



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.**

**AVALIAÇÃO DE UMA BIORRETENÇÃO COMO
ESTRUTURA SUSTENTÁVEL DE
DRENAGEM URBANA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jair João Daniel Júnior

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**AVALIAÇÃO DE UMA BIORRETENÇÃO COMO
ESTRUTURA SUSTENTÁVEL DE
DRENAGEM URBANA**

Jair João Daniel Júnior

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Delmira Beatriz Wolff

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Daniel Júnior, Jair João
Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana / Jair João Daniel Júnior.-2013.
115 p.; 30cm

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Coorientadora: Delmira Beatriz Wolff
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013

1. Infiltração 2. Evapotranspiração 3. Escoamento superficial I. Piccilli, Daniel Gustavo II. Wolff, Delmira Beatriz III. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Jair João Daniel Júnior. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: eng.jairdaniel@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DE UMA BIORRETENÇÃO COMO ESTRUTURA
SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM URBANA**

elaborada por
JAIR JOÃO DANIEL JUNIOR

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof^a. Dr^a. Delmira Beatriz Wolff (UFSM)
(Coorientadora)

Prof. Dr. Fernando Dorneles (IPH/UFRGS)

Santa Maria, 11 de novembro de 2013.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

AVALIACÃO DE UMA BIORRETENÇÃO COMO ESTRUTURA SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM URBANA

Autor: Jair João Daniel Júnior
Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de Novembro de 2013.

Com aumento da impermeabilização nos centros urbanos, gerado principalmente pela urbanização, faz-se necessário à busca por novas estruturas sustentáveis, que atuem não só no controle quantitativo, mas também na parte qualitativa das águas pluviais. A pouca infiltração nas áreas urbanas, acaba por contribuir para a contaminação dos corpos de água, uma vez que, as águas provindas do escoamento superficial tendem a “lavar” ruas e calçadas carreando os poluentes ali encontrados até os corpos receptores, essa primeira parcela da chuva, é conhecida como first flush. Como exemplo desse tipo de estrutura, estão às trincheiras de infiltração, evapotranspiração, mistas, pavimentos permeáveis, assim como, reservatórios de detenção entre outras. No Brasil, existem poucos estudos, que possam fornecer dados precisos de dimensionamento e funcionamento em longo prazo de tais estruturas. Dessa forma, uma biorretenção ou trincheira mista (evapotranspiração e infiltração) foi construída no campus da Universidade Federal de Santa Maria, e monitorada no período de janeiro de 2011 até o mês de março de 2013. O objetivo principal deste estudo é avaliar a capacidade da estrutura no controle qualitativo dos efluentes escoados de uma área de captação (telhado), assim como, a capacidade da estrutura de tratar o first flush oriundo do mesmo. O monitoramento quantitativo revelou que a estrutura suportou todos os eventos ocorridos no período monitorado, onde o nível máximo registrado foi de 80 cm, enquanto o nível útil da estrutura é de 1.20 m. A análise da colmatação revelou um decréscimo na taxa de infiltração do início até o término da pesquisa, ou seja, a estrutura colmatou. A avaliação qualitativa mostrou que, a camada superior não tem capacidade suficiente para filtrar o efluente nos padrões requeridos, cabendo à análise se o efluente que infiltra no solo do fundo, teria ou não, capacidade de ser tratado pelo mesmo sem contamina-lo. A análise colimétrica apontou ausência de coliformes totais, termotolerantes e *E coli* nas análises das plantas. A partir dos resultados obtidos nesse estudo, pode-se dizer que a trincheira mista surge como uma alternativa eficiente no tratamento quali/quantitativo dos efluentes pluviais quando bem dimensionada e operada.

Palavras-chave: Infiltração. Evapotranspiração. Escoamento superficial.

ABSTRACT

Master's Essay
Post-Graduation Program in Civil Engineering.
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

EVALUATION OF A STRUCTURE BIORRETENÇÃO HOW SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE

Author: Jair João Daniel Júnior

Teacher: Dr. Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Date and Site of Presentation: Santa Maria, November 11, 2013.

With the increase of waterproofing in urban centers, mainly generated by urbanization, it is necessary to search for new sustainable structures that act not only quantitative control, but also in the qualitative part of the rainwater. The little infiltration in urban areas, turns out to contribute to the contamination of water bodies, since the waters emanating from the runoff tends to "wash" the streets and sidewalks dragging pollutants found there until receiving bodies, this first part of the rain is known as the first flush. As an example of this type of structure, we have infiltration trenches, evaporation, mixed permeable pavements, as well as detention tanks and other. In Brazil there are not many studies that can provide accurate about sizing and functioning of these structures over the long term. Therefore, a bioretention or mixed trench (evapotranspiration and infiltration) was constructed on the campus of the Federal University of Santa Maria, and monitored from January 2011 until the month of March 2013. The main objective of this study is to evaluate the ability of the trench in quality control of effluents drained of a catchment area (roof), as well as the ability of the structure to treat the first flush originating from the roof. The quantitative monitoring revealed that the structure had a good performance in all events of the monitoring period, where the maximum level recorded was 80 cm, while the useful level of the structure is 1.20 m. The analysis of the colmatation, revealed a decrease in infiltration rate from the beginning until the end of the survey, showing the occurrence of the process of colmatation in the structure. The qualitative evaluation showed that the top layer does not have sufficient capacity to filter the effluent in the patterns requested. The coliform analysis, showed absence for total coliform and *E coli* on analyzes of the plants. Based on the results obtained in this study, it can be said that the trench mixed emerges as an effective alternative in the treatment quality / quantity of stormwater effluent when properly sized and operated.

Keywords: Infiltration. Evapotranspiration. Runoff.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Comparação entre uma mesma área antes e após a urbanização..... | 26 |
| Figura 2 - Exemplo esquemático de sistemas separadores de efluentes. | 27 |
| Figura 3 - efluentes domésticos e pluviais dispostos na mesma rede de drenagem. | 28 |
| Figura 4 - BMPs e LIDs aplicados em meio urbano. | 32 |
| Figura 5 - coincidência de picos devido ao retardo do escoamento. Fonte: Caramori (2002). | 33 |
| Figura 6 - a) e b) Reservatórios de retenção de águas pluviais em Porto Alegre - RS..... | 34 |
| Figura 7 - a) e b) Bacias de infiltração atuando em meio urbano..... | 35 |
| Figura 8 - a) Telhados verdes instalados em residências, b) Telhados verdes instalados em edifícios. | 39 |
| Figura 9 - a) Aplicação de pavimentos permeáveis em parques. b) Pavimento permeável aplicado em um estacionamento..... | 40 |
| Figura 10 - a) Desenho esquemático de um poço de infiltração. b) Poço de infiltração utilizando pneus. Fonte: Reis (2008)..... | 41 |
| Figura 11 - a) e b) Desenho esquemático de uma trincheira de infiltração em funcionamento. | 41 |
| Figura 12 - a) Trincheira de infiltração em uma residência. b) Trincheira em um canteiro central de rodovias..... | 42 |
| Figura 13 - a) Exemplo esquemático e aplicação de uma fossa bananeira..... | 44 |
| Figura 14 - a) Desenho esquemático de um jardim de chuva. b) Jardim de chuva instalado próximo à rodovia..... | 45 |
| Figura 15 - Curva envelope (Adaptado de URBONAS e STAHRÉ, 1993)..... | 50 |
| Figura 16 - a) Localização do experimento. b) Área de captação das águas que compõem a trincheira..... | 51 |
| Figura 17 - a) Início da escavação. b) Trincheira construída. | 52 |
| Figura 18 - Dados climatológicos do município de Santa Maria – RS no decorrer do ano de 2012. | 53 |
| Figura 19 - Modelo esquemático da trincheira mista. | 56 |
| Figura 20 - a) Pluviógrafo, b) data logger, c) Sensor de pressão. | 57 |
| Figura 21 - a) Tubos de coleta TA. b) Retirada do efluente TD..... | 59 |

| | |
|---|-----|
| Figura 22 - a) Reservatórios de coleta do first flush HAGEMANN (2009). b) Bomba utilizada nas coletas. | 60 |
| Figura 23 - a) Abertura da trincheira. b) Trincheira parcialmente aberta, com destaque para o tipo de solo..... | 66 |
| Figura 24 - a) b) e c) Preenchimento da trincheira com material granular. | 67 |
| Figura 25 - a) Instalação da tubulação ligando calha à trincheira. b) Sifão de armazenamento. | 68 |
| Figura 26 - a) Instalação dos drenos. b) Funcionamento dos drenos mediante a um evento... | 69 |
| Figura 27 - Comparação entre volume precipitados observados na trincheira e corrigidos. ... | 70 |
| Figura 28 - Confronto de dados registrados na área da trincheira e na estação INMET. | 71 |
| Figura 29 - Série histórica da trincheira..... | 72 |
| Figura 30 - Evento monitorado no ano de 2011..... | 76 |
| Figura 31 - Evento monitorado no ano de 2012..... | 77 |
| Figura 32 - Evento monitorado no ano de 2013..... | 78 |
| Figura 33 - Valores de pH para amostras analisadas. | 82 |
| Figura 34 - Valores de condutividade para as amostras analisadas. | 83 |
| Figura 35 - Valores de turbidez para as amostras analisadas..... | 85 |
| Figura 36 - Amostras de TD e TA em coleta realizada após evento pouco significativo..... | 86 |
| Figura 37 - Concentrações de Oxigênio dissolvido analisados..... | 87 |
| Figura 38 - Valores de Temperatura analisados..... | 88 |
| Figura 39 - Valores de DBO para amostras analisadas..... | 89 |
| Figura 40 - Valores de Coliformes Totais analisados. | 91 |
| Figura 41 - Valores para Coliformes termotolerantes analisados. | 92 |
| Figura 42 - Concentração de Sólidos totais, TA e TD. | 93 |
| Figura 43 - Concentrações para sólidos suspensos analisados. | 94 |
| Figura 44 - a) Primeiro plantio das mudas na trincheira. b) Mudas de nabo forrageiro. | 96 |
| Figura 45 - a) e b) Espécies plantadas na trincheira expostas ao intemperismo. | 96 |
| Figura 46 - a) e b) Trincheira com todas as espécies plantadas..... | 97 |
| Figura 47 - a) Trincheira em acrílico. b) Desenvolvimento das raízes das plantas. | 98 |
| Figura 48 - a) b) Registro final das plantas utilizadas na trincheira. | 99 |
| Figura 49 - Amostras das plantas recolhidas para análise colimétrica. | 100 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Parâmetros físicos químicos e métodos de análise..... | 60 |
| Tabela 2 - Valores para dimensionamento da trincheira. | 64 |
| Tabela 3 - Características dos eventos monitorados..... | 73 |
| Tabela 4 - Estimativa dos parâmetros da equação de Horton segundo Tomaz (2010). | 80 |
| Tabela 5 - Parâmetros utilizados na modelagem. | 80 |
| Tabela 6 - Espécies vegetais utilizadas no estudo. | 95 |
| Tabela 7 - Períodos monitorados onde não houve precipitação. | 99 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Algumas causas e efeitos da urbanização. Fonte: Porto et al. (1997). | 28 |
| Quadro 2 - Parâmetros de caracterização de águas pluviais. Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998). | 30 |
| Quadro 3 - principais mecanismos de remoção de poluentes em estruturas onde são utilizadas plantas. | 37 |
| Quadro 4 - Períodos de Retorno para diferentes ocupações (DAEE/CETESB, 1980)..... | 65 |
| Quadro 5 - Porosidade efetiva dos materiais utilizados no estudo. | 67 |

SIGLAS E ABREVIACOES

| | |
|--------|--|
| °C | Graus Celcius |
| ANA | Agencia nacional de Águas |
| ASCE | America Society of Engineers |
| BMP | Best Management Practices |
| CIRIA | Construction Industry Research and Information Association |
| DBO 5 | Demanda Biológica de Oxigênio |
| EUA | Estados Unidos da América |
| EVTP | Evapotranspiração potencia |
| FF | First Flush |
| FIESP | Federação das Indústrias do Estado de São Paulo |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDF | ndice Duração e Frequência |
| INME | Instituto Nacional de Metereologia |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econmica Aplicada |
| pH | Potencial Hidrogeiônico |
| PVC | Policloreto de Vinila |
| TA | Trincheria Antes |
| TD | Trincheira Depois |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UNIFRA | Centro Universitário Franciscano |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA | 19 |
| 2 OBJETIVOS..... | 23 |
| 2.1 Objetivo geral | 23 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 23 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 25 |
| 3.1 A atual situação da drenagem urbana | 25 |
| 3.2 Principais fontes de poluentes encontrados em águas urbanas. | 29 |
| 3.3 Alternativas sustentáveis para controle e tratamento dos efluentes pluviais – BMPs e LIDs..... | 31 |
| 3.3.1 Sistemas de armazenamento na fonte..... | 33 |
| 3.3.2 Sistemas de infiltração e controle centralizado na fonte. | 35 |
| 3.3.3 Sistemas de tratamento de efluentes utilizando plantas | 36 |
| 3.3.4 Telhados verdes..... | 38 |
| 3.3.5 Pavimentos permeáveis | 39 |
| 3.3.6 Poços de infiltração | 40 |
| 3.3.7 Trincheiras de infiltração | 41 |
| 3.3.8 Trincheiras de evapotranspiração ou “fossa bananeira” | 43 |
| 3.3.9 Trincheiras mistas evapotranspiração infiltração | 44 |
| 3.4 Vantagens e desvantagens do uso de trincheiras no controle do escoamento superficial .. | 46 |
| 3.5 Metodologias utilizadas no dimensionamento de trincheiras..... | 48 |
| 3.5.1 Método da curva envelope (<i>rain envelop method</i>)..... | 49 |
| 4 METODOLOGIA | 51 |
| 4. 1 Localização e caracterização da área de estudo..... | 51 |
| 4.2 Dimensionamento da trincheira..... | 53 |
| 4.2.1 Estimativa dos parâmetros | 54 |
| 4.3 Monitoramento quantitativo | 56 |
| 4.3.1 Análise dos eventos e comportamento hidráulico da trincheira. | 57 |
| 4.4 Monitoramento qualitativo | 58 |
| 4.4.1 Coleta dos efluentes TA e TD | 59 |
| 4.5 Análises colimétrica e do desenvolvimento das plantas..... | 61 |
| 5 RESULTADOS..... | 63 |
| 5.1 Dimensionamento da trincheira..... | 63 |
| 5.2 Construção e funcionamento da biorretenção ou trincheira mista. | 65 |
| 5.3 Ajuste dos dados Monitorados | 69 |

| | |
|--|------------|
| 5.4 Análise dos eventos monitorados na trincheira..... | 71 |
| 5.5 Análise da infiltração da trincheira | 75 |
| 5.6 Comparação dos Parâmetros de Horton..... | 79 |
| 5.7 Análise qualitativa dos efluentes..... | 81 |
| 5.7.1 pH (Potencial Hidrogeiônico)..... | 81 |
| 5.7.2 Condutividade elétrica..... | 83 |
| 5.7.3 Turbidez..... | 84 |
| 5.7.4 Oxigênio Dissolvido..... | 86 |
| 5.7.5 Temperatura..... | 88 |
| 5.7.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5)..... | 89 |
| 5.7.7 Coliformes totais | 90 |
| 5.7.8 Coliforme termotolerantes | 91 |
| 5.7.9 Sólidos Totais | 92 |
| 5.7.10 Sólidos suspensos | 94 |
| 5.8 Avaliação do desenvolvimento das plantas | 95 |
| 5.9 Análise colimétrica das plantas..... | 100 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 103 |
| 7 RECOMENDAÇÕES SOBRE A TRINCHEIRA MISTA | 105 |
| REFERÊNCIAS | 107 |

