dos gráficos de distribuição normal e histogramas) tendo em vista que, alguns dos métodos estatísticos utilizados posteriormente exigem que os dados sejam gaussianos. As variáveis que recusaram a hipótese distributiva normal foram normalizadas usando-se uma transformação matemática.

A partir dos histogramas verificou-se a necessidade de se normalizar os dados de Turbidez, DQO e Sólidos, para as análises paramétricas de correlação entre os dados qualitativos.

4.4.2.2 Correlação entre os parâmetros

Foram realizados três diferentes testes para analisar o grau de correlação entre as variáveis, um paramétrico e dois não paramétricos. Primeiro considerou-se os eventos com análises de metais pesados (04/ago, 12/08, 25/08, 31/08 e 02/08). Segundo, as análises de nutrientes e terceiro para matéria orgânica, sólidos e turbidez.

O primeiro teste foi realizado por meio da correlação de Pearson, que supõe que as duas variáveis correlacionadas estão medidas em escalas de intervalo, e determina a extensão a que os valores das duas variáveis são proporcionais. Para a construção da matriz de correlação de Pearson, utilizou-se o valor transformado anteriormente para aproximação de uma distribuição normal. Para tanto, valores de $p < 0,05$, em cor vermelha, foram considerados estatisticamente significativos (Tabela 41). O segundo e terceiro teste, foram testes de correlação não paramétricos de Spearman e Kendall Tau. Estes são aplicados nos dados originais, sem normalização, a fim de verificar a veracidade do teste paramétrico de Pearson.

Tabela 38-Correlação paramétrica de Pearson (Metais Pesados)

	t (min)	t _{ec} (min)	D	Ve (m³)	pH	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Fe	Mn	TURB_LABN	TURB_CL	DQO_TALN	DQO_SNL
t (min)	1,000															
t _{ec} (min)	0,759	1,000														
D	0,969	0,574	1,000													
Ve (m³)	0,669	0,992	0,464	1,000												
pH	-0,474	0,214	-0,677	1,000	1,0000											
Cd	-0,463	0,225	-0,668	0,338	0,9999	1,0000										
Cobre	-0,293	0,400	-0,521	0,349	0,9808	0,9831	1,0000									
Pb	-0,306	-0,852	-0,061	0,515	-0,6931	-0,7017	-0,8204	1,0000								
Zn	0,943	0,498	0,996	-0,913	-0,7408	-0,7328	-0,5956	0,0293	1,0000							
Cr	0,999	0,732	0,978	0,382	-0,5094	-0,4991	-0,3319	-0,2672	0,9554	1,0000						
Fe	-0,229	0,460	-0,463	0,638	0,9658	0,9688	0,9978	-0,8564	-0,5412	-0,2687	1,0000					
Mn	0,917	0,435	0,987	0,571	-0,7864	-0,7790	-0,6509	0,0999	0,9975	0,9321	-0,5993	1,0000				
TURB_LN	-0,150	0,530	-0,390	0,315	0,9416	0,9455	0,9892	-0,8954	-0,4714	-0,1899	0,9967	-0,5325	1,0000			
TURB_CL	0,481	-0,206	0,683	0,635	-1,0000	-0,9998	-0,9793	0,6876	0,7460	0,5160	-0,9637	0,7912	-0,9390	1,0000		
DQO_TN	0,834	0,992	0,672	-0,331	0,0905	0,1023	0,2829	-0,7806	0,6019	0,8109	0,3457	0,5440	0,4205	-0,0828	1,0000	
DQO_SN	-0,805	-0,224	-0,927	0,968	0,9041	0,8990	0,8035	-0,3187	-0,9568	-0,8283	0,7623	-0,9749	0,7075	-0,9074	-0,3437	1,00

Tabela 39-Correlação paramétrica de Pearson (Nutrientes)

	pH	TURB_LN	TURB_N	DQO_TN	DQO_SN	COT_N	ST_N	SDT_N	SST_N
P	-0,9292	0,9901	0,9998	0,3861	-0,8485	0,2846	0,1146	0,9766	-0,7512
NO ₃ ⁻	-0,9925	0,7009	0,6317	0,9719	0,7825	0,5002	0,5862	0,6575	0,7258

Tabela 40-Correlação paramétrica de Pearson (Matéria Orgânica)

	TURB LN	TURB CN	DQO TN	DQO SN	COT N	ST N	SDT N	SST N
TURB LN	1,000							
TURB CL	0,899	1,000						
DQO TN	0,858	0,829	1,000					
DQO SN	0,656	0,899	0,788	1,000				
COT N	0,875	0,989	0,740	0,862	1,000			
ST N	0,872	0,997	0,790	0,904	0,995	1,000		
SDT N	0,937	0,995	0,858	0,866	0,979	0,987	1,000	
SST N	0,799	0,973	0,838	0,975	0,946	0,973	0,955	1,000

Tabela 41-Correlação de Spearman

	tp (min)	tsc (min)	D	Ve (m³)	pH	Alcal	Cond	TURB _L	TURB _C	DQO_T	DQO_S	COT	ST	SDT	SST	NO ₂	P
tp (min)	1,000																
tsc (min)	0,817	1,000															
D	0,619	0,218	1,000														
Ve (m³)	0,388	0,242	0,302	1,000													
pH	-0,267	-0,221	0,017	-0,259	1,000												
Alcal	0,371	0,257	-0,012	0,429	0,042	1,000											
Cond	0,949	0,949	0,500	0,632	-0,316	0,000	1,00										
TURB_L	0,305	0,218	0,452	-0,400	0,207	0,283	0,87	1,000									
TURB_C	0,088	-0,080	0,285	0,214	0,021	0,886	0,32	0,518	1,00								
DQO_T	0,361	0,196	0,408	0,217	-0,061	0,467	-0,32	0,300	0,64	1,000							
DQO_S	-0,172	-0,147	0,001	0,462	0,026	0,358	0,32	-0,363	0,33	0,553	1,00						
COT	0,072	0,144	0,423	0,048	-0,231	0,405	0,00	0,200	0,45	0,301	0,49	1,000					
ST	-0,109	0,209	0,075	0,017	0,336	0,524	1,00	0,648	0,70	0,545	0,60	0,867	1,000				
SDT	0,469	0,552	0,357	0,167	0,231	0,333	1,00	0,552	0,60	0,713	0,52	0,442	0,776	1,000			
SST	0,132	0,156	0,210	0,095	0,100	0,500	1,00	0,800	0,71	0,382	0,14	0,600	0,769	0,609	1,000		
NO ₂	-0,486	-0,486	-0,809	-0,029	0,079	0,314	-1,00	-0,262	0,26	0,333	0,48	0,048	0,083	-0,273	-0,150	1,00	
P	0,500	0,500	-0,131	-0,500	-0,286	0,657		0,029	0,50	0,286	0,14	-0,464	-0,714	0,371	-0,829	0,00	1,000
Cd	-0,700	-0,600	-0,205	-0,200	0,300			0,300	-1,00	-0,500	0,80						
Cu	-0,600	-0,700	0,154	-0,100	-0,100			-0,100	-0,90	-0,300	1,00						
Pb	-0,500	-0,300	-0,616	-0,900	0,500			0,600	0,10	-0,800	-0,80						
Zn	-0,400	-0,300	-0,154	-0,900	0,100			0,600	-0,10	-0,700	-1,00						
Cr	-0,300	-0,100	-0,154	-0,700	0,200			0,800	-0,30	-0,600	-0,80						
Fe	-0,300	-0,400	0,410	0,000	-0,300			0,000	-0,80	-0,100	0,80						
Mn	-0,400	-0,300	-0,154	-0,900	0,100			0,600	-0,10	-0,700	-1,00						

Tabela 42-Correlação de Kendall Tau

	t (min)	t _{ec} (min)	D	V _e (m ³)	pH	Alcal	Cond	TURB_ L	TUR B_C	DQO_ T	DQO_ S	COT	ST	SDT	SST	NO ₂	P
t (min)	1,000																
t _{ec} (min)	0,706	1,000															
D	0,443	0,133	1,000														
V _e (m ³)	0,364	0,168	0,172	1,000													
pH	-0,215	-0,168	-0,015	-0,212	1,000												
Alcal	0,333	0,200	0,023	0,333	0,067	1,000											
Cond	0,913	0,913	0,400	0,548	-0,183	0,000	1,00										
TURB_L	0,220	0,127	0,293	-0,200	0,143	0,167	0,82	1,000									
TURB_C	0,078	-0,065	0,172	0,128	-0,030	0,733	0,18	0,382	1,00								
DQO_T	0,277	0,168	0,288	0,121	-0,059	0,378	-0,18	0,200	0,48	1,000							
DQO_S	-0,092	-0,076	0,000	0,303	-0,050	0,244	0,18	-0,275	0,21	0,467	1,00						
COT	0,109	0,109	0,309	0,000	-0,152	0,214	0,00	0,200	0,29	0,212	0,31	1,000					
ST	-0,028	0,141	0,040	-0,111	0,273	0,357	1,00	0,467	0,50	0,333	0,38	0,778	1,000				
SDT	0,366	0,423	0,244	0,111	0,152	0,286	1,00	0,422	0,44	0,485	0,38	0,378	0,636	1,000			
SST	0,182	0,109	0,144	0,071	0,091	0,333	1,00	0,611	0,50	0,273	0,12	0,422	0,606	0,455	1,000		
NO2-	-0,333	-0,333	-0,613	0,067	-0,067	0,200	-1,00	-0,143	0,20	0,289	0,42	0,000	0,111	-0,156	-0,111	1,00	
P	0,333	0,333	-0,053	-0,333	-0,143	0,467		-0,067	0,33	0,238	0,14	-0,333	-0,600	0,067	-0,733	-0,20	1,000
Cd	-0,600	-0,400	-0,105	-0,200	0,200			0,200	-1,00	-0,400	0,67						
Cu	-0,400	-0,600	0,105	0,000	0,000			0,000	-0,80	-0,200	1,00						
Pb	-0,400	-0,200	-0,527	-0,800	0,400			0,400	0,00	-0,600	-0,67						
Zn	-0,400	-0,200	-0,105	-0,800	0,000			0,400	0,00	-0,600	-1,00						
Cr	-0,200	0,000	-0,105	-0,600	0,200			0,600	-0,20	-0,400	-0,67						
Fe	-0,200	-0,400	0,316	0,200	-0,200			0,200	-0,60	0,000	0,67						
Mn	-0,400	-0,200	-0,105	-0,800	0,000			0,400	0,00	-0,600	-1,00						

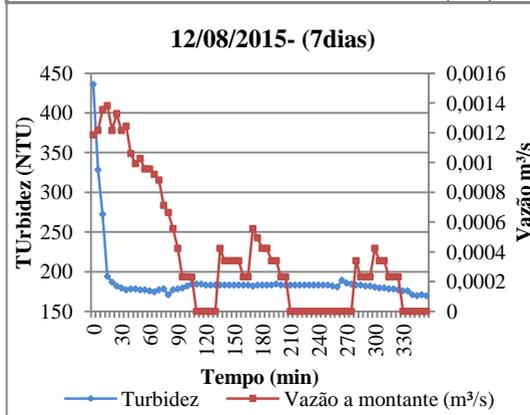
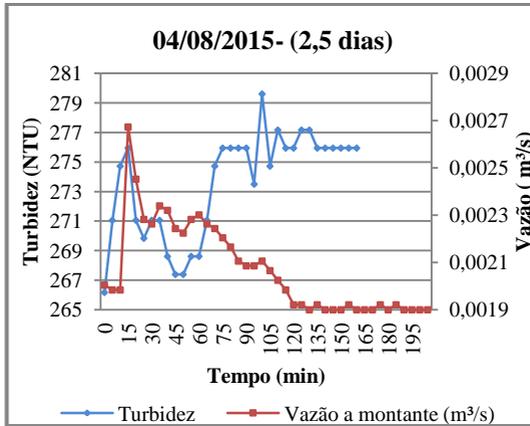
Sabendo-se que o teste de correlação de Pearson reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados, a partir dos dados obtidos verificou-se uma correlação positiva entre Cu e Fe, Zn e Mn, Fósforo e SDT, Turbidez e Matéria Orgânica e Turbidez e sólidos, o único dado que foi inversamente proporcional com coeficiente negativo foi Cd e TURB_C.

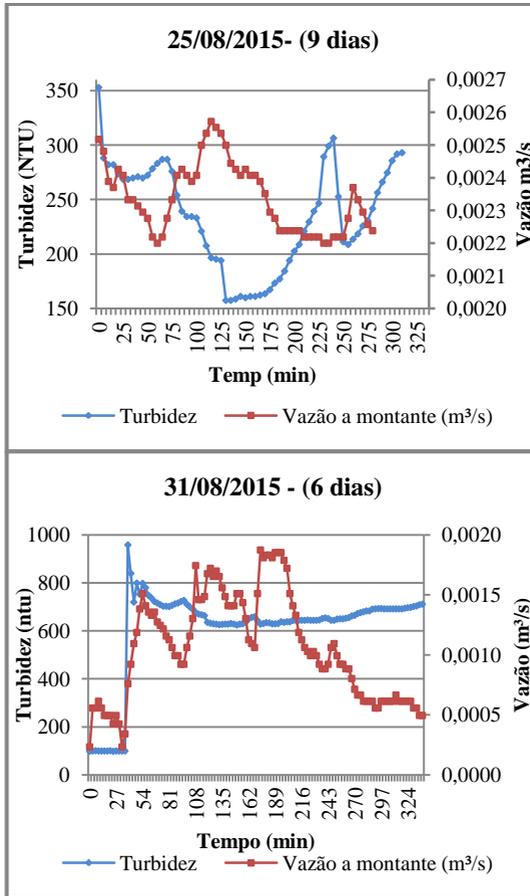
Os resultados dos testes não paramétricos confirmaram as correlações fortes existentes entre as variáveis TURB_1 e ST e SST, Cd e Cu, Zn e Mn. A partir desta análise, foi realizada a Caracterização detalhada do comportamento dos parâmetros por evento.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DO COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS POR EVENTO

4.5.1 **Turbidez**

Os polutogramas da turbidez monitorada em campo pelo turbidímetro instalado na tubulação a montante da vala de infiltração são apresentados nas Figura 42 .