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O aumento da taxa de urbanização nas cidades brasileiras observado nos últimos anos vem acompanhado de inúmeros problemas relacionados à infraestrutura urbana (CARAMORI, 2002). Dentre os diversos problemas observados, os que mais preocupam são sem dúvida, a impermeabilização das áreas urbanas e consequente poluição dos corpos d'água presentes nestas áreas. O crescimento urbano, muitas vezes mal planejado e desorientado, acaba por contribuir ainda mais com esse tipo de problema, uma vez que, o aumento das áreas impermeáveis faz com que grande parte do volume precipitado que antes infiltrava no solo ou eventualmente evapotranspirava através da vegetação, se torne parte do escoamento superficial, contribuindo para o aumento dos volumes escoados e das vazões de pico. Estas alterações provocam um aumento na frequência e gravidade de alagamentos e inundações, que, em conjunto com a poluição hídrica já existente, degradam a qualidade das águas urbanas. Segundo Silveira (1999), a impermeabilização causada pela urbanização, pode provocar aumento da ordem de 6 a 7 vezes no coeficiente de escoamento global. Com relação à vazão de pico, o aumento pode ser da ordem de 6 vezes em relação à vazão natural dependendo das condições locais (Tucci e Genz 1995). Dentre os problemas qualitativos atribuídos ao atual sistema de drenagem urbana, podem ser citados, por exemplo, o despejo de esgotos sanitários in-natura, assim como o transporte difuso de poluentes até os cursos de água após um evento pluviométrico. O aporte difuso é oriundo do aumento da deposição atmosférica de poluentes sobre as superfícies urbanas e de resíduos sólidos ou orgânicos, os quais, durante a lavagem das ruas, telhados e pavimentos nos primeiros minutos de precipitação são carregados até um corpo de água receptor constituindo o denominado *first-flush*, ou primeira parcela do evento pluviométrico, que é a mais contaminada.

Os principais poluentes carregados pela drenagem urbana são sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, bactérias, metais pesados e demais resíduos sólidos. Como exemplos de impactos no corpo de água receptor estão as alterações estéticas (cor e turbidez), o depósito de sedimentos, a depleção do oxigênio dissolvido, a mudança na temperatura e contaminação por organismos patogênicos, encontrados principalmente no esgoto doméstico.

Segundo Ide (1985) e Chebbo (1992), a concentração de poluentes encontrados no “*first flush*” é tão nociva, quanto a concentração referente aos esgotos domésticos, não podendo ser desprezada quando se trata da qualidade do meio receptor (em geral os cursos d’água em meio urbano). A diferença é que, a poluição dos esgotos domésticos, é essencialmente orgânica, enquanto que, a transportada pelas águas do escoamento pluvial, que além de conter poluentes orgânicos, ainda é composta pela mistura de inúmeros outros poluentes, além dos citados anteriormente.

Deste modo, como forma de controlar ou mitigar os problemas quali/quantitativos relacionados à impermeabilização dos centros urbanos, várias estruturas alternativas vem sendo sugeridas tais como: pavimentos permeáveis, reservatórios de retenção, telhados verdes, trincheiras de infiltração e trincheiras de evapotranspiração.(ASCE, 1992). Segundo Fujita (1996), os dispositivos alternativos desempenham papel fundamental no que se refere a melhorias ecológicas no ciclo da água em meio urbano. Esse tipo de estrutura trabalha tanto na redução das vazões máximas, como no caso de reservatórios de amortecimento, quanto na redução dos volumes escoados, através da infiltração das águas drenadas, podendo desempenhar um importante papel na remoção e controle dos poluentes encontrados no escoamento superficial, bem como, na recarga das águas subterrâneas.

Vários autores (Fujita 1996, e Yamada 1993, no Japão; Zimmer et al, 1999 e Bettess 1996, na Alemanha; Argue 1999 na Austrália; Balades et al, 1998, Barraud 2000 e Gautier et al. 1999, na França, dentre outros) são exemplos de autores que têm desenvolvido trabalhos com dispositivos de infiltração alternativos em outros países.

No Brasil, ainda não existem muitos estudos que possam fornecer dados precisos de dimensionamento e funcionamento em longo prazo de tais estruturas. Alguns estudos sobre estruturas de infiltração foram desenvolvidos por Caramori (2002), onde o autor avaliou a eficiência de trincheiras de infiltração instaladas no campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Outro trabalho foi realizado por Reis et al (2008), onde, foram estudados parâmetros de projeto para concepção de poços de infiltração de águas pluviais. Além dos trabalhos mencionados sobre as trincheiras de infiltração, Galbiati (2009) avaliou a eficiência de uma trincheira de evapotranspiração ou fossa bananeira, no tratamento de águas negras de uma residência. Apesar de alguns trabalhos já terem sido realizados com estruturas de infiltração, a ideia de uma trincheira mista é até então pioneira. Dessa forma,

mediante a necessidade de se obter mais informações sobre o funcionamento desse tipo de estrutura, foi proposta a construção e monitoramento de uma bioretenção (trincheira mista; infiltração/evapotranspiração), atuando no controle quali/quantitativo dos efluentes pluviais. A estrutura se encontra no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e foi dimensionada considerando as características hidroclimáticas do município.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o funcionamento em longo prazo de uma célula de biorretenção (trincheira mista, infiltração/evapotranspiração), no tratamento quali/quantitativo dos efluentes pluviais para as características construtivas, hidroclimáticas e pedológicas do município de Santa Maria-RS.

2.2 Objetivos específicos

a) Avaliar a eficiência da infiltração da trincheira mista, através do monitoramento quantitativo da estrutura para cada evento ocorrido.

b) Verificar a ocorrência de colmatção na estrutura, através da análise estatística dos eventos ocorridos em diferentes etapas do monitoramento.

c) Avaliar a eficiência da trincheira mista no tratamento qualitativo dos efluentes pluviais.

d) Avaliar a fitossanidade das espécies vegetais utilizadas na estrutura.

e) Verificar a possível contaminação das Plantas por coliformes totais, termotolerantes assim como *Escherichia coli* (*E. coli*).

f) Apresentar recomendações e cuidados para utilização deste tipo de solução, visando estimular seu uso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A atual situação da drenagem urbana

O desenvolvimento populacional e constante crescimento urbano, observados principalmente a partir do século XX, vêm acompanhados de uma gama de impactos relacionados à infraestrutura e ao meio ambiente de um modo geral. Como na maioria das vezes a urbanização ocorre de uma maneira desorganizada e sem um planejamento adequado, essa ocorrência acaba por desencadear uma série de consequências, especialmente no que se diz respeito à impermeabilização das áreas urbanas e contaminação dos corpos receptores. O aumento da impermeabilização traz consigo, um significativo aumento do escoamento superficial, ou seja, parte do volume precipitado em uma determinada área, que antes da urbanização infiltrava no solo, agora, escoam pelas superfícies. Muitas vezes, devido a sistemas de drenagem urbana ineficazes, esse volume escoado, acaba colaborando para o aumento de inundações em meio urbano, fato que, acaba alterando a concentração de poluentes depositados nos corpos d'água.

Um dos principais motivos desse crescimento mal planejado é a ineficiência de uma política de desenvolvimento urbano no planejamento e implantações de ações que conduzam e orientem uma melhor ocupação do solo nas áreas urbanas. Na ((Figura 1 a) e b), é possível observar a diferença nos volumes infiltrados e escoados, para uma mesma área antes e após a urbanização. Nota-se que, para uma área não urbanizada, apenas 10% do volume precipitado se torna escoamento superficial, 40% desse volume é evapotranspirado pela vegetação local e 50% acaba infiltrando no solo. Por outro lado, para a mesma área urbanizada, observa-se que, houve um aumento significativo do escoamento superficial, chegando a 55% do volume precipitado e conseqüentemente uma diminuição dos volumes infiltrados e evapotranspirados sendo estes 15% e 30% respectivamente.

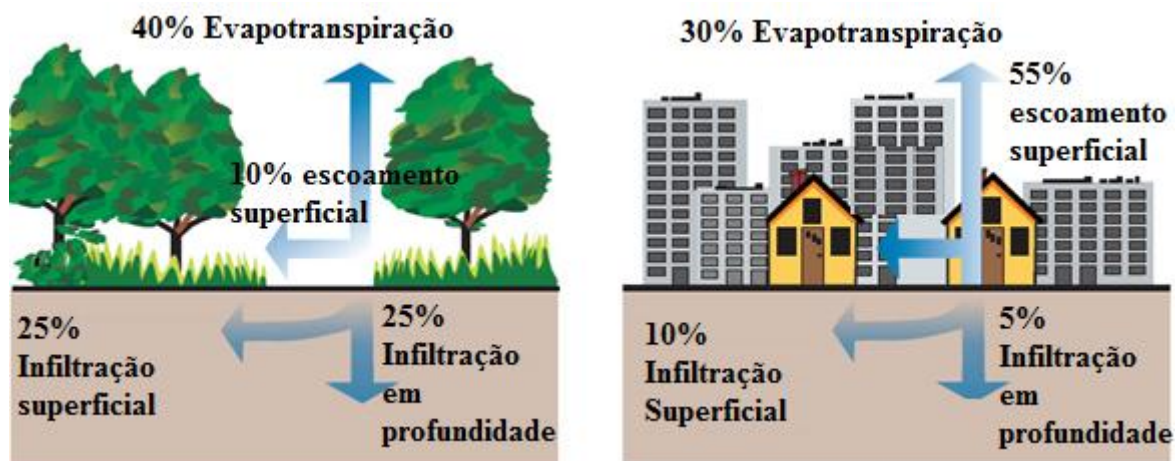


Figura 1 - Comparação entre uma mesma área antes e após a urbanização. Fonte (Modificado EPA 2000)

Devido ao fato que, a maioria das cidades não possui um plano diretor, a população mais carente acaba por ocupar áreas que obrigatoriamente não poderiam ser ocupadas. Como exemplo, têm-se as ocupações ribeirinhas, onde as famílias constroem suas residências próximas às margens de rios e lagos, como se tratam de famílias de classe baixa, o rio acaba por fornecer uma fonte de água gratuita, sendo usada para higiene pessoal e preparo de alimentos. Da mesma forma que, proporciona o descarte dos efluentes domésticos, fato que, acaba agravando a qualidade do corpo d'água em questão (TUCCI, 2002).

Além dos problemas estruturais relacionados com a urbanização das cidades, existem problemas sérios, associados à saúde da população. Nos períodos onde ocorrem eventos pluviométricos intensos e/ou prolongados, os sistemas convencionais de drenagem urbana acabam sofrendo uma sobrecarga, devido principalmente, ao acúmulo de resíduos sólidos urbanos depositados nas ruas (garrafas pet, copos plásticos, sacolas contendo resíduos domiciliares, entre outros). Estes poluentes, durante os primeiros minutos de precipitação, são arrastados até as redes de drenagem pluvial gerando acúmulo e obstrução destas. Essa ocorrência, agregada à elevação do nível dos rios, acaba contribuindo para o aumento das cheias e alagamentos nos centros urbanos. Como consequência, o número de internações em hospitais, devido a doenças relacionadas à má qualidade da água aumenta de uma maneira significativa. Estudos apontam que, 65% das internações hospitalares, tem origem em doenças de veiculação hídrica, fato que é agravado na época de cheias. (IPEA, 2002).

Os sistemas de drenagem pluvial empregados nas cidades brasileiras são em sua grande maioria do tipo combinado, ou seja, além do efluente pluvial, também recebem contribuição dos efluentes domiciliares e até mesmo industriais. Essa prática acaba por agravar ainda mais a questão da qualidade desse efluente, dificultando seu tratamento nas estações de tratamento. Sistemas do tipo separador absoluto já vêm sendo utilizados, como alternativa para mitigar esse problema, porém, segundo o (IBGE 2010), a porcentagem de domicílios com esgoto a céu aberto é de 34,4% para os sem banheiro ou sanitário, 25,6% para os com outro escoadouro e 6,3% para os ligados à rede geral de esgoto ou fossa séptica. A (Figura 2) ilustra um exemplo esquemático de sistemas separadores de efluentes pluviais e domésticos.



Figura 2 - Exemplo esquemático de sistemas separadores de efluentes. Fonte: Modificado Maricopa.gov. <http://www.maricopa.gov>.

No Brasil, algumas cidades já adotaram o uso do sistema separador absoluto, porém, ainda é comum, a utilização da rede de drenagem pluvial para o descarte de efluentes domésticos.

Na (Figura 3 a e b), é possível observar que, em algumas cidades, mesmo existindo o sistema separador absoluto, os efluentes domésticos ainda são dispostos na rede de drenagem pluvial.