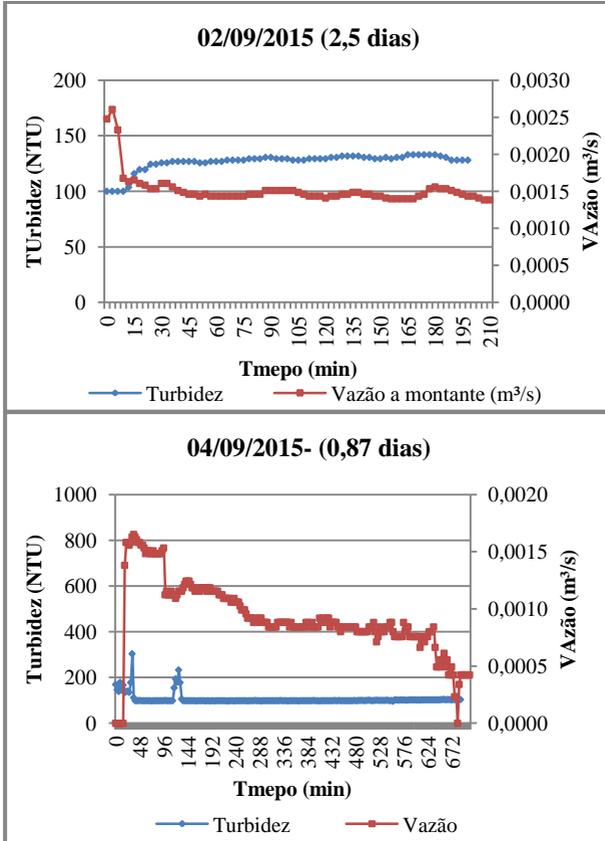


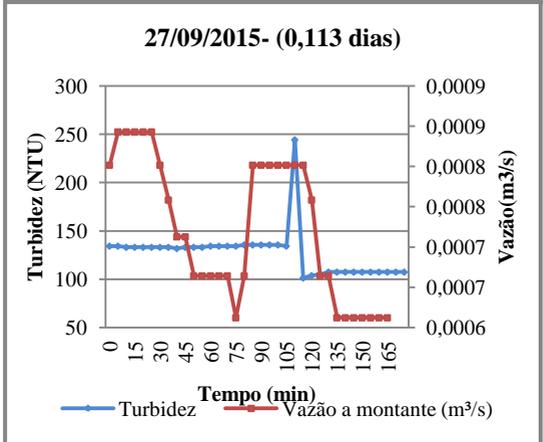
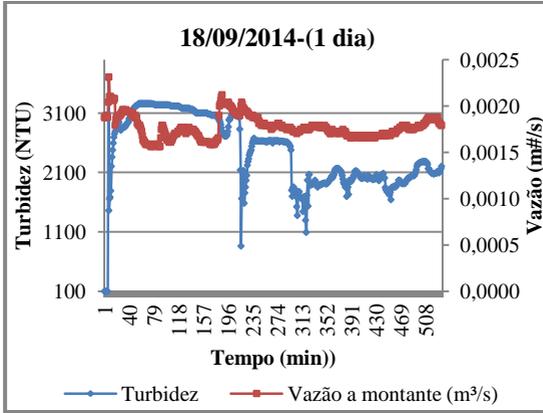
Figura 42-Polutogramas Turbidez Evento de 04/08/2014 á 04/09/2014

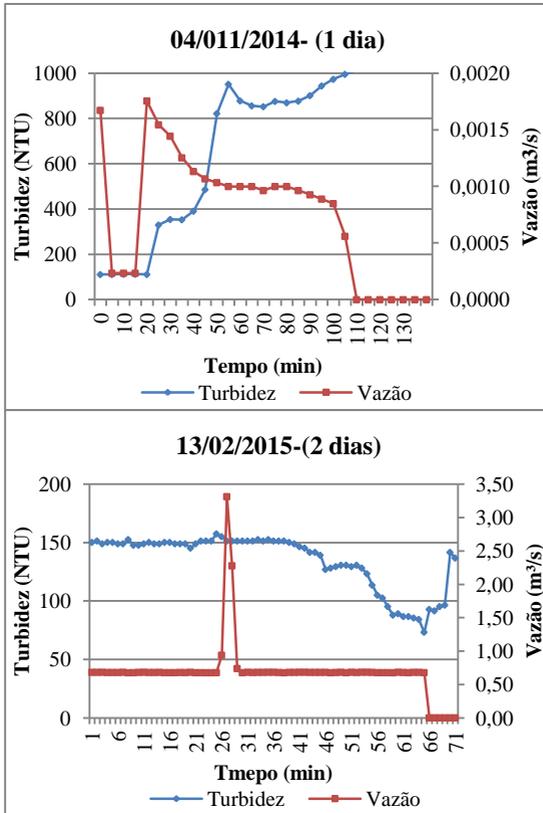
No evento do dia 04/08/14, houve uma baixa variação da turbidez de 266 á 275 NTU, com o pico de vazão antes do pico de turbidez. Pelo período curto de estiagem antes do evento, o solo estava com poucos sólidos, bem diferente do evento do dia 31/08 que após 6 dias sem chuva fez com que a máxima de turbidez fosse de 925 NTU, para um volume de entrada acumulado na vala de aproximadamente 20m³ em 36 min de precipitação. O

mesmo ocorreu nos eventos do dia 12/08/14 e 25/08/14, que houve uma taxa de variação alta entre os primeiro 60 min de chuva, em um volume de entrada de 683m³ e 1268 m³, respectivamente, sendo que no evento do dia 25/08 o pico da turbidez foi menor devido estar mais diluído os sólidos na água do escoamento superficial. Porém, ambos os eventos apresentaram um valor de turbidez acima do permitido pela legislação, de 100 NTU (BRASIL,2005)

Em todos os eventos foi perceptível nos gráficos que durante a passagem da vazão de pico, há uma queda nos valores da turbidez, devido ao aumento de volume de água que está sendo escoado pela bacia durante o evento. Costa (2013), em um estudo de qualidade do escoamento em galerias pluviais notou que durante a passagem da vazão de pico, há os menores valores observados da turbidez, devido ao grande volume de água que está sendo transportado na galeria de drenagem, que proporciona uma diluição das águas.

Na Figura 43 são apresentados os polutogramas da turbidez dos eventos do dia 18/09/14 á 15/03/15.





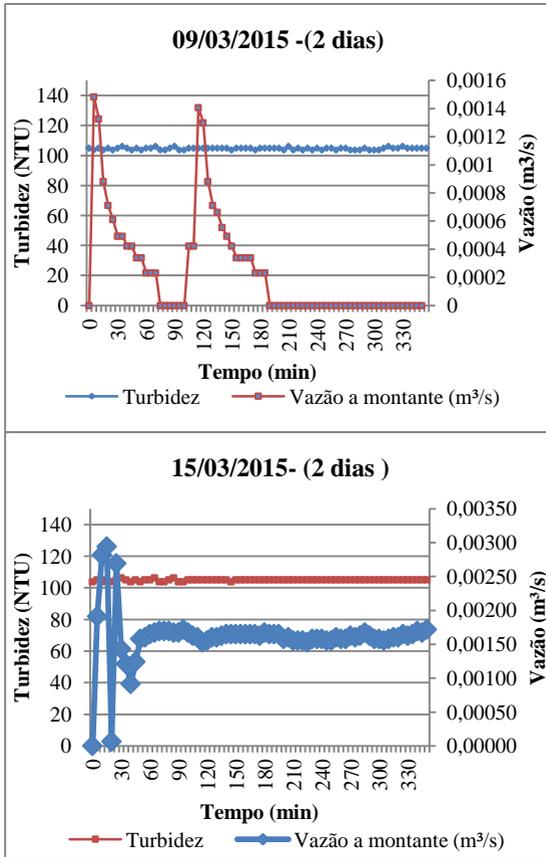


Figura 43-Polutograma Turbidez dos eventos dos dias 18/09/2014 á 15/03/2015

4.5.2 Matéria Orgânica

Na Figura 44 é apresentada a concentração média de DQO total e DQO solúvel nos eventos monitorados.

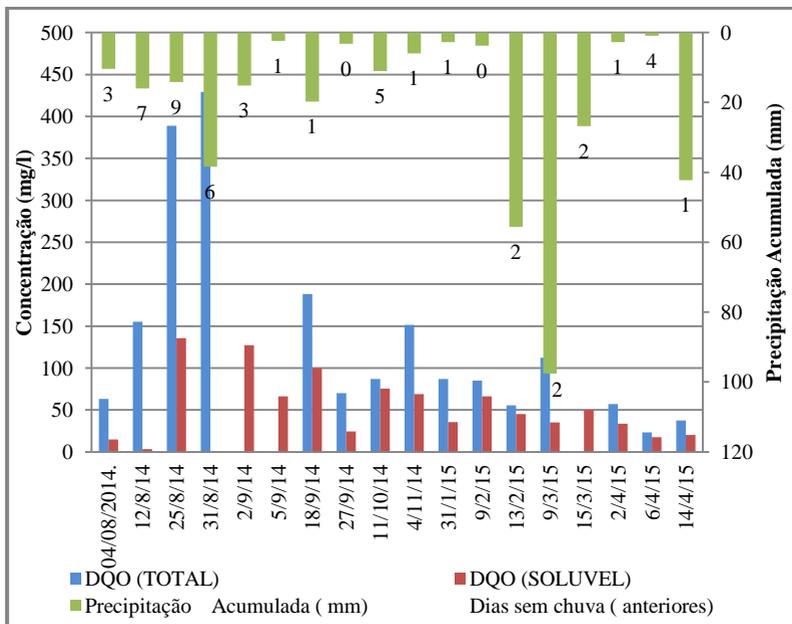


Figura 44-Análise da Concentração Média de Matéria Orgânica nos eventos.

Os dois eventos que apresentaram maior concentração de matéria orgânica foram os eventos com maior período de estiagem, 25/08/14 e 31/08/14, com volume acumulado de escoamento de 283m³ e 539 m³, respectivamente. Valores de matéria orgânica acima de 500mg/l, deveriam ter um pré-tratamento, antes de ser descarregada na rede de microdrenagem, já que esta possui como exutório a praia. Outro problema foi que neste mesmo período houve as maiores taxas de infiltração, sendo que no evento do dia 25/08, 90% do volume de

entrada foi infiltrado. Assim possuindo uma maior tendência de lixiviação para o ambiente subterrâneo. Segundo Gomes (2004), a descarga do escoamento superficial é intermitente, e que em curto prazo as cargas associadas aos eventos individuais podem ser altas, causando impacto repentino aos corpos receptores.

Nos meses de primavera ocorreu valores bem próximos da CM de DQOtotal e DQOsolúvel. O período de menor CM de DQO foi nos meses de abril em que teve mais dias consecutivos com chuva.

4.5.3 Metais

Na Figura 45 é apresentado o comportamento dos metais pesados (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Fe e Mn) entre os eventos monitorados. Por problemas experimentais só foram realizadas as análises de metais para os eventos de agosto e início de setembro.

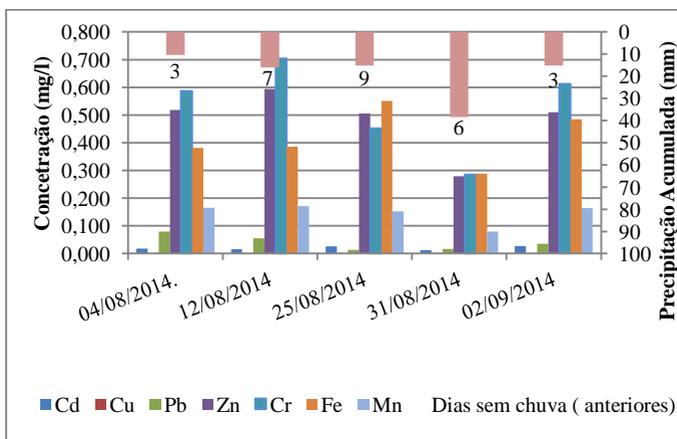


Figura 45-Comportamento dos metais pesados por eventos

O metal que possui maior concentração média na água do escoamento superficial foi o Cr, sendo seus

valores mais de 10 vezes superiores ao permitido pela legislação, (Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde). Na análise de solo este metal possuiu valor de referência de qualidade inferior ao estabelecido pelo CETESB(2005) e para o estado de Santa Catarina. Não foi identificado um padrão em relação aos dias antecedentes sem chuva e a precipitação acumulada. O metal com menor concentração foi o Cobre, sendo o inverso do identificado por Gomes (2004) em que os níveis de metais encontrados no escoamento de áreas urbanas seguiam as seguinte ordem: zinco (20-5000 µg/l) > Cobre ≈ chumbo (5-200 µg/l) > cádmio (< 12 µg/l). A concentração de Cu, Pb foram baixas. Estes elementos químicos, que são pouco móveis, ficam totalmente retidos no solo, já que apresentam grande afinidade com óxidos de ferro (NASCENTE, 2006).

4.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

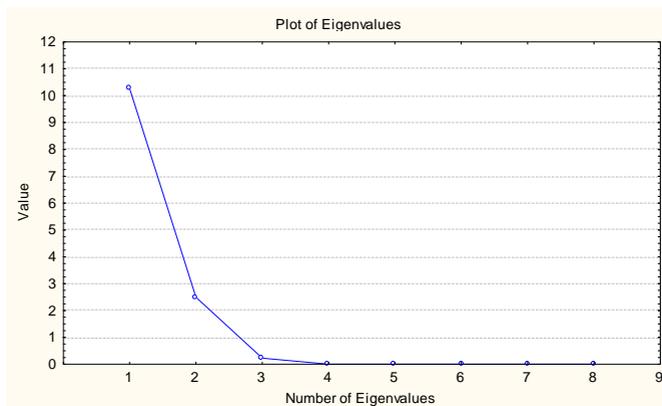
Realizaram-se três ACP's para avaliar a correlação entre os eventos amostrados da água do escoamento superficial na vala de infiltração com as variáveis analisadas. No primeiro, o conjunto A elegeram-se o máximo de variáveis possível versus as amostras dos 19 amostras relacionadas a essas variáveis, ou seja, priorizou-se o número de colunas completas (variáveis) diante do número de linhas incompletas (amostras) para a formação da matriz do conjunto A que contém: 13 variáveis (t (min) tesc (min), D, Ve(m³),pH, TURB_L, TURB_C,DQO_{TOTAL},DQO_{SOL},COT,ST,SDT,SST), 19 eventos e uma classe (dia).

No segundo conjunto (B) e no terceiro conjunto (C) elegeram-se o máximo de amostras possíveis versus as variáveis faltantes, ou seja, priorizou-se o número de linhas completas (amostras) diante do número de colunas incompletas (variáveis) para a formação das matrizes do conjunto B (quadro 6.29). e C . a matriz do conjunto B foi formado por 15 : variáveis (t (min) tesc (min), D,

Ve(m³),pH, TURB_L, TURB_C,DQO_{TOTAL},DQO_{SOL} Cd. Cu, Pb, Zn, Cr, Fe e Mn), 5 eventos (04/08/15, 12/08/15, 25/08/15, 31/08/15 e 02/09/15) e a matriz do conjunto C foi formado por 12 variáveis (D, pH, Alc TURB_L, DQOTOTAL, DQOSOL, COT, ST, SDT, SST, NO2-e P) e 8 eventos .Os conjuntos A, B e C foram modelados por 2 PCs, 4 PCs e 2PCs de cada conjunto autoescalado. Os principais componentes nos três conjunto acumularam 98,3%, 92% e 68% da informação na variância escalar de 2 PCs, 4 PCs e 2 PCs, conforme tabelas (a) das Figura 46 e Figura 47.