Figura 3 - efluentes domésticos e pluviais dispostos na mesma rede de drenagem.

Além disso, os sistemas convencionais de drenagem seguem conceitos higienistas, que hoje em dia já não atendem à demanda dos grandes centros urbanos. A prática adotada nestes conceitos procura conduzir as águas pluviais de forma mais rápida possível para fora das áreas urbanas através de galerias, canais, bueiros, bocas de lobo etc. Esse conceito vem sendo bastante questionado, já que, não resolve o problema dos volumes escoados, mas sim, os transfere para regiões a jusante, onde conseqüentemente esse volume acaba se acumulando. Como alguns lugares não possuem uma rede saneamento, o efluente acumulado nos locais mais baixos acaba se misturando com o efluente doméstico depositado in natura, alterando ainda mais a qualidade desse efluente. No quadro 1, são apresentados algumas causas e efeitos da urbanização.

| Causas | Efeitos |
|--|--|
| Impermeabilização redes de drenagem | Maiores picos e volumes |
| Lixo | Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias |
| Redes de esgotos deficientes | Degradação da qualidade da água Inundações |

Quadro 1 - Algumas causas e efeitos da urbanização. Fonte: Porto et al. (1997).

Nas últimas décadas, um conceito estrutural, novo e alternativo ao convencional vem sendo desenvolvido e empregado em algumas cidades, esse conceito é denominado como BMP (Best management practices), onde novas técnicas buscam um controle do problema mais perto da fonte e não dos corpos d'água, evitando a transferência dos escoamentos e poluição para a jusante. Esse conceito foi desenvolvido nos EUA, pela EPA (Environmental Protection Agency) nos anos 80 (embora algumas localidades já aplicassem alguns de seus dispositivos desde a década de 70), e consiste em planejamento de controles de águas pluviais em escala de bacias e uso de estruturas alternativas para armazenamento e infiltração do escoamento (trincheiras de infiltração, jardins de chuva (*rain garden*), reservatórios de detenção, telhados verdes, pavimentos permeáveis, etc.) na tentativa de amenizar os efeitos da urbanização. (McCuen, 1989; Urbonas & Stahre, 1993; Schueler, 1987). Em outras localidades, mais especificamente no condado de Prince George Maryland, EUA, esse conceito tem contribuído para a conservação de áreas verdes em meio urbano e o controle das alterações dos processos hidrológicos, de forma integrada às atividades locais (Coombes et al., 2002; Kloss & Calarusse, 2006). Dentro dos BMP,s, se enquadram os LIDs (Low Impact Development), que procuram minimizar ao máximo os impactos relacionados ao desenvolvimento urbano já no projeto inicial. Coombes et al. (2002), Expõe ainda, que um grande empecilho para o desenvolvimento da aplicação dos BMPs é a errônea ideia de que os mesmos possuem execução mais onerosa e apresentam benefícios econômicos limitados. No entanto, a experiência tem mostrado que o seu uso é mais eficiente, barato e principalmente soluciona o problema mais próximo de sua origem sem afetar a outras regiões (TUCCI & GENZ, 1995).

3.2 Principais fontes de poluentes encontrados em águas urbanas.

De acordo com Von Sperling (2005), existem basicamente duas maneiras dos poluentes atingirem um corpo receptor, são estas: poluição e pontual poluição difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, por exemplo, a descarga em um rio, de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade. Já na poluição difusa, os poluentes adentram ao corpo d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão, este é o caso típico da poluição veiculada pela drenagem

pluvial, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto.

Desse modo, pode se dizer que as concentrações variam entre bacias hidrográficas, eventos diferentes de precipitação e ao longo de um mesmo evento. Isso faz com que a quantidade de carga gerada, dependa não só do tipo de uso e ocupação do solo, mas também de outros fatores como: características hidrológicas e topográficas de cada região, cobertura vegetal, estações do ano e até mesmo da limpeza das ruas e pavimentos. Segundo alguns autores, como Tucci (1995) e Ellis et al. (1996), a qualidade da água do escoamento superficial urbano não é melhor que a do efluente doméstico após um tratamento secundário.

Em geral, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto doméstico in natura. Segundo a USEPA (2000 apud PHILIPPI, 2005), as vias de tráfego constituem uma importante fonte de poluição por material particulado, na qual, se observa níveis elevados de emissão. No quadro 2, são expressos alguns dos parâmetros mais analisados para a caracterização da poluição das águas pluviais.

| Tipo de poluição | Parâmetros | Efeitos sobre o meio |
|--|--|---|
| Poluição sólida | Material em suspensão | Colmatação mecânica das obras |
| Poluição orgânica | DBO5 DQO Carbono Orgânico Total | Moléculas orgânicas naturais metálicas. Aporte de matéria biodegradável. Proliferação de bactérias. |
| Poluentes hidrogenados e fosforados | NTK Nitratos NO3 Nitritos NO2 NH4, NH3 Fósforo total | Perturba a produção de água potável Colmatação de obras por proliferação de algas. |
| Poluição tóxica | Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Hg organo-clorados organo-fosforado- | Toxicidade segundo o metal, forma e concentração. Risco de desprendimento e de contaminação do lençol freático |
| Poluição microbiológica | Coliformes totais Coliformes termotolerantes | Esterilização para água potável. Colmatação por proliferação de micro organismos. |

Quadro 2 - Parâmetros de caracterização de águas pluviais. Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998).

A deposição e acúmulo de poluentes emitidas pelos veículos acabam por ter impactos significativos nos ecossistemas. Segundo Vieira et al., (2002), alguns estudos apontam para o fato de que em determinadas áreas urbanas a contribuição das estradas para a poluição dos meios receptores, leva a um aumento de 50% para sólidos suspensos totais, 16% para hidrocarbonetos totais e 75% de metais pesados. Muitos poluentes são característicos do tipo de pavimento, produtos de combustão, perdas de líquidos de lubrificação, desgaste dos pneus, produtos resultantes da corrosão da carroçaria e do desgaste da pintura. A carga poluente depende do Tráfego Médio Diário (TMD), tipo de ocupação da área, qualidade do ar e da intensidade e duração da precipitação (VIEIRA et al., 2002).

Além das vias de tráfego e demais fontes poluidoras citadas acima, há uma contribuição por poluentes encontrados em superfícies urbanas como, telhados residenciais, industriais e calçadas. Segundo Peters (2006), existem diversos materiais e substâncias presentes nestas superfícies. Como exemplo, é possível citar, fezes de aves e roedores, artrópodes e animais mortos em decomposição, poeira, folhas, galhos de árvores, revestimento do telhado, resíduos de tintas, entre outros. Estas substâncias ocasionam tanto a contaminação por compostos químicos, quanto por agentes patogênicos, sendo agravada quando relacionada aos problemas encontrados na drenagem urbana.

3.3 Alternativas sustentáveis para controle e tratamento dos efluentes pluviais – BMPs e LIDs.

São chamadas de alternativas, as técnicas que se opõem às ideias convencionais de drenagem urbana, ou seja, seu objetivo não é mais evacuar para mais longe e o mais rápido possível as águas do escoamento, mas sim, planejar, compensar ou minimizar os efeitos da urbanização, o que em termos hidrológicos significa retardar ou infiltrar os volumes escoados.

Esse tipo de estrutura engloba os conceitos dos BMPs e dos LIDs, ambos, citados anteriormente. De uma forma simplificada, as BMP's procuram minimizar o problema causado por uma construção existente, através de diversas estruturas. Já a LID é uma mudança no paradigma do projeto. Na LID a construção é projetada para produzir o mínimo impacto possível. Maiores detalhes sobre LIDs e BMPs, podem ser encontrados em um

manual desenvolvido pelo departamento de serviços e gestão de bacias hidrográficas, localizado no município de Anchorage Alaska, denominado Low Impact Development Design Guidance Manual LID (2008). Esse manual expõe questões relacionadas ao dimensionamento, custos, vantagens e desvantagens, além de outras informações importantes sobre construção e monitoramento desse tipo de estrutura. As ((Figuras 4 a) e b), ilustram a aplicação de algumas estruturas sustentáveis em meio urbano.



Figura 4 - BMPs e LIDs aplicados em meio urbano.

Fonte: <https://www.thelivingcitycampus.com/>

As estruturas alternativas podem ser classificadas segundo a ação que exercem sobre os processos hidrológicos, atuando sobre a redução dos volumes ou das vazões. No caso das estruturas que atuam na redução de volumes, podem ser citadas as estruturas de infiltração. E no caso da redução das vazões, os reservatórios de detenção, que promovem o armazenamento temporário das águas pluviais. A escolha da solução alternativa a ser utilizada, leva em conta três critérios básicos: condições físicas locais, modelo de urbanismo e os impactos da solução alternativa sobre o sistema de drenagem e o meio ambiente (Nascimento et al., 1997). Em termos de gestão, deve-se encontrar um ótimo entre a depuração, o risco de liberação de poluentes para o meio e uma velocidade que assegure a drenagem das águas pluviais.

3.3.1 Sistemas de armazenamento na fonte.

Nas estruturas de controle de efluentes pluviais na fonte, o manejo da vazão de saída é feito através do armazenamento temporário ou infiltração dos volumes escoados no próprio lote. Nesse tipo de controle, o funcionamento se baseia na recuperação da capacidade natural de armazenamento local, perdida durante o processo de urbanização. Essas estruturas apresentam vantagens com relação à facilidade de implantação e custo relativamente baixo. (Cruz et al., 1998). Esse tipo de estrutura pode atuar de duas formas, no armazenamento temporário dos efluentes, ou seja, não há infiltração do efluente no solo e sua liberação ocorre após algum tempo na rede pluvial, ou fazendo com que o efluente infiltre assim que entre em contato com a estrutura.

Em sistemas onde não ocorre infiltração, existe o risco de combinação de picos, onde o pico de liberação do efluente pela estrutura coincide com o pico do escoamento superficial do restante da bacia. Como consequência dessa combinação nos picos, tem-se, ao invés da diminuição do escoamento, um aumento significativo deste, aumentando a incidência de cheias na área onde o efluente é liberado .

A (Figura 5), ilustra um exemplo de combinação de picos gerada pelo amortecimento e posterior liberação do volume escoado em um determinado local.

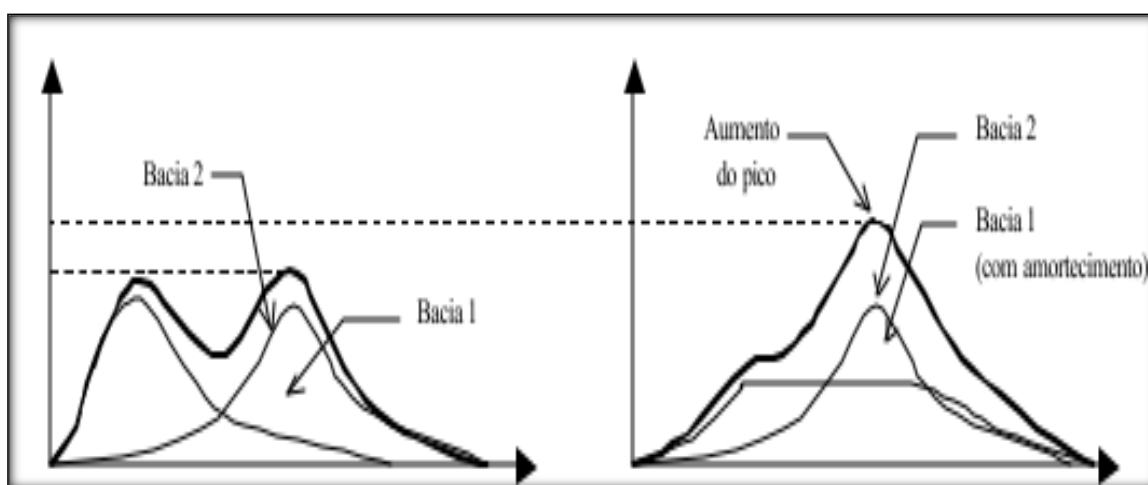


Figura 5 - coincidência de picos devido ao retardo do escoamento. Fonte: CARAMORI (2002).

Outro aspecto importante a ser abordado no caso das estruturas que atuam sem infiltração é a manutenção regular do local, assim como, o destino final dos poluentes nelas armazenados. Em cidades onde existe esse tipo de estrutura, torna-se comum a utilização dessas áreas para lazer, (parques, quadras esportivas, pistas de skate, entre outros), quando não estão sendo usadas como reservatórios. Porém, o descaso e abandono das mesmas colaboram para diversos fatores negativos relacionados à sociedade. Com a falta de limpeza dos reservatórios, os poluentes depositados nas vias se acumulam nas estruturas, atraindo insetos, roedores além de outros vetores patogênicos. O descaso com as estruturas acaba também por inapropriar o lugar para as atividades de lazer,

Todos esses fatores acabam prejudicando de certa forma a expansão da prática dessas estruturas nas cidades, uma vez que, a população acaba repudiando o uso destas. Por outro lado, se empregadas e monitoradas de uma maneira correta, esse tipo de estrutura pode funcionar muito bem, como ilustra a (Figura 6 a e b).

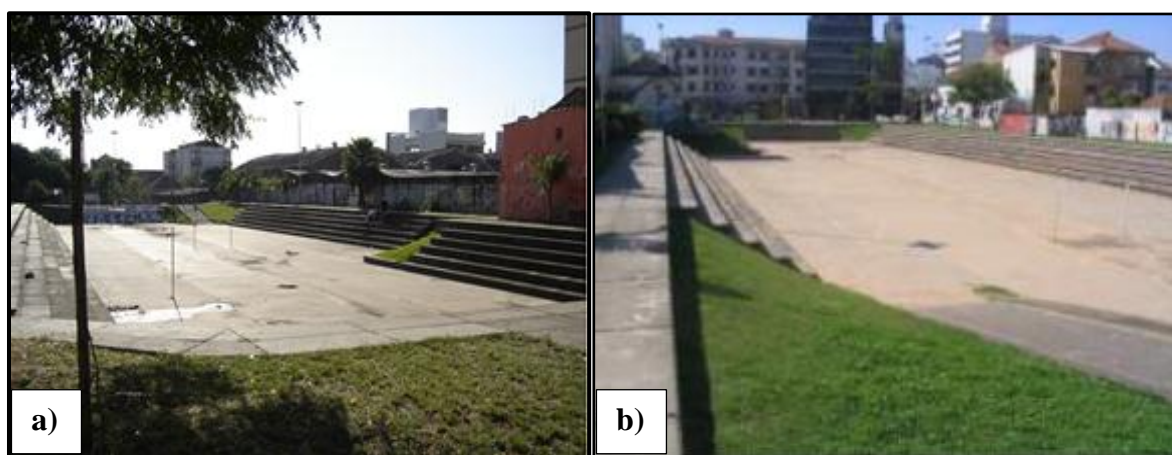


Figura 6 a) e b) - Reservatórios de retenção de águas pluviais em Porto Alegre - RS.