PC	Autovalores	% da s.	Autovalores acum	% da s Acum.
1	10,28	79,06	10,28	79,1
2	2,50	19,21	12,78	98,3

a)



b)

Figura 46- Descrição dos componentes principais do conjunto A: (a)Componentes principais referentes as 13 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos

PC	Auto valores	% da s.	Auto valores acum	% da s Acum.
1	7,67	51,1	7,7	51
2	4,04	26,9	11,7	78
3	2,15	14,3	13,9	92
4	1,14	7,6	15,0	100

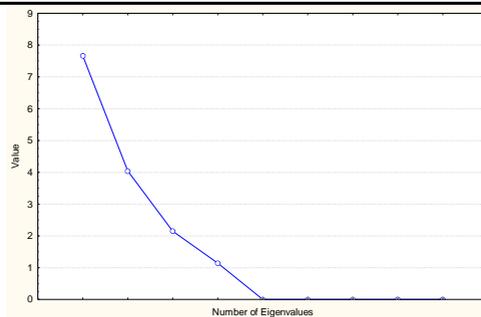


Figura 47- Descrição dos componentes principais do conjunto B:
a) Componentes principais referentes as 12 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos

PC	Auto valores	% da s.	Auto valores acum	% da s Acum.
1	8,22	68,5	8,2	68
2	3,78	31,5	12,0	100

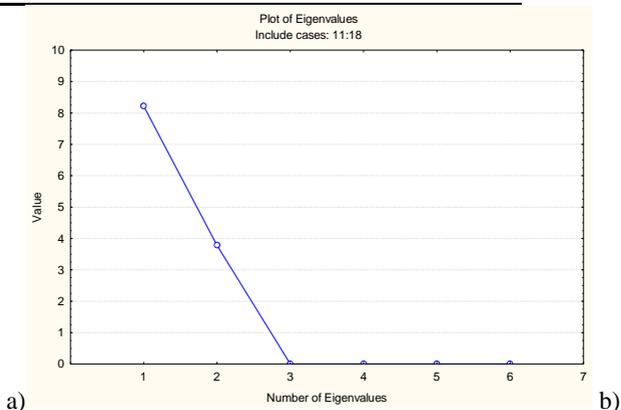


Figura 48- Descrição dos componentes principais do conjunto C:

a)Componentes principais referentes as 15 variáveis e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos

A ACP graficamente pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, ou componentes principais, que dispostos num espaço a duas dimensões representem variabilidade suficiente para indicar um padrão a ser interpretado (Bernardi et al., 2001).

Na Figura 49 vemos que o PC1 possui maior correlação positiva com os dias antecedentes sem chuva e uma correlação negativa com as variáveis de turbidez e sólidos e matéria orgânica. No gráfico (Figura 49) é possível verificar um agrupamento (I) com variáveis que indicam deposição de sólidos durante período de estiagem diretamente proporcional ao volume de escoamento na entrada da vala de infiltração, deixando claro o fenômeno de acumulo de sedimentos nos período de estiagem. E um segundo grupo (II) que correlaciona turbidez com matéria orgânica, quanto maior a quantidade de sólidos suspensos maior a concentração de matéria orgânica. O PC2 foi caracterizado pelo tempo de precipitação e pelo tempo do escoamento superficial.

.A)

	PC1	PC2
t (min)	0,347	0,917
tesc (min)	0,431	0,902
D	0,999	0,038
Ve(m³)	-1,000	-0,020
pH	0,618	-0,757
TURB_L	-0,922	0,335
TURB_C	-0,999	-0,032
DQO_{TOTAL}	-0,912	0,353
DQO_{SOL}	-0,965	-0,139
COT	-0,994	-0,072
ST	-0,999	-0,045
SDT	-1,000	-0,004
SST	-0,998	-0,047
Expl.Var	10,278	2,4968
Prp.Totl	0,79063	0,1920

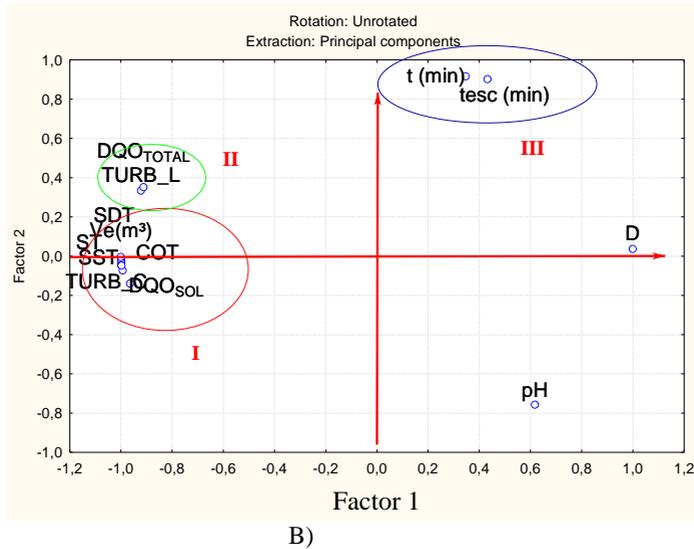


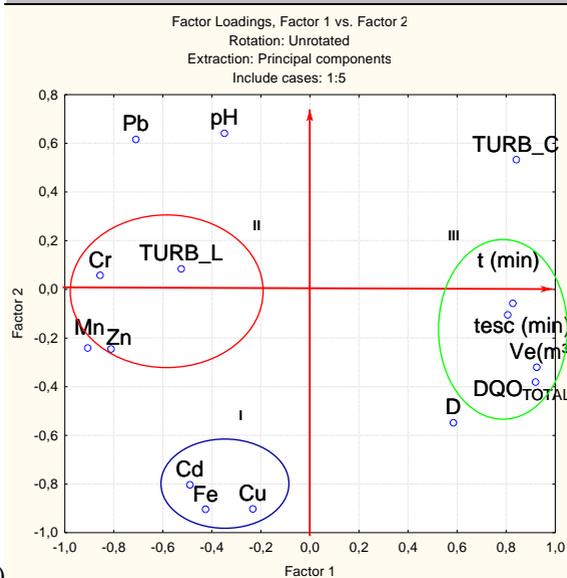
Figura 49- Conjunto A. A) Composição dos fatores. B) Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis segundo factor loading s

O conjunto B foi modelado para 3 PC's. Aproximadamente 68% da variabilidade dos dados é explicado por três fatores principais, isso significa que de 12 variáveis originais com 80 observações, passou-se a utilizar três fatores, que representam o conjunto original. Com isso, houve uma redução de dimensionalidade com perda de explicação de 32% .

Figura 50 o PC1 obteve correlação positiva com Tempo da precipitação (t), tempo do escoamento (tesc), volume de entrada (Ve) na vala e DQOtotal. Portanto a componente principal foi a relação da matéria orgânica carregada pelo escoamento superficial, quanto maior o volume de entrada na vala maior a quantidade de matéria orgânica e menor foi a correlação do Cr, Zn e Mg no escoamento. Estes eventos apresentaram uma maior concentração de Cromo e Zinco, como havia sido mostrado na Figura 45.

A)

	PC1	PC 2	PC3	PC4
t (min)	0,83	-0,06	-0,22	0,52
tesc (min)	0,81	-0,10	0,31	0,49
D	0,58	-0,55	-0,55	0,24
Ve(m³)	0,93	-0,32	0,19	0,08
pH	-0,35	0,64	0,65	0,22
TURB_L	-0,52	0,08	0,78	0,34
TURB_C	0,84	0,53	-0,09	0,01
DQO_{TOTAL}	0,92	-0,38	0,01	-0,10
Cd	-0,49	-0,80	0,32	-0,11
Cu	-0,23	-0,90	0,36	-0,06
Pb	-0,71	0,62	-0,33	-0,09
Zn	-0,81	-0,24	-0,41	0,33
Cr	-0,85	0,06	-0,22	0,46
Fe	-0,43	-0,90	0,02	-0,04
Mn	-0,91	-0,24	-0,29	0,20
Expl.Var	7,67	4,04	2,15	1,14
Prp.Totl	0,51	0,27	0,14	0,08



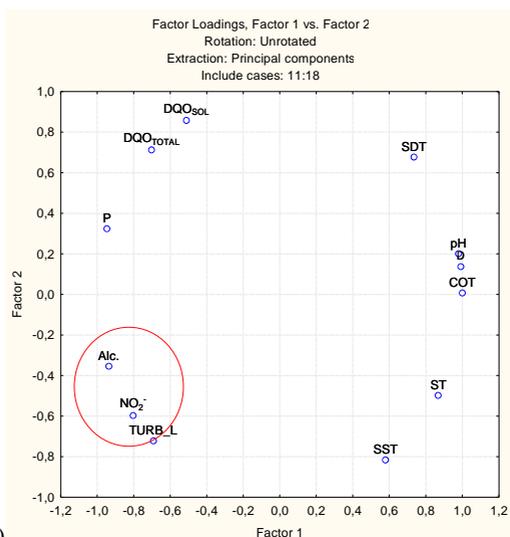
B)

Figura 50- Conjunto B-A) Composição dos fatores. B)Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1, 2, 3 e 4) e variáveis segundo factor loadings

Os PCs que modelaram o conjunto C para o PC1 foram: dias anteriores sem chuva (D), pH, cot e sólidos totais, que é diretamente proporcional a deposição de sólidos no solo. Já o PC2 foi caracterizado pela matéria orgânica transportada pelos sólidos carreados no escoamento superficial (Figura 51).

A)

	PC1	PC2
D	0,99	0,20
pH	0,98	-0,35
Alc.	-0,94	-0,72
TURB_L	-0,69	0,71
DQO _{TOTAL}	-0,70	0,86
DQO _{SOL}	-0,51	0,01
COT	1,00	-0,50
ST	0,87	0,68
SDT	0,74	-0,82
SST	0,58	-0,60
NO ₂ ⁻	-0,80	0,32
P	-0,95	3,78
Expl.Var	8,22	0,32



B)

Figura 51- Conjunto C-a) Composição dos fatores. b)Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1e fator 2) e variáveis segundo factor loadings

Pela Análise dos componentes principais pode-se identificar os padrões comportamentais das variáveis físico-químicas do escoamento superficial, sendo que o Conjunto A e o Conjunto C convergiram nos PC1, por serem caracterizados pelo acúmulo de sólidos nos períodos de estiagem.

A quantidade e a qualidade dos sólidos depositados nas áreas impermeáveis irão influenciar na contaminação do ambiente subterrâneo pela estrutura de infiltração. Após o período de estiagem, os sólidos são desagregados e associados aos contaminantes presentes na área impermeável pela precipitação. Assim, quanto maior o número de dias de estiagem, maior o acúmulo de sólidos e contaminantes, e quanto maior o volume de chuva no evento, maior a carga de contaminantes que será carregada pelo escoamento superficial associado aos sedimentos, como foi visto no Conjunto A.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHO FUTUROS

Os objetivos específicos deste trabalho foram avaliar o comportamento hidráulico de uma vala de infiltração no controle do escoamento superficial, caracterizar uma vala de infiltração como técnica compensatória e caracterizar quali-quantitativamente a água do escoamento superficial da vala de infiltração.

O solo foi classificado como Areias Quartzosas não-hidromórficas descoloridas, Neossolo, com baixa porcentagem de argila no solo em média 3,46% de 0-20 e 5,37% de 20-40cm, e a alta porcentagem de areia, fazendo com que este solo seja inapropriado para infiltração de águas residuárias pluviais. Apresentou valores atípicos de pH para solos arenosos, que foram bem próximos da neutralidade nas coletas de 2014 em média 7 e básico nas coletas de 2015, consequência dos altos teores de matéria orgânica, que em solos arenosos costumam ser menores que 10g/kg. Um solo in natura não teria este comportamento, mas como a vala recebe carga de águas residuárias de lavagem de rua altera o comportamento natural do solo. Assim, a partir dos valores de ΔpH infere-se que o solo possui uma maior tendência de adsorção de cátions

O ponto 2 apresentou uma maior concentração de Cr, Mn e Ni no perfil de 20-40cm em 2014 e o Mn analisado no ponto 3, foi o único metal que aumentou a concentração em profundidade na coleta de 2015. Em relação a variação longitudinal dos metais na vala de infiltração, os metais que apresentaram maior variação no perfil A foram o Zn e o Mn, e no perfil B foi o Zn, sendo que em ambos os perfis o Zn aumentou sua concentração. O Manganês e o Zinco tem a tendência de formar ligações fracas com as partículas do solo permanecendo como cátions trocáveis e facilitando sua mobilidade no solo.

O Cu e Pb tiveram uma correlação positiva com o teor de matéria orgânica, sendo que no solo estes cátions tem a tendência de serem adsorvidos pela matéria orgânica.

A partir da caracterização granulométrica do solo, solos arenosos têm a tendência de percolar contaminantes para o ambiente subterrâneo, porém infere-se das análises físico-químicas e da variação longitudinal do metais pesados na vala, que o teor de matéria orgânica e o pH contribuíram para adsorção dos contaminantes pelo solo.

À vala de infiltração teve um ótimo desempenho no controle do escoamento superficial. Com exceção dos eventos de 04/08, 02/09 e 04/11 que tiveram curvas $V_s > V_i$, todos os eventos tiveram V_i maior

que Vs, mostrando um bom comportamento como técnica compensatória de infiltração. As melhores correlações entre os parâmetros quantitativos de precipitação e do escoamento superficial pelo teste de Student foram : dias antecedentes sem chuvas e volume de entrada na vala, intensidade da chuva com a porcentagem infiltrada, e a evapotranspiração com a porcentagem infiltrada e a porcentagem infiltrada com o tempo de escoamento na vala.

Em 80% dos eventos avaliados a taxa de infiltração assintótica foi da mesma ordem de grandeza que a taxa de infiltração realizada pelos anéis concêntricos. Não se encontrou uma proporção direta entre os dias antecedentes sem chuva com uma maior taxa de infiltração no evento, pois a taxa de infiltração depende de outros fatores como o tempo de ascensão e do volume acumulado de precipitação. Na continuidade deste projeto deve-se instalar tensiômetros na vala para um melhor monitoramento da taxa de infiltração sem ter que ser estimado por equações.

Assim, dos 18 eventos analisado somente em 3 eventos (02/09/, 13/02 e 09/03) a vala não controlou o escoamento pela infiltração,consequência dos dias antecedentes de chuvas e pela precipitação acumulada. E pela matriz de avaliação da vala, a estrutura obteve um ótimo desempenho como técnica compensatória de infiltração em 47% do eventos analisados.

Nos polutogramas de turbidez foi perceptível nos gráficos que durante a passagem da vazão de pico, há uma queda nos valores da turbidez, devido ao aumento de volume de água que está sendo escoado pela bacia durante o evento.

Os valores turbidez, Cd, Pb e Cr na água do escoamento superficial ficaram acima do valor limite estabelecidos pelo CONAMA 357. Sendo indicado a instalação de algum sistema de pré-tratamento do efluentes pluvial antes de ser infiltrado, no caso da vala como os contaminantes tiveram relação direta com sólidos seria indicado a instalação de uma caixa de areia a montante da vala de infiltração, para o controle qualitativo do escoamento.