3.3.2 Sistemas de infiltração e controle centralizado na fonte.

Os dispositivos de infiltração e controle na fonte atuam tanto, na redução das vazões máximas quanto, na dos volumes escoados. Segundo Hasegawa et al.(1999), este tipo apresenta algumas vantagens em relação a outras soluções alternativas, são elas:

- Redução de inundações;
- Recuperação da vazão de base em rios urbanos;
- Contribuição para o controle de ilhas de calor;
- Suprimento de água para a vegetação no meio urbano.
- Recuperação do ciclo hidrológico local.

Os sistemas alternativos em geral, e os de infiltração em particular, desempenham importante papel no que se refere à qualidade da água no meio urbano (Caramori, 2002). As bacias de infiltração, por exemplo, permitem a filtragem de poluentes, através da percolação da água pelo solo. As vazões de saída desse tipo de estrutura são relativamente baixas, permitindo a retenção dos efluentes por um período de tempo maior e aumentando assim, o papel da decantação na depuração e melhora na qualidade final do efluente. (GAUTIER, 1998). Na (Figura 7 a e b), são apresentados dois exemplos de estruturas de infiltração em meio urbano.

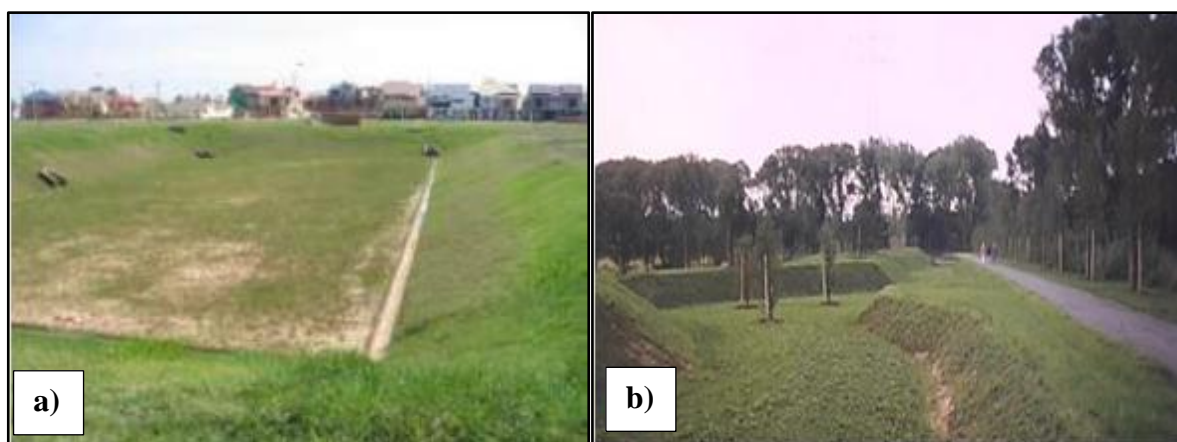


Figura 7 - a) e b) Bacias de infiltração atuando em meio urbano.

Em alguns de sistemas alternativos de controle de efluentes na fonte como, por exemplo, trincheiras de evapotranspiração, valas de infiltração, entre outras, acabam por fazer uso de certas espécies vegetais no auxílio ao tratamento dos efluentes. As plantas, além do fator paisagístico, ajudam a recuperar em parte a evapotranspiração local, colaborando com a recuperação do ciclo hidrológico, auxiliando na remoção de poluentes e proporcionando a purificação do ar no local.

3.3.3 Sistemas de tratamento de efluentes utilizando plantas

Os sistemas de tratamento de efluentes utilizando plantas aquáticas emergentes, recebem denominações específicas de acordo com as suas localizações geográficas. No Reino Unido, são utilizados os termos Wetlands ou Root Zone, na Alemanha, utiliza-se a sigla PKA (Pflanzen Kläranlage), já no Brasil, existem várias denominações tais como, Terras Úmidas, Banhados Construídos, Zona de Raízes, Fossa Bananeira, entre outros (WEF, 1990).

Segundo Zanella (2008), o tratamento de esgoto com plantas é um complexo arranjo de água, substrato, raízes dos vegetais e um grande conjunto de microrganismos, que se inter-relacionam para melhoria da qualidade do efluente. Nesses ecossistemas, o efluente normalmente passa por um processo natural de purificação após passarem pelo substrato. Através desse mecanismo, ocorrem os processos de retenção do material particulado suspenso, transformações químicas e redução natural dos organismos patogênicos. Outro processo envolvido é o de absorção dos nutrientes pelas plantas, que ao mesmo tempo em que crescem, contribuem para a melhoria físico/química do substrato através de sua expansão radicular.

Esta tecnologia é utilizada devido às suas características de simplicidade de construção, operação e manutenção (HABERL, 1999). Para Arias e Brix (2003), além das vantagens anteriores, ainda apresentam uma alta eficiência, além de criação e restauração de nichos ecológicos, assim como, uma grande produção de biomassa, esta que ainda pode ser usada para alimentação de animais ou até mesmo, para produção de energia.

Os chamados sistemas naturais de tratamento de efluentes se enquadram bem nos requisitos baixo custo e facilidade de operação. Diferenciam-se dos sistemas convencionais em relação à fonte de energia utilizada. Estes sistemas naturais requerem a mesma quantidade de energia de input para degradar certa quantidade de contaminante, porém para isso fazem uso de outras fontes de energia, como por exemplo, a radiação solar (KADLEC e KNIGHT, 1995). Segundo Valentim (1999), o tratamento de esgoto em alagados construídos é o resultado da união entre os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem devido ao filtro físico, das comunidades bacterianas e macrófitas.

As bactérias são fundamentais para o tratamento do efluente, uma vez que, são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, por meio de processos anaeróbios, aeróbios. As condições aeróbias são obtidas principalmente, devido ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das plantas. Existem estudos, tais como, os de Galbiati (2009) e Ucker (2011), onde foram utilizadas espécies vegetais como bananeira, taioba e capim vetiver no tratamento de efluentes domésticos, ambos obtiveram uma boa resposta das plantas assim como na remoção dos poluentes. No Quadro 3 são expressos os principais mecanismos de remoção de poluentes em estruturas onde são utilizadas plantas segundo (WEF, 1994)

| Parâmetros | Mecanismo de remoção |
|-------------------|---|
| SST | Sedimentação/filtração |
| DBO5 | Degradação microbiológica (anaeróbia e aeróbia). |
| Nitrogênio | Nitrificação; volatilização da amônia; absorção pelas raízes. |
| Fósforo | Imobilização; absorção pelas raízes. |
| Patógenos | Sedimentação/filtração; Radiação UV; Excreção das plantas. |

Quadro 3 - principais mecanismos de remoção de poluentes em estruturas onde são utilizadas plantas.

Não existem muitas informações sobre o uso desse tipo de estrutura no tratamento de efluentes pluviais, basicamente as informações encontradas na literatura, são de estudos realizados com o tratamento de efluentes domésticos, porém os bons resultados obtidos no tratamento destes sugerem que, algumas plantas podem atuar também, no tratamento qualitativo dos efluentes pluviais.

3.3.4 Telhados verdes

Telhado verde, cobertura verde, ou até mesmo jardim suspenso, é uma técnica de arquitetura, que consiste na aplicação e uso de solo e vegetação sobre uma camada impermeável, normalmente instalada na cobertura de prédios, residências, empresas entre outros. Registros históricos mostram que, esse tipo de estrutura é uma técnica construtiva muito antiga, usada principalmente pelos Zigurates da antiga Mesopotâmia, atual sul do Iraque e na Babilônia, pelo bom desempenho térmico proporcionado (DISCOVERY CHANNEL, 2009). Alguns estudos indicam que, a sua composição providencia a melhoria da qualidade do ar, com filtração de até 85% das partículas de poeira, ameniza a temperatura interna das edificações e aumenta a umidade do ar pela evaporação natural. Os telhados verdes também armazenam cerca de 30 a 100% das chuvas anuais e criam uma paisagem esteticamente mais agradável (PRINCE GEORGES COUNTY, 1999). PERSCH et al. (2011), avaliou o comportamento de um telhado verde, no controle do escoamento pluvial e obteve uma redução média de 50%, quando comparado ao escoamento gerado em um telhado de amianto. O uso desse tipo de estrutura, auxilia na manutenção de áreas verdes, assim como, pode ser utilizado para o tratamento da água armazenada para posterior uso, apresentando excelente potencial de integrar projetos arquitetônicos e urbanísticos (TAVANTI, 2009). Segundo Spangenberg (2004), a utilização em larga escala dos telhados verdes, poderia reduzir 1°C ou 2°C na temperatura nas grandes cidades, o que conseqüentemente implicaria na melhoria do conforto térmico das residências. A seguir a (Figura 8 a, b), apresenta exemplos de aplicação de telhados verdes em residenciais edifícios.

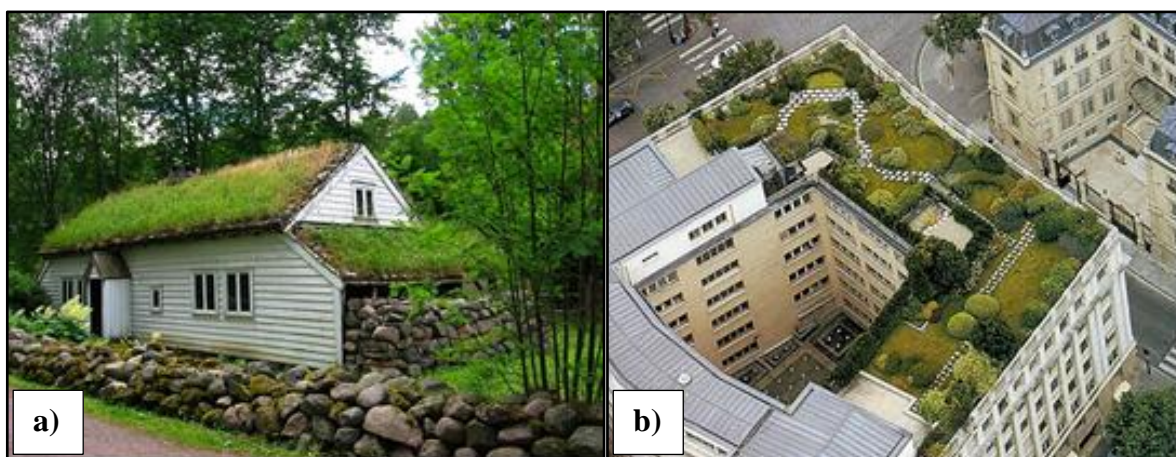


Figura 8- a) Telhados verdes instalados em residências, b) Telhados verdes instalados em edifícios. Fonte: a) <http://vidareal.wordpress.com/>, b) <http://obviousmag.org>

3.3.5 Pavimentos permeáveis

O pavimento permeável é um tipo de pavimento que, permite a passagem de água através de seu material, esse tipo de estrutura proporciona o armazenamento das águas decorrentes do escoamento superficial, funcionando como um reservatório de amortecimento até que o efluente possa ser drenado pelo solo. Como principais desvantagens, esse tipo de pavimento ainda apresenta um custo relativamente caro, assim como, manutenção regular, problemas de colmatção e resistência mecânica (Araújo et al. 2000).

Na (Figura 9 a), à esquerda, tem-se a aplicação de um pavimento permeável em um parque ou praça. Na sequência a (Figura 9 a e b), ilustra um pavimento permeável aplicado em um estacionamento.

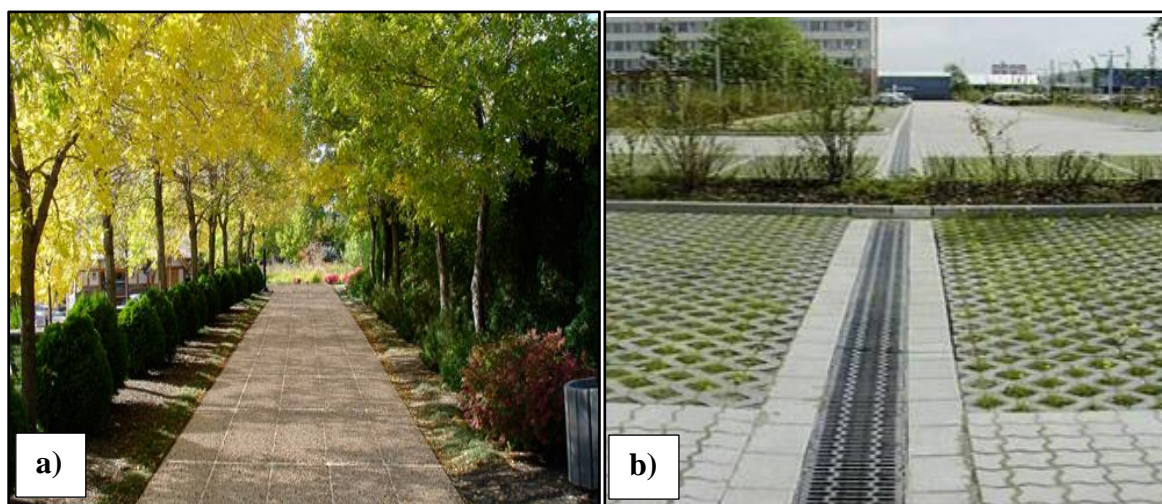


Figura 9 - a) Aplicação de pavimentos permeáveis em parques. b) Pavimento permeável aplicado em um estacionamento.