Pela Análise dos componentes principais pode-se identificar os padrões comportamentais das variáveis físico-químicas do escoamento superficial, sendo que o Conjunto A e o Conjunto C convergiram nos PC1 por serem caracterizados pelo acúmulo de sólidos nos períodos de estiagem.

Assim este trabalho alcançou a meta de contribuir cientificamente com a prefeitura no refinamento da estrutura de infiltração utilizada pelo município, sendo indicadas apenas algumas adequações, como reforma

do talude da vala, instalação de uma caixa de areia a montante da vala, paisagismos da estrutura para conscientizar a população sobre sua importância e o principalmente mudar o paradigma de se canalizar os canais de infiltração.

6 RECOMENDAÇÕES

- Como a análise do solo chegou a valores anômalos de pH básico com alto teor de matéria orgânica teria a necessidade de realizar experimentos de adsorção para a verificação da retenção dos contaminantes no solo. Foram encontrados valores de metais pesados bem acima dos valores limites apresentados na literatura, e pela características físicas do solo este não possui uma boa capacidade de reter tais poluentes pode representar um risco de contaminação das águas subterrâneas em virtude da possibilidade de percolação dos mesmos pelo solo.

- Os valores turbidez, Cd, Pb e Cr na água do escoamento superficial ficaram acima do valor limite estabelecidos pelo CONAMA 357. Sendo indicado a instalação de algum sistema de pré-tratamento do efluentes pluviais antes de ser infiltrado. No caso da vala, como os contaminantes tiveram relação direta com sólidos, seria indicada a instalação de uma caixa de areia a montante da vala de infiltração para o controle qualitativo do escoamento.

- O amostrador automático se mostrou eficiente, porém mostrou um grande acumulo de incerteza para análise de Carga de lavagem, tendo que ser aprimorado para coleta do fluxo descendente, além disto, deveria se ter uma sonda multiparâmetro instalada em campo para melhor análise do parâmetros físico-químicos.

- Estabelecer uma rotina periódica mensal de calibração dos sensores para que não interfiram nos resultados finais.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, Suely F. de. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis.** 1996. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção Ergonomia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

ANDRÉ, E. M. et al. Frações de zinco em solo arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon spp cv. Tifton-85*. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 27, n. 3, p. 451-459, 2003.

ARAÚJO, P. R. (1999). **Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial.** Porto Alegre: UFRGS:Curso de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissert. de Mestrado.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A. 2000. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial.** RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. Volume 5, n. 3, Jul/Set 2000. 21-29.

BÄCKSTRÖM, M. (2001). **Particle trapping in grassed swales.** *NOVATECH'2001* 391 (pp. 391–398).

BARBOSA, T. C. P. **Ecolagoo - Um Breve Documento sobre a Ecologia da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.** Florianópolis, Fundação Lagoa, Instituto Sócio Ambiental Campeche e CECCA. 2003. 86p.

BENGTSSON, L. (2008). **First flush effect from vegetated roofs during simulated rain events.** *Hidrology research.* IWA Publishing .

BIRCH, G. F., FAZELI, M. S., & MATTHAI, C. (2006). **Efficiency of an infiltration basin in removing.** *Environmental Monitoring and Assessment*, (2005), 23–38.

BIRCH, H., SHARMA, A. K., VEZZARO, L., LÜTZHØFT, H.-C. H., & MIKKELSEN, P. S. (2013). **Velocity dependent passive sampling for monitoring of micropollutants in dynamic stormwater discharges.** *Environmental Science & Technology.* doi:10.1021/es403129j

BORGES, Sérgio F. **Características hidroquímicas do Aquífero Freático do Balneário Campeche, Ilha de Santa Catarina.** 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

BRASIL Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). 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. Resolução no 357, 2005. Diário Oficial da União, Brasília, mar. 2005

BRITES. A. P Z, M. DO C. C. G. (2007). Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 12 n.4 Out/Dez 2007,211-221, 12(2002), 211–221.

UK- BRE digest 365 Soakaway Design e Ciria, Report 156 Infiltration Drainage Manual of Good Practice; BRE (Building Research Establishment) www.bre.co.uk.

CAMPANA. J. C, JUNIOR . G.F.N.G, CARVALHO.E.T.L **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais** /, organizadores. – Brasília : Faculdade de Tecnologia, 2012. XXXVI, 644 p. : il. ; 155mm x 225mm. (Série Geotecnia – UnB, v. 4). *Acessado em* : <http://www.geotecnia.unb.br/index.php?p=posgrad&pos=outros>

CAMPONELLI, K. M., LEV, S. M., SNODGRASS, J. W., LANDA, E. R., & CASEY, R. E. (2010). Chemical fractionation of Cu and Zn in stormwater, roadway dust and stormwater pond sediments. Environmental pollution (Barking, Essex: 1987), 158(6), 2143–9. doi:10.1016/j.envpol.2010.02.024Owings Mills, Baltimore Count

CAMPOS, Milton César Costa. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais Soil attributes and risk of leaching of heavy metals in tropical soils. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547-565, 2011.

CHEBBO, G., & GROMAIRE, M. C. (2004). The experimental urban catchment “Le Marais” in Paris: what lessons can be learned from it? Journal of Hydrology, 299(3-4), 312–323. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.08.011

Claytor, R. a., & Schueler, T. R. (1996). Design of Storm water Filtering Systems.

COSTA.J.; . ALEANDRI.G. A E POLETO. 2011. Experimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Watershed in order to minimize the problems of flooding ; Federal University of Technology - Paraná (UTFPR) , Toledo, PR, Brazil

COUSTOMER S. LE, MOURA. P, BARRAUD. S, B. CLOZEL, VARNIER J.-C.. (2007). Spatial analysis and temporal evolution of

pollutants in a stormwater infiltration basin – estimation of the mass of trapped pollutants. *NOVATECH 2007* (pp. 819–826).

CRUZ, M., ARAUJO, P., AGRA, S., SOUZA, V., COLLISCHONN, W. 2001 **Valorização da água no meio urbano: um desafio possível.** In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Aracaju. Anais. Aracaju: ABRH. 14pp.

DATRY, T., MALARD, F., & GIBERT, J. (2004). **Dynamics of solutes and dissolved oxygen in shallow urban groundwater below a stormwater infiltration basin.** *The Science of the total environment*, 329(1-3), 215–29. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.02.022

DAVIS, A.P., Shokouhian, M. e Ni, S. (2001). “**Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources.**” *Chemosphere*. 44, 997-1009.

DECHESNE, M., BARRAUD, S., & BARDIN, J.-P. (2004). **Spatial distribution of pollution in an urban stormwater infiltration basin.** *Journal of contaminant hydrology*, 72(1-4), 189–205. doi:10.1016/j.jconhyd.2003.10.011

Dias, Fernanda Spitz & Antunes, Patricia Tainá da Silva Correa **Estudo Comparativo de Projeto de Drenagem Convencional e Sustentável para Controle de Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**– Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2010.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/projetos.aspx>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMERSON, C. H., WADZUK, B. M., & TRAVER, R. G. (2010). **Hydraulic evolution and total suspended solids capture of an infiltration trench.** *Hydrological Processes*, 24(8), 1008–1014. doi:10.1002/hyp.7539

FERREIRA, L.C.A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN – Brasil** Natal, RN, 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado) □ Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

FISCHER, D., CHARLES, E. G., & BAEHR, A. L. (2003). **Effects of Stormwater Infiltration on Quality of Groundwater Beneath Retention and Detention Basins.** *Journal of Environmental*

Engineering, 129(5), 464–471. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:5(464)

FONSECA, P. L. DA, NASCIMENTO, E. A. DO, & LONGO, O. C. (2006). **Gestão ambiental de bacias hidrográficas: medidas não convencionais no controle de cheias urbanas – principais aspectos, considerações e ações integradas.** XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006 (pp. 1–8).

FLORIAN, M., THIBAUT, D., & GIBERT, J. (2001). **Physico-Chemical and Biological Groundwater Quality Below a Stormwater Infiltration Basin Lacking Efficient Filtration System**. NOVATECH'2001 (pp. 759–763).

FORGIARINI, F.R. “**Incentivos econômicos à sustentabilidade da drenagem urbana: o caso de Porto Alegre - RS.**” 01/05/2010 1v. 190p. Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

FORTUNATO, J. M. (2009). *COMPORTAMENTO DOS ÍONS CHUMBO, COBRE, NÍQUEL* Janaina Mara Fortunato Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e.

GENZ, F. 1994. **Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas.** 162pp. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

GENÇ-FUHRMAN, H., MIKKELSEN, P. S., & LEDIN, A. (2007). **Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: experimental comparison of 11 different sorbents.** Water research, 41(3), 591–602. doi:10.1016/j.watres.2006.10.024

GROMAIRE-MERTZ, M. C. GARNAUD, S. GONZALEZ, A & CHEBBO, G. Characterisation of urban runoff pollution in Paris. *Water Science & Technology*. v. 39, n. 2, pp. 1-8. Great Britain: Elsevier, 1999.

Hugen, C. (2010). **Valores de Referência para Teores de Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn em Solos do Estado de Santa Catarina.** Retrieved from

http://manejodosolo.cav.udesc.br/www17/messias_up/conteudos/737b04b11960546b17bdad9deb832056/file/Dissertacao_Camila_Hugen_0108203_Manejo_do_Solo.pdf

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000.** Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

JÚNIOR A. A. O, **Medidas não-convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares /** São Carlos, 2008. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de

Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

LIMA, V. C. G. R. **Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio não saturado**.01/05/2009. 1v. 174p. Mestrado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS - ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO.

Lucas, A. H. (2011). Universidade federal de são carlos.MARCOS, L.; LEGRET, M.; RAIMBAULT, G. e CLOIREC, P (2001). **Zinc and lead transport in soils during stormwater infiltration . Experimental and modelling studies. NOVATECH'2001** (pp. 773–780).

MARTÍNEZ, L. L. G. (2010). **Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas impermeáveis em Porto Alegre**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul . Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

MATUZIC, J. , BLASI, A., O'LOUGHLIN, G., BEECHAM, S., & AND MYL, S. (2001). **Stormwater Infiltration Experiments on a Sandy Area in Eastern. NOVATECH'2001**.

MENEZES, F.L., **Avaliação da qualidade de águas de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores: Estudo de caso do túnel Rebouças na bacia contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas**. 2004, 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004."

MILLON, Mônica Márcia B. **Águas subterrâneas e política de recursos hídricos. Estudo de caso: Campeche, Florianópolis – SC**. 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MITTMANN, Michel de A. **Uma cidade na areia: diretrizes urbano-ambientais para a planície do Campeche**. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NASCENTES, R. **Estudo da mobilidade de metais pesados em um solo residual compactado Tese**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2006.

NUNES, R. T. S. **Métodos para inserção de técnicas em gestão de águas pluviais no processo de planejamento e desenho urbano: estudos de caso em guarantã do norte, na região amazônica**

brasileira, e na região metropolitana de Melbourne, Austrália. [s.l.: s.n.], Dez/2011.

OLIVEIRA, L. F. C., Lemke-de-Castro, M. L., Rodrigues, C., & Borges, J. D. (2010). **Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 14(7), 776–782. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700014>

PACHECO, Elisa F. **Estudo dos impactos da drenagem urbana nos recursos hídricos do distrito do Campeche.** 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PACHECO, Elisa Ferreira ; FINOTTI, A. R. . **Interfaces between traditional urban drainage systems and water resources: case study: Rio Tavares and Morro das Pedras watersheds Florianópolis/Brazil.** WIT Transactions on Ecology and the Environment (Online), v. 182, p. 187, 2014.

PIPPI, Luis Guilherme A. **Considerações ambientais e paisagísticas para o planejamento urbano do Campeche – Florianópolis (SC).** 2004. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

POLETO, C.; LUZ, L.; MARTINEZ, G. **Sedimentos urbanos : ambiente e água urban sediments : environment and water.** *Holos Environment*, v. 8634, n. 1519-8634, p. 1–15, 2011

POSSAMAI, Tarcisio. **Cadastro dos recursos minerais de Santa Catarina:** nota explicativa sobre geologia das ocorrências minerais. Distrito do DNPM: SECTME. Florianópolis, n. 3, 85 f., 1989.

SÃO PAULO **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo** / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. - São Paulo : CETESB, 2001

SILVEIRA A. L. L., 2000, **Aspectos Históricos da Drenagem Urbana no Brasil**, In : Tucci, C.EM., Goldenfum, J., Depettris, C., Pilar, J., 2000, Hidrologia Urbana na Bacia do Prata, ABRH, CAPES, IPH/UFRGS, SETCIP, UNNE, pp 11-17.

SÁ FILHO, J. A. R. **Avaliação qualitativa das águas no sistema de macrodrenagem da bacia do Tabuleiro dos Martins – Maceió/AL** / 2010. 139 f. : il.. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2010.

SILVA, A; NASCIMENTO, N.O.; SEIDL,M. E VIEIRA,L.
“**Caracterização do escoamento urbano de origem viária e remoção de seus poluentes por meio de técnicas compensatórias.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2008, Campo Grande -Mato Grosso.

SILVA, G. B. L. (2006). “**Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas.**” Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-01/06,Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília,Brasília,DF,180p

SILVA. A. H. C L da (2009). **Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de infiltração e vala de detenção.**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

RIGHETTO, A. M (coordenador). **Manejo de águas pluviais urbanas. In: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB.** 369 p. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

TASSI, Rutinéia; VILLANUEVA, Adolfo O. N.. **Análise à escala de bacia do controle obtido com a implementação de microrreservatórios de lote.** In: xv simpósio brasileiro de recursos hídricos. 2003, Curitiba. Artigo. Curitiba: Anais do Xv Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, 2003. p. 1 - 11.

http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Grassed-swales.cfm#_ga=1.223385051.1731144122.1445109410

UNITED STATES. **Department of Agriculture. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples.** Washington, Soil Conservation Service, 1967. 50 p. (Soil Survey Investigation Report, 1)

VARNIER, J. (2007). **Spatial analysis and temporal evolution of pollutants in a stormwater infiltration basin – estimation of the mass of trapped pollutants.** *NOVATECH 2007* (pp. 819–826).

VIEIRA, P.C., **Avaliação das condições de qualidade em tempo seco e durante eventos de chuva em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte.** 2008, 213p.Dissertação (Mestrado em Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ZOPPOU, Christopher. Review of urban storm water models. *Environmental Modelling & Software*. 16, p. 195?231, 2001. Wei, Z., SIMIN, L., & FENGBING, T. (2013). **Characterization of urban runoff pollution between dissolved and particulate phases.** *TheScientificWorldJournal*, 2013, 964737. doi:10.1155/2013/964737

W VIGÂNIGO, Elaine R. **Desenvolvimento local e empowerment no Campeche.** 2004. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004).

Referência da tese online:
http://www.eps.ufsc.br/teses96/seiffert/capa/capa_nel.htm SEIFFERT (1996). - pagina no site da UFSC não está sendo mais encontrada.

HITTEMORE, D. O. (2012). POTENTIAL IMPACTS OF STORMWATER RUNOFF ON WATER QUALITY IN. **JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, 66047.**