Fonte: a) <http://www.aecweb.com.br> b) <http://www.ecodebate.com.br>

3.3.6 Poços de infiltração

Os poços de infiltração são estruturas que, consistem em um poço escavado no solo revestido por tubos perfurados de concreto ou tijolos assentados em crivo. Os tubos são envoltos por uma manta geotêxtil, fazendo a interface solo/tubo e o fundo é revestido por uma camada de agregados graúdos, também envoltos por geotêxtil. Essa combinação de materiais tende a permitir a infiltração no solo do volume escoado para o interior do poço (REIS 2008). Nesse tipo de estrutura, toda água de chuva captada pela edificação é lançada inicialmente no poço de infiltração. Somente após a diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, a água passa a ser lançada no sistema público de drenagem, por meio de extravasores instalados no próprio poço de infiltração ou em uma caixa de passagem anterior ao sistema (REIS 2008). Existem também, poços de infiltração construídos com materiais reciclados, tornando a utilização desse tipo de estrutura mais viável e consequentemente ajudando a dar um destino final aos resíduos de construção civil, pneus, entre outros. A (Figura 10 a), ilustra o modelo esquemático de um poço de infiltração enquanto a (Figura 10 b), o modelo esquemático dessa estrutura construído com materiais reaproveitados (pneus).

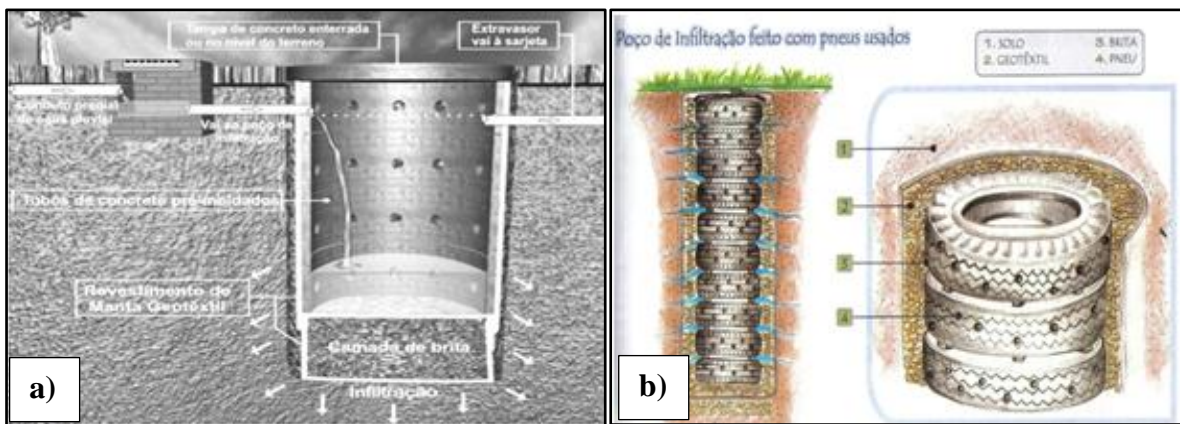


Figura 10 - a) Desenho esquemático de um poço de infiltração. b) Poço de infiltração utilizando pneus. Fonte: REIS (2008).

3.3.7 Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares, usadas no controle do escoamento que têm o objetivo de captar, armazenar e infiltrar uma parcela do escoamento superficial gerado numa determinada região, reduzindo o volume da água pluvial que chega até as galerias e retardando os picos do hidrograma de cheias. Esse tipo de estrutura pode funcionar como reservatório de amortecimento de cheias, proporcionando a redução dos volumes e das vazões máximas (SOUZA 2002). A (Figuras 11 a e b), ilustra um desenho esquemático de uma trincheira de infiltração em funcionamento.

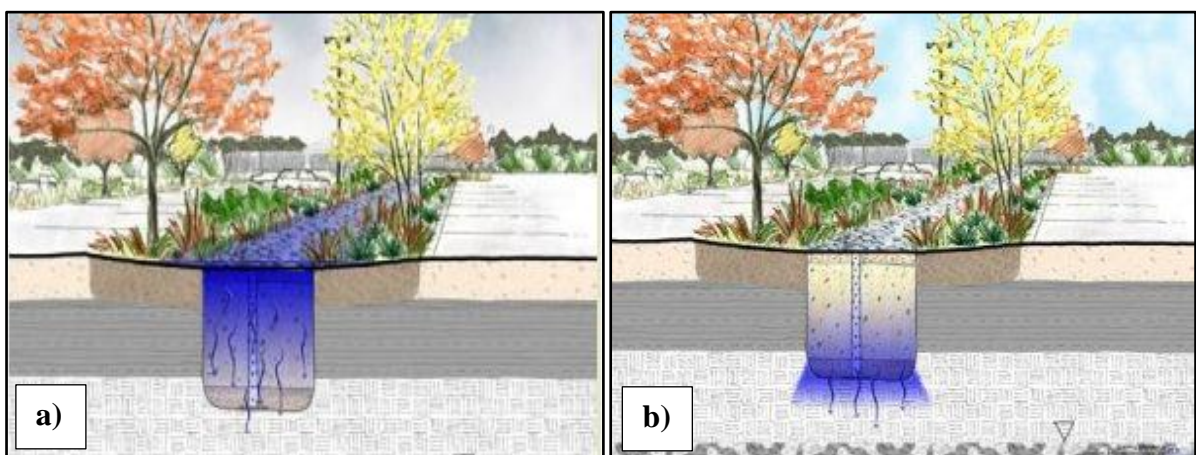


Figura 11 - a) e b) Desenho esquemático de uma trincheira de infiltração em funcionamento. Fonte: <http://www.ricecreek.org>

As trincheiras são basicamente constituídas por valas escavadas no solo e preenchidas por materiais de diferentes granulometrias (brita, pedras de mão, tijolos quebrados, entre outros). O material granular é depositado sob uma manta geotêxtil, cuja finalidade além de estrutural é impedir a entrada de finos no dispositivo. Seu funcionamento pode ser efetuado diretamente, deixando os volumes escoarem até a estrutura, ou através de tubulação perfurada implantada ao longo de seu comprimento. Segundo Duchene et al. (1994), as trincheiras de infiltração também funcionam para estabilizar ou atenuar os contaminantes contidos no meio urbano, sendo inclusive utilizadas para destino final de esgotos sanitários após sua passagem pela por tratamento primário. Da mesma forma, quando sua utilização para águas pluviais urbanas, a água deve passar por um pré-tratamento, que remova as partículas maiores, evitando assim, a possível colmatação da estrutura. Entre as medidas recomendadas, se encontram a combinação de áreas gramadas, caixas de areia e reservatórios de retenção entre outras.

O uso sistemático dos dispositivos de infiltração como elementos de drenagem urbana no Brasil, ainda é muito restrita. Os trabalhos relatados em publicações científicas internacionais trazem exemplos de aplicações em regiões com características hidrológicas bastantes diferentes das encontradas no Brasil, principalmente no que se refere à precipitação, ou seja, são necessários mais estudos, afim de, trazer novas informações para o emprego de tais tecnologias. As (Figuras 12 a e b), ilustram o uso de trincheiras de infiltração em meio residencial e urbano.

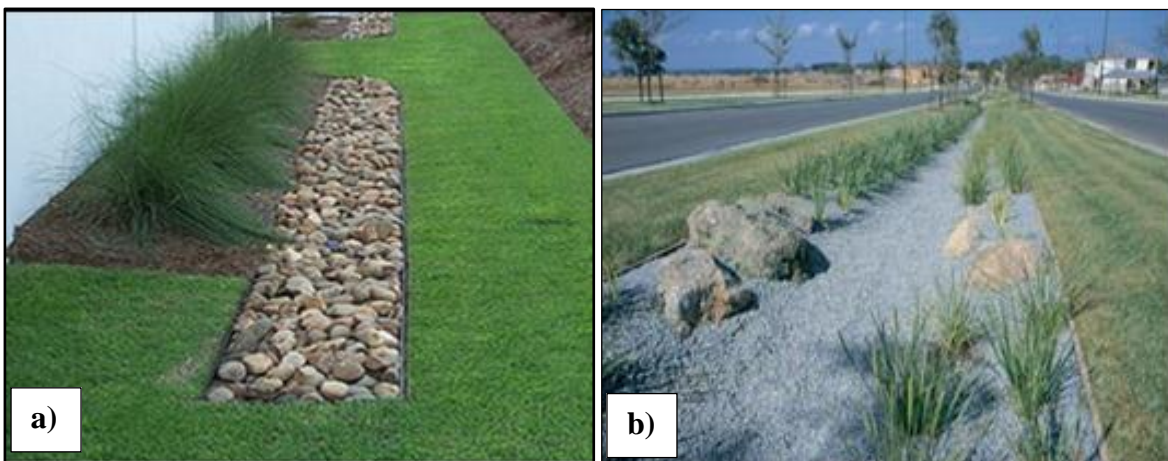


Figura 12 - a) Trincheira de infiltração em uma residência. b) Trincheira em um canteiro central de rodovias. Fonte: a) <http://www.cob.org> b) <http://greatecology.com>

3.3.8 Trincheiras de evapotranspiração ou “fossa bananeira”

A trincheira de evapotranspiração, fossa bananeira, ou até mesmo tanque de evapotranspiração, é um sistema fechado de tratamento de esgoto doméstico, onde não há infiltração do efluente no solo e onde as plantas realizam o processo de evapotranspiração desta água (GALBIATI, 2009). Consiste em um tanque (trincheira) impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. Conforme Larsson (2003), essas estruturas proporcionam o tratamento e o reaproveitamento dos nutrientes das águas negras (proveniente de vaso sanitário), para produção de flores e frutas. Nesse tipo de estrutura o efluente passa por várias barreiras de materiais porosos colonizados naturalmente por bactérias anaeróbias que pré-digerem o efluente, neutralizando os patógenos e mineralizando outros compostos em moléculas mais "acessíveis", para a absorção das plantas que estão na terra logo acima. Após o processo anaeróbio, parte da água é evaporada pelo solo e a outra transpirada pelas plantas.

As trincheiras de evapotranspiração ou fossas bananeira são consideradas alternativas ecológicas para locais onde não existem redes de esgoto, lembrando que, uma fossa séptica normal pode contaminar até dezesseis metros de raio. Outro ponto positivo é que a fossa bananeira é capaz de fechar por completo o ciclo da água que é despejada em seu interior, fazendo-a retornar ao ambiente externo em forma de vapor de água que se transformará posteriormente em chuva. A utilização de sistemas plantados para tratamento de esgotos já é comum em diversas partes do mundo (EPA, 2000, LARSSON, 2003). Na (Figura 13 a), são apresentados um exemplo esquemático e uma aplicação real de uma fossa bananeira em estudo realizado por GALBIATI (2009).

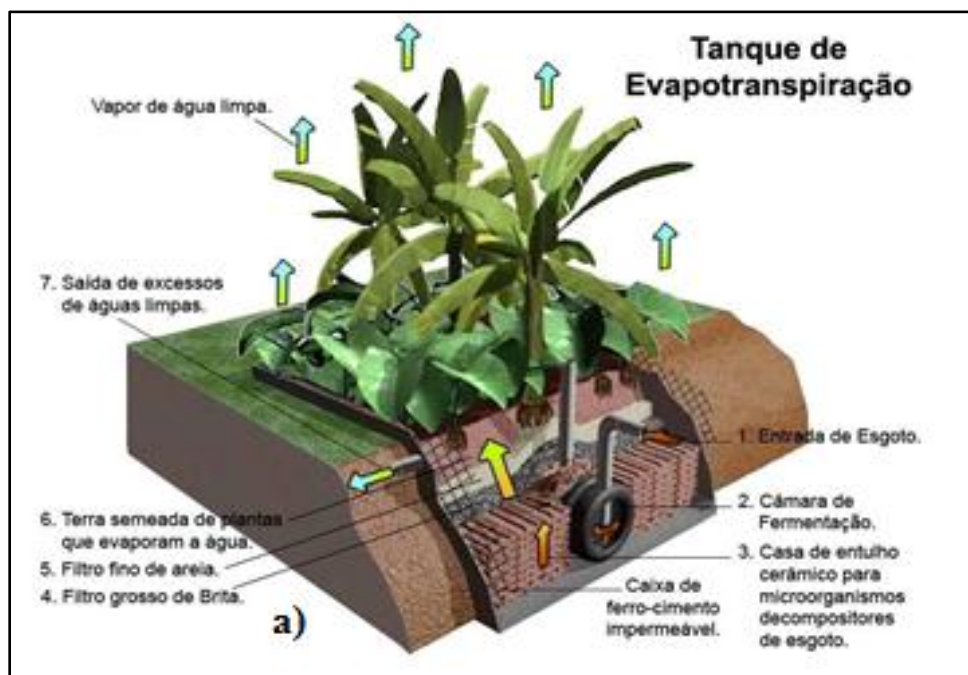


Figura 13 - a) Exemplo esquemático e aplicação de uma fossa bananeira.

Fonte: Modificado GALBIATI (2009)

3.3.9 Trincheiras mistas evapotranspiração infiltração

A trincheira de infiltração e evapotranspiração é um sistema de tratamento de efluentes, utilizados normalmente no controle dos efluentes pluviais. Ele combina as vantagens dos dois sistemas, ajuda a recuperar a infiltração e evapotranspiração local e ao mesmo tempo trata a parte qualitativa do efluente pluvial.

Consiste de uma trincheira escavada no solo, muito semelhante a uma trincheira de infiltração, porém agrega em sua construção o fato de ter espécies vegetais plantadas em uma camada de terra localizada em sua parte superior. Outra diferença é o fato de agregar vários materiais granulares diferentes tais como: seixos, e resíduos de construção civil (tijolos telhas) e não somente brita. Pode possuir também um reservatório no seu interior semelhante a o de uma fossa bananeira, que pode ser construído utilizando pneus usados, contribuindo para o reaproveitamento dos mesmos. A utilização de pneus na criação do reservatório inferior tem como função aumentar o volume de vazios, ao mesmo tempo servindo como uma espécie de câmara anaeróbia, retendo água para as plantas e auxiliando na remoção dos poluentes. Deve-

se ressaltar que, nem todas as trincheiras mistas possuem um reservatório interior e que, algumas apresentam esse reservatório feito com tijolos revestidos por argamassa.

Nesse tipo de estrutura, normalmente o efluente infiltra de maneira natural, no caso da água da chuva e escoamento superficial. No entanto, no caso de trincheiras utilizadas em residências, é aconselhável a utilização de drenos, encaminhando os volumes escoados até a trincheira.

As trincheiras de infiltração e evapotranspiração aliadas em um único sistema podem desenvolver um papel muito importante no que se diz respeito à proteção dos recursos hídricos, podendo ser eficaz, na infiltração de água no solo, tratamento dos poluentes, recarga de aquíferos, controle de inundações, ajudando na proteção das áreas de recarga e canais. Em países mais desenvolvidos, a trincheira mista (infiltração evapotranspiração) é popularmente chamada de *rain garden* (jardim de chuva), e em algumas cidades dos Estados Unidos são os próprios moradores que realizam a manutenção e cuidam dos jardins de chuva.

A (Figura 14 a), ilustra o desenho esquemático de um jardim de chuva. Enquanto na (Figura 14 b), é apresentado um exemplo de *rain garden* (jardins de chuva) instalado junto à via pública.

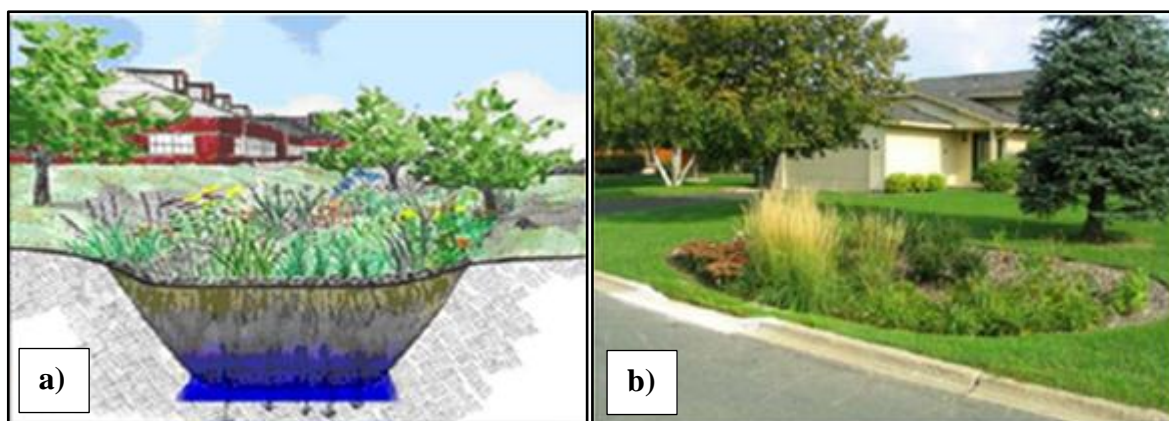


Figura 14 - a) Desenho esquemático de um jardim de chuva. b) Jardim de chuva instalado próximo à rodovia. Fonte: a) Scioto Gardens, b) EPA (United States Environmental Protection Agency).

Antes da construção de alguma estrutura de infiltração, devem-se levar em consideração alguns critérios. Os solos devem apresentar preferencialmente um teor baixo de argilas e possuírem uma taxa de infiltração igual ou superior a 13 mm por hora. Esse dado é válido para trincheiras onde não se pretende armazenar os efluentes por muito tempo, na utilização de trincheiras com cobertura vegetal, esse tempo maior de retenção é extremamente importante para o desenvolvimento das espécies vegetais.

O local escolhido para construção das trincheiras deve apresentar condições favoráveis para a escavação, já que em lugares onde o solo apresenta características rochosas, acaba por aumentar os custos, tornando a estrutura inviável financeiramente. As trincheiras também devem respeitar uma distância mínima de cem metros de locais de abastecimento de água, como poços, e pelo menos trinta metros de fundações de construção. (TUCCI; MARQUES, 2001).

A inclinação do terreno de onde a trincheira será construída também deve ser considerada, pois esta tem influência direta na velocidade que as águas escoadas chegarão à estrutura, conseqüentemente aumentando a quantidade de sedimentos arrastados pelo escoamento superficial, podendo sobrecarregar a mesma (EPA, 1999).

3.4 Vantagens e desvantagens do uso de trincheiras no controle do escoamento superficial

As trincheiras de infiltração, evapotranspiração e mistas (evapotranspiração e infiltração) apresentam inúmeras vantagens no controle dos efluentes pluviais, proporcionando uma remoção eficiente dos sólidos em suspensão, coliformes e algumas formas orgânicas solúveis de metais e nutrientes, resultantes do escoamento superficial. Proporcionam uma redução nos volumes de pico de vazão, aumentando a infiltração das regiões impermeáveis, reduzindo os riscos de inundações e ao mesmo tempo colaborando para recarga dos aquíferos. Também, possuem uma boa integração com o meio, podendo ser construídas em residências, áreas públicas, áreas de lazer, acostamento de rodovias, entre outros lugares.

Porém, apesar das vantagens, também existem algumas desvantagens e cuidados para o uso dessas estruturas. Por exemplo, não é recomendada sua construção em regiões onde o nível do lençol freático se localiza próximo à superfície, pois o mesmo poderia ser contaminado. Outro ponto negativo é que, não existem estudos que garantam a qualidade do solo após a implantação do sistema.

A possibilidade de que haja colmatção da estrutura, também aparece como uma das principais desvantagens, nesse caso oriunda do acúmulo de sedimentos finos no fundo e nas paredes da trincheira.

Além dos problemas e cuidados citados acima, existe outro grande problema relacionado às trincheiras, que é a falta de informação do funcionamento, em longo prazo de tais estruturas, em regiões com características hidrológicas semelhantes às encontradas no Brasil. Essa falta de informação acaba gerando uma série de dúvidas quanto ao tempo de vida útil das trincheiras, assim como, medidas de operação, manutenção e dimensionamento.

Estudos realizados nos Estados Unidos mostraram que, no passado as trincheiras de infiltração apresentaram uma vida útil relativamente curta, com mais de 50% dos sistemas verificados tendo falhado parcialmente ou totalmente após cinco anos.

Segundo Lindsey et al. (1991), estudos recentes realizados com trincheiras de infiltração em Maryland mostram que 50% das trincheiras verificadas, não foram operadas como o projetado, 36% foram parcialmente ou totalmente colmatadas, e 22% apresentaram infiltração lenta. Tais dados comprovam a importância de obter informações mais precisas sobre o funcionamento das trincheiras, podendo aumentar sua vida útil, assim como, eficiência na infiltração e remoção dos poluentes. Partindo desse ponto, pode-se confirmar que, quanto mais informações sobre seu funcionamento e manutenção forem adquiridas, maior é a probabilidade de êxito no funcionamento das trincheiras e melhores serão os resultados obtidos em longo prazo.

3.5 Metodologias utilizadas no dimensionamento de trincheiras

No Brasil, o uso de estruturas como as trincheiras para o controle do escoamento superficial ainda é pouco difundido, sendo seu estudo resumido a poucos trabalhos. Em decorrência disso torna-se muito difícil a seleção de uma metodologia padrão para o dimensionamento dessas estruturas.

Para o dimensionamento de estruturas de infiltração como as trincheiras, são utilizados métodos, em que, de uma maneira geral, baseiam-se no balanço hídrico no interior da estrutura. Assim, o volume armazenado pode ser calculado, através da diferença entre volume de entrada e volume de saída. Dessa forma, as principais diferenças encontradas nos métodos usados no dimensionamento de trincheiras, baseiam-se basicamente no modo em determinar essa diferença (volumes de entrada e saída) (GRACIOSA et al., 2008).

Os modelos tradicionais de infiltração, tais como Philip, Horton, Kostiakov e Green & Ampt, entre outros, usualmente quantificam a infiltração de forma unidimensional. Entretanto, no caso das trincheiras de infiltração, o movimento da água no entorno da estrutura ocorre nas duas direções de sua seção transversal, e sofre uma variação, ainda que pequena, ao longo do comprimento da trincheira.

Tabuada et al. (1995), apresenta um método que, quantifica de uma maneira bidimensional o campo de umidade em torno de sulcos curtos de irrigação, que são estruturas utilizadas na agricultura, semelhantes em geometria e comportamento hidráulico às trincheiras. Graciosa (2005), adaptou o modelo de Tabuada et al. (1995), para a quantificação da infiltração em trincheiras de infiltração em meio não saturado, para isso, foi adotado o modelo de Richards, já que o mesmo considera o movimento da água no solo de uma forma bidimensional, além de considerar as características iniciais do solo. Métodos mais simples, são apresentados por Leeflang (et al. 1998), onde apresentam curvas de dimensionamento, ou por Jonasson (1984) e Urbonas e Stahre (1993), que apresentam o “rain-envelope method”.

Este último é recomendado para o dimensionamento das estruturas de infiltração, sendo usado por Caramori (2002), no dimensionamento de trincheiras de infiltração em um estudo realizado em Porto Alegre – RS, atuando no controle do escoamento de uma

determinada área localizada no campus da Universidade Federal do Rio Grande do sul (UFRGS).

Porém, pelo fato de que, o funcionamento das trincheiras em um modo geral depende muito das características climatológicas de cada região, se torna muito difícil a adoção de um método de dimensionamento que possa atender as condições de operação dessas estruturas, em lugares onde as características climatológicas se diferenciem. Por exemplo, no estado do Rio Grande do Sul, pode se observar as quatro estações do ano bem definidas, tendo ocorrência de períodos de muito frio com geadas, assim como épocas com temperaturas mais elevadas onde ocorrem poucos eventos de precipitação.

Do contrário, em outros estados, onde as estações não são tão definidas, podendo ocorrer períodos onde não há precipitação por meses e as temperaturas são sempre elevadas, como no caso dos estados situados na zona tropical. Mediante a tais situações, faz-se necessária à busca por novos estudos práticos e teóricos, que possam por vez, determinar uma metodologia para dimensionamento de trincheiras, independente das características do local escolhido para a implantação da estrutura.

3.5.1 Método da curva envelope (*rain envelop method*)

O método da curva envelope baseia-se, na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída da estrutura a ser dimensionada. O volume do dispositivo deverá ser suficiente para armazenar a máxima diferença entre, os volumes acumulados na entrada e saída do mesmo (levando-se em consideração a porosidade do material de preenchimento). Desta forma, plotando simultaneamente o escoamento superficial direto, acumulado e a infiltração acumulada, tem-se, através da máxima diferença entre esta curva, e o fluxo de saída acumulado, o volume total a ser armazenado pela estrutura (CIRIA, 1996). Na (Figura 15), é possível observar duas circunstâncias distintas, para durações menores, onde não há infiltração total do escoamento superficial e para durações maiores, onde a capacidade de infiltração supera o volume afluyente de escoamento superficial e a água armazenada infiltra no solo.

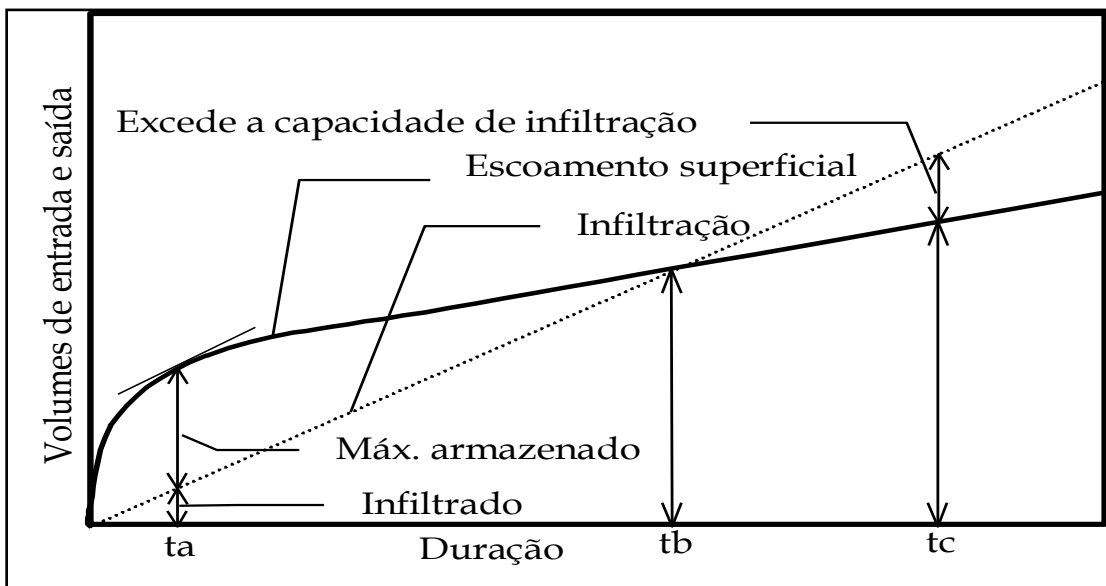


Figura 15 - Curva envelope (Adaptado de URBONAS e STAHR, 1993).

Este método é bastante utilizado no dimensionamento de estruturas de infiltração, por ser simples e proporcionar uma aplicação direta dos dados de caracterização da região de implantação, assim como, da curva IDF adotada para o local.

4 METODOLOGIA

4.1 Localização e caracterização da área de estudo.

O local escolhido para a realização dos ensaios e posteriormente construção da trincheira mista, está localizado na parte dos fundos do prédio do CTLAB, anexo ao Centro de Tecnologia, em frente ao laboratório de hidráulica da UFSM. Na (Figura 16 a), é apresentada a área onde foi construída a estrutura, juntamente com o telhado utilizado como área de captação (Figura 16 b).

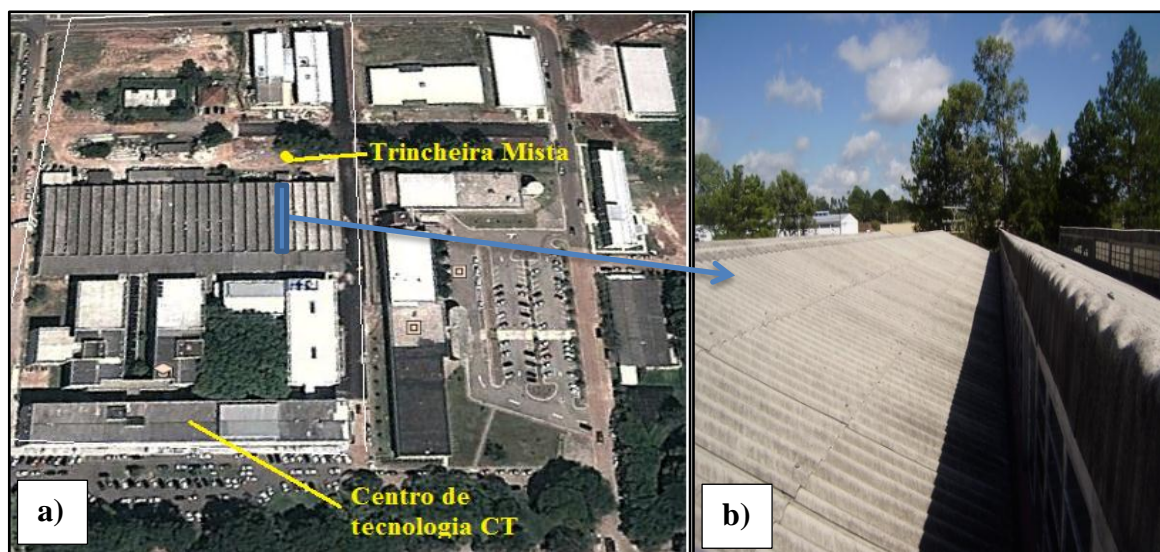


Figura 16 - a) Localização do experimento. b) Área de captação das águas que compõem a trincheira.

Por estar localizado em uma área dentro do campus da universidade, o local escolhido apresenta características muito semelhantes às encontradas em meio urbano, com prédios nas proximidades e fluxo contínuo de pessoas. O solo que compõe o local tem características argilosas, sendo este, compactado no decorrer dos anos, devido a fatores como, passagem de veículos e utilização do local como estacionamento no período das aulas, além da ação do

próprio intemperismo. A (Figura 17 a e b), ilustra outra vista do local onde foi construída a trincheira mista.

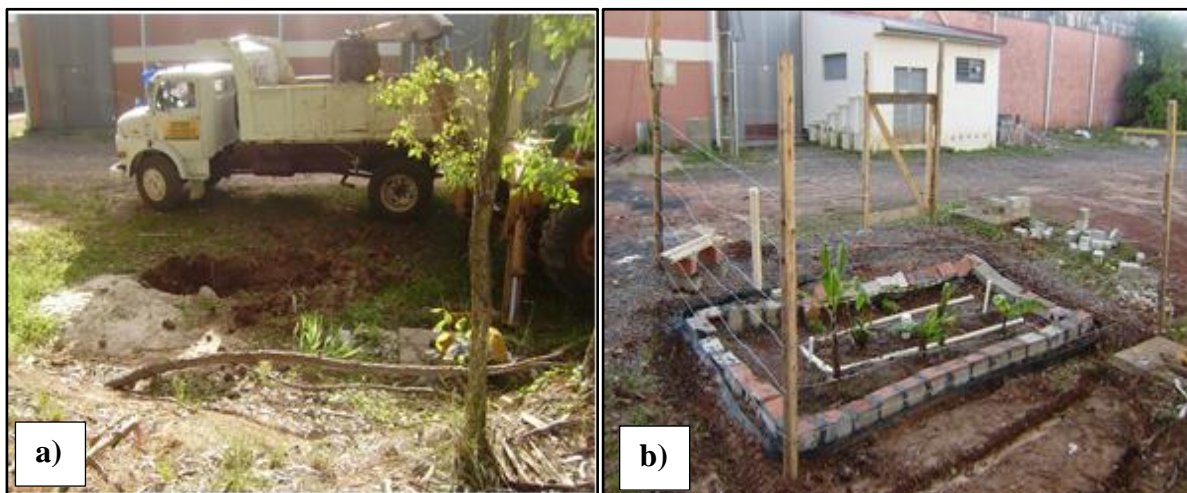


Figura 17 - a) Início da escavação. b) Trincheira construída.

Quanto às características da região onde a pesquisa foi realizada, no caso Santa Maria, trata-se de um município, situado na região central do Rio Grande do Sul, com uma área de aproximadamente 1779,556 km. O clima da região, com base na classificação de Köppen, apud Ayoade (1986), enquadra-se como sendo mesotérmico brando. Apresentando invernos frios, com temperatura média do mês mais frio entre 13°C e 15°C e média das mínimas entre 8°C e 10°C. Os verões são quentes, com temperatura média do mês mais quente, superior a 24°C, média das máximas variando entre 28°C e 32°C e as máximas absolutas podendo oscilar em torno dos 39°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 16°C e 20°C. As precipitações são regulares durante todo o ano, com índices pluviométricos anuais entre 1,500 mm e 1,600 mm. Os ventos predominantes são de leste e sudeste (FACCO et al.,2012). Os dados climatológicos de chuva e temperatura do município de Santa Maria no período de monitoramento são apresentados na (Figura 18).

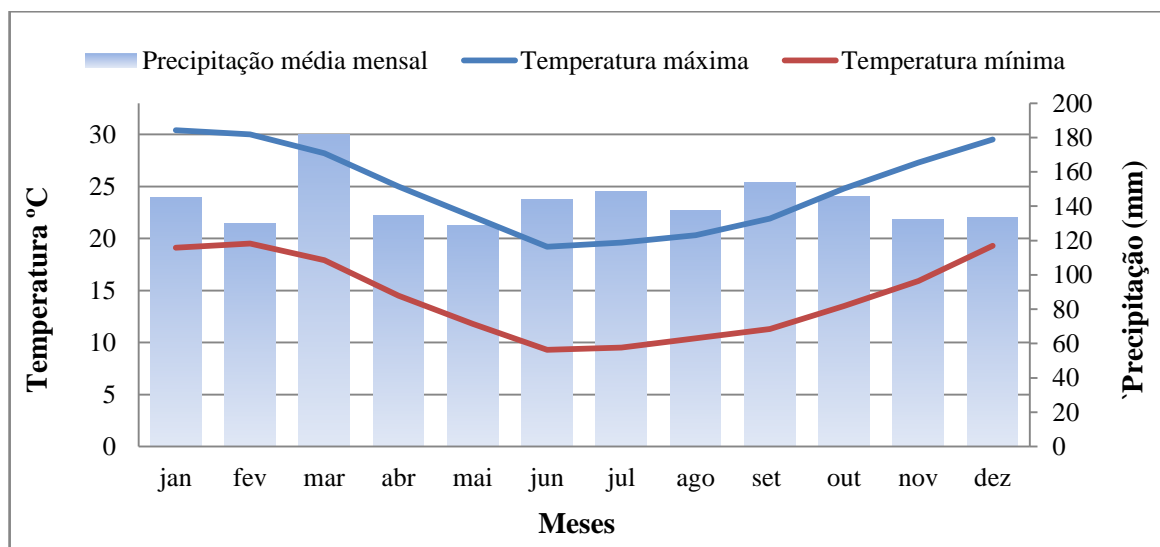


Figura 18 - Dados climatológicos do município de Santa Maria – RS no decorrer do ano de 2012.

O conhecimento do clima e das demais características do local são atributos importantes a serem considerados na hora de, projetar e construir estruturas que atuem da mesma forma que a trincheira mista. Cada região possui suas próprias singularidades quanto ao clima, sendo assim, para garantir que a estrutura funcione da maneira desejada, assim como, no caso da trincheira mista, garantir condições para o desenvolvimento das plantas, foi necessário uma melhor abordagem sobre as condições climatológicas da área de estudo, a fim de, proporcionar á estrutura condições ideais de funcionamento.

4.2 Dimensionamento da trincheira

Para o dimensionamento de estruturas de infiltração, como por exemplo, os de trincheiras normalmente são considerados os seguintes parâmetros: área de infiltração, área captação e de evaporação, coeficiente de evapotranspiração da cultura (taxa de evapotranspiração das plantas na estrutura), coeficiente de infiltração do solo presente no local e porosidade de preenchimento.

A área de captação, juntamente com a chuva de projeto (determinada a partir da IDF local para um determinado risco de projeto), foram utilizadas para estimar os volumes afluentes no método da curva envelope. Já os volumes de saída, foram determinados através da soma da infiltração e evapotranspiração para um evento crítico. Neste caso, a evapotranspiração foi calculada para o mês mais frio do ano e a infiltração, estimada como igual à apresentada na condição saturada do solo.

Para que, a análise dos volumes infiltrados pudesse ser realizada, seria necessário determinar ainda, a porosidade da trincheira. Uma vez que o ensaio específico para sua determinação falhou, a porosidade da trincheira foi determinada a partir de valores adotados por Galbiati (2009), na construção de um tanque de evapotranspiração. Para construção do tanque, a autora utilizou um valor para porosidade de 0,55 porém, este valor foi utilizado mediante as características de cada material que compõe a estrutura, no caso do tanque, foi utilizado como material granular brita.

No caso da trincheira mista, proposta neste estudo, foram empregados além da brita, materiais descartados na construção civil (tijolos quebrados, materiais cerâmicos), sendo que, estes possuem uma porosidade maior que a porosidade atribuída à brita. Dessa forma, foi atribuída a trincheira uma porosidade de 0,6.

4.2.1 Estimativa dos parâmetros

A determinação da área total de captação, neste caso do telhado, foi realizada de maneira manual, sendo esta de 170 m².

Para a estimativa da evapotranspiração, foram observadas as normais climatológicas de Santa Maria (evaporímetro de Pichê), nas quais, o menor valor corresponde a Junho, com 49 mm e ainda através do método de Thornwaite foi estimada a EVTP mensal em 31 mm.

Adotou-se, por questões de segurança o menor valor, que resulta em pouco mais 1 mm evapotranspirado por dia pelas plantas. Este valor foi multiplicado pelo coeficiente de cultura,

estimado por Galbiati (2009), para um estrutura semelhante (tanque de evapotranspiração) em 2,71 que resultou em aproximadamente 3 mm evapotranspirados por dia.

O solo encontrado no local de instalação da trincheira possui características de solos do grupo D da metodologia do SCS, ou seja, solos com características argilosas e com pouca capacidade de infiltração. Para determinação da infiltração, foi realizado um ensaio conforme a NBR 13969/97 (Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação estes dados estão indicados) uma vez que, o método proposto permite a determinação da infiltração na profundidade de trabalho da trincheira. A taxa de infiltração quando o solo esteve saturado, foi de 1 mm/hora ou seja, 24mm/dia. Esse resultado foi obtido utilizando como coeficiente de segurança o valor de 1,5 que, inclusive, leva em conta a diminuição da capacidade de infiltração durante a vida útil da estrutura.

Desta forma, os valores combinados de evapotranspiração e infiltração resultaram em 18 mm/dia, valor este, que corresponde a pior situação da trincheira, solo completamente saturado no início do evento e mês mais frio do ano.

Os volumes de entrada na estrutura foram calculados a partir da IDF local, considerado o coeficiente de escoamento de 0,95, correspondente ao telhado.

Uma vez dimensionada e construída, a trincheira resultou numa estrutura semelhante à esquematizada na (Figura 19). Essa ilustração expõe os tipos de materiais empregados na construção, assim como a distribuição das diferentes camadas, além, dos locais por onde o efluente passa até infiltrar na estrutura e por fim no solo do fundo.

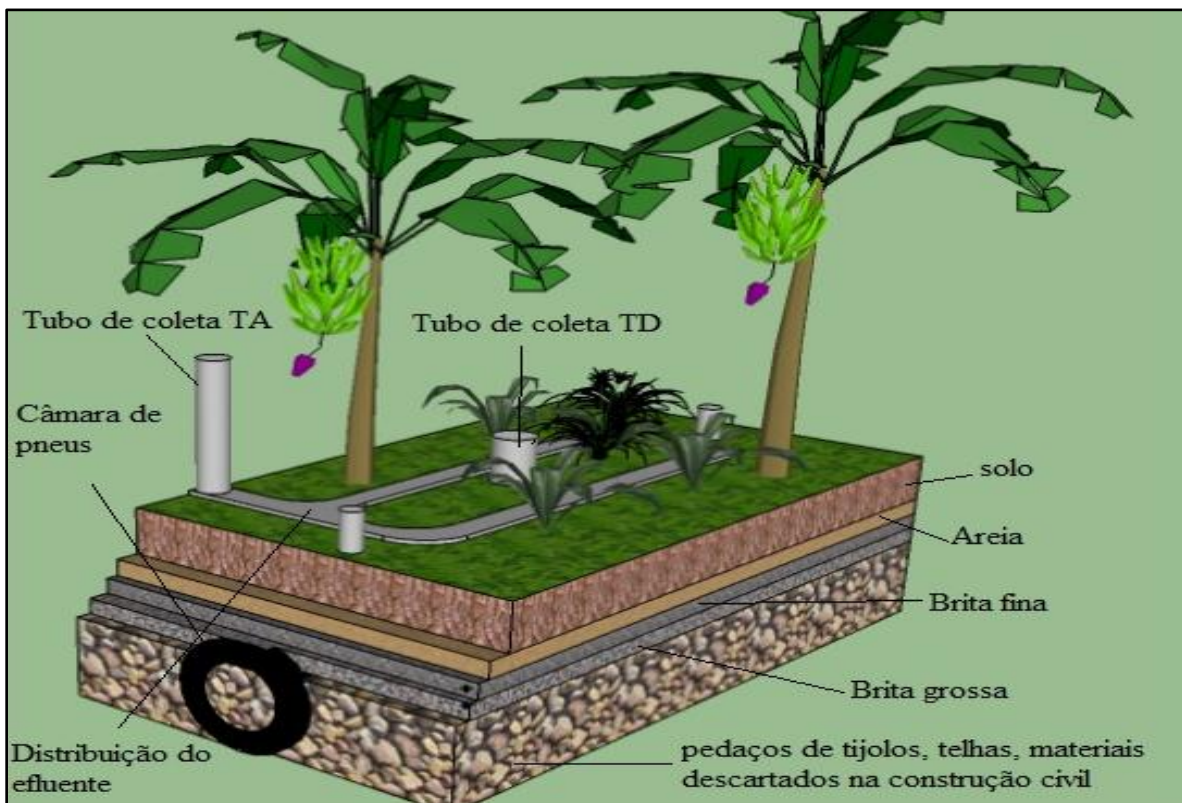


Figura 19 - Modelo esquemático da trincheira mista.

4.3 Monitoramento quantitativo

Para o monitoramento dos eventos pluviométricos e nível no interior da trincheira, foram utilizados os equipamentos apresentados nas (Figuras 20 a, b e c).

O pluviógrafo foi instalado na parte superior do telhado e registrou os dados de precipitação, enquanto o sensor de nível foi instalado no interior da trincheira, registrando o nível acumulado no interior da estrutura. Os valores de nível e precipitação foram registrados pelo equipamento em mm e m respectivamente, para um intervalo de tempo de 5 minutos.

O registro fotográfico dos aparelhos usados no controle quantitativo é ilustrado pelas (Figuras 20 a, b e c).

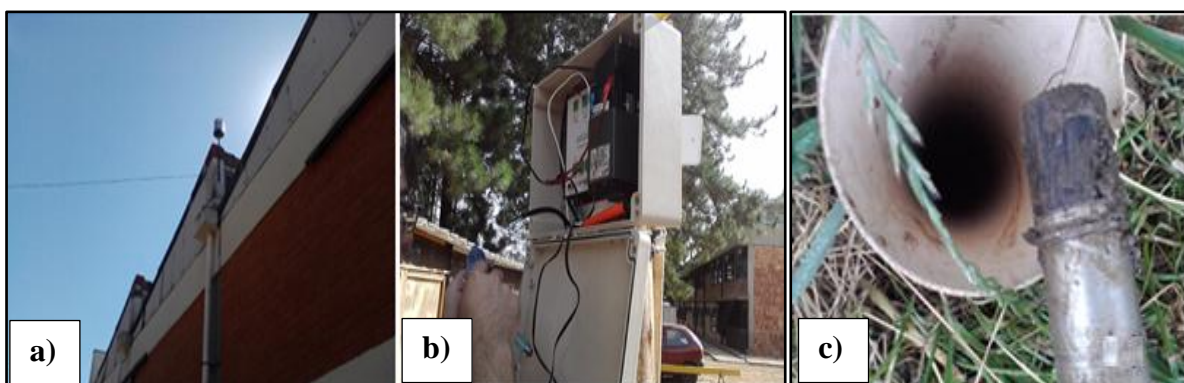


Figura 20 - a) Pluviógrafo, b) data logger, c) Sensor de pressão.

4.3.1 Análise dos eventos e comportamento hidráulico da trincheira.

Para avaliar o desempenho da trincheira mediante aos volumes precipitados, assim como, entender o seu comportamento hidráulico, foi realizada uma análise gráfica e estatística dos dados monitorados, afim de, caracterizar o comportamento da estrutura para cada evento individual.

A análise dos eventos ao longo do tempo possibilitou, ainda, a verificação da ocorrência do processo de colmatção.

Para verificar a ocorrência processo de colmatção na trincheira, foram escolhidos seis eventos e

entre 2011 e 2013. Após a escolha dos eventos, os dados foram ajustados utilizando o modelo de infiltração de Horton (equação 1).

$$\mathbf{F} = \mathbf{Fb} + (\mathbf{Fo} - \mathbf{Fb})e^{(-K*t)} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

F - taxa de infiltração no tempo t (mm/h⁻¹).

Fo - taxa de infiltração inicial

Fb - taxa de infiltração mínima (mm/h⁻¹)

k - constante da exponencial

t- tempo médio do intervalo (h)

Para dar mais consistência aos valores encontrados com a modelagem, estes foram comparados com valores apresentados por TOMAZ (2010). Ao analisar a taxa de infiltração em diferentes períodos, foi possível determinar se a trincheira colmatou ou não, ou seja, se a taxa de infiltração apresentou redução ao longo do tempo.

4.4 Monitoramento qualitativo

O monitoramento qualitativo foi feito por meio das análises dos efluentes escoados até a trincheira após cada evento pluviométrico. Para a identificação das amostras, foi adotada uma nomenclatura básica. A água proveniente do telhado, que foi coletada após a passagem do *first flush* pela trincheira foi denominada Trincheira Antes ou simplesmente TA. Uma estimativa semelhante da carga poluidora que ingressa na estrutura foi obtida através da utilização do experimento descrito em Hagemann (2009), aqui referido como *first-flush* ou FF.

Para o efluente infiltrado na estrutura (através da camada superficial de solo com a vegetação), e armazenado em seu interior, adotou-se o termo Trincheira depois (TD)

Deste modo, através da comparação dos três efluentes foi possível observar se, houve ou não melhora ou alteração do efluente após a infiltrar na primeira parte da estrutura. Lembrando que, o processo de tratamento da água não se detém nas primeiras camadas, mas continua seu tratamento no próprio solo. Este último tratamento, não foi avaliado neste trabalho.

4.4.1 Coleta dos efluentes TA e TD

A parcela da chuva que infiltra na trincheira após um evento pluviométrico (TD) foi obtida, através de amostras coletadas no interior da mesma, para isso, foi utilizada uma bomba caseira, construída de PVC. A (figura 21 a), ilustra os tubos por onde foram feitas as coletas, da mesma forma, a (Figura21 b), ilustra uma amostra do efluente TD sendo retirada da trincheira com auxílio da bomba. Da mesma forma, foram coletadas as amostras do efluente armazenado no sifão, ou seja, TA. A análise do efluente TA é importante, pois, representa a qualidade do efluente após a “lavagem” do telhado e infiltração do *first flush* na trincheira.

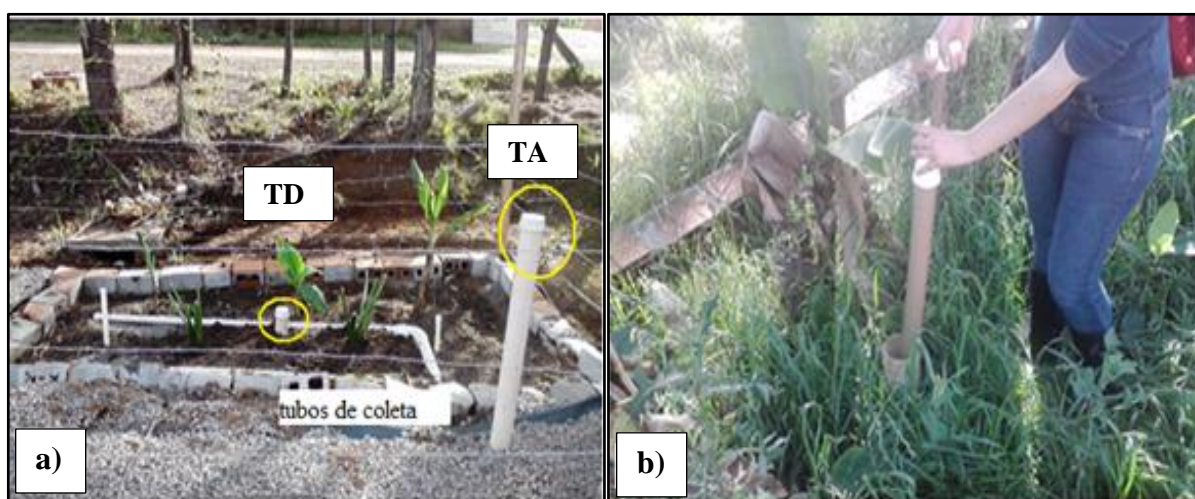


Figura 21 - a) Tubos de coleta TA e TD. b) Retirada do efluente TD.

O *first flush* foi obtido através de amostras coletadas em dois reservatórios utilizados por Hagemann (2009), ligados a um telhado paralelo ao utilizado pela trincheira. Como a área dos dois telhados é a mesma, e estes são paralelos, tem-se uma estimativa muito próxima dos poluentes que são encontrados no telhado ligado à trincheira. A (Figura 22 a), ilustra os reservatórios de onde foi coletado o first flush, enquanto a (Figura 22 b), a bomba confeccionada para a coleta.

Utilizando a bomba caseira foram coletadas amostras do efluente antes de infiltrar na trincheira.

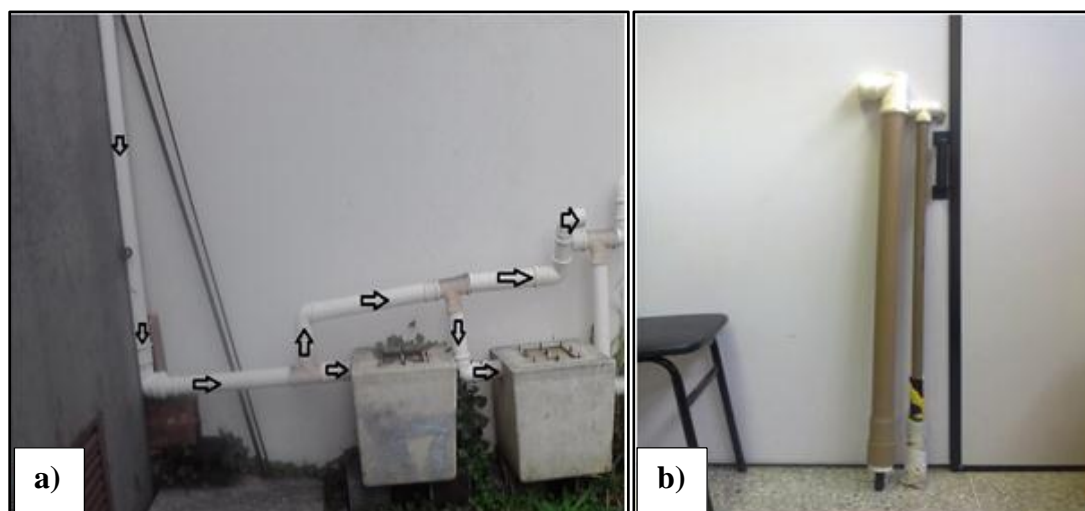


Figura 22 - a) Reservatórios de coleta do first flush HAGEMANN (2009). b) Bomba utilizada nas coletas.

As amostras coletadas a cada evento foram encaminhadas para análise em laboratório logo após a coleta, sendo realizadas as determinações de: pH, condutividade, turbidez), demanda Biológica de oxigênio (DBO), sólidos totais, em suspensão, coliformes totais e termo tolerantes, as medições de oxigênio dissolvido e temperatura foram realizadas o local da coleta. Na tabela 1, são expressos os parâmetros monitorados na pesquisa juntamente com seus respectivos métodos de análise.

Tabela 1 - Parâmetros físicos químicos e métodos de análise.

| Parâmetro | Método utilizado |
|---|---------------------------------|
| DBO 5 | Teste DBO 5 dias |
| Condutividade | Terminal Multiparâmetros InoLab |
| pH | Terminal Multiparâmetros InoLab |
| Temperatura | Oxímetro YSI |
| Oxigênio dissolvido | Eletrodo de membrana |
| Turbidez | Turbidímetro SL-2k |
| Sólidos totais e dissolvidos | Standart Methods |
| Coliformes totais e termo tolerantes | Standart Methods |

4.5 Análises colimétrica e do desenvolvimento das plantas.

Para a análise toxicológica das plantas e verificação da ocorrência de contaminação das plantas pelo efluente, foram coletadas amostras de partes de duas espécies plantadas na estrutura, sendo elas, Inhame (broto) e Bananeira (caule). Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Departamento de Microbiologia e Parasitologia da Universidade Federal de Santa Maria, onde, foram feitas análises de colimetria, a fim de identificar possível contaminação por coliformes totais, termotolerantes, assim como *E coli*.

Todas as análises foram realizadas pelo no laboratório de análises microbiológicas. As amostras recolhidas foram analisadas seguindo o método proposto pelo Methods for the Microbiological of Foods, da Associação Americana de Saúde Pública (APHA).

A contagem dos microrganismos foi feita através da utilização de placas de Petri, após 48 horas, o número de colônias encontradas nas placas, indicará a presença ou não dos microrganismos. Posteriormente, foi feita a identificação dos microrganismos que se desenvolveram nas placas, chegando assim, ao resultado esperado, ou seja, presença ou não de coliformes totais, termotolerantes e *E coli*.

A avaliação do desenvolvimento das plantas foi realizada através de observações regulares do comportamento das plantas utilizadas na trincheira. Essa análise foi importante, pois, por se tratar de uma estrutura permeável, em épocas onde não ocorre precipitação, a trincheira tende a ficar sem água no seu interior, podendo assim interferir no desenvolvimento das plantas.

Também foi realizado o monitoramento do crescimento das raízes das plantas, com a finalidade de constatar, se as mesmas possuem capacidade de procurar água nas camadas inferiores da estrutura. Para isso, foi utilizada uma trincheira em escala menor, construída em acrílico e com as mesmas espécies plantadas, facilitando a observação do crescimento das raízes. Para obter ainda mais precisão nos resultados, foi feita, através de uma abertura na trincheira em tamanho real, a verificação do crescimento das raízes de algumas plantas utilizadas na estrutura.

5 RESULTADOS

5.1 Dimensionamento da trincheira.

A trincheira mista foi dimensionada utilizando-se o método da curva envelope. Para esse estudo, foi realizado o dimensionamento de uma trincheira unitária (ou seja, o tamanho requerido para tratar cada m² de área impermeável). Desta forma, conhecendo a área impermeável, multiplica-se esta, pelo tamanho obtido na trincheira, obtendo assim, a área total de trincheira para o local onde os dados foram obtidos.

Em condições normais, numa trincheira de infiltração, não se admite que a água fique retida mais de 24 horas. Nesse caso, devido ao tipo de solo e ao fato que, deve existir água disponível para as plantas, admite-se que exista um acúmulo de água na trincheira por até 30-40 dias, proporcionando tempo suficiente para o processo anaeróbio trabalhar na melhora do efluente. Na tabela 6, são expressos os valores utilizados no dimensionamento da trincheira mista. A (equação 2) ilustra a IDF (intensidade, frequência, duração) para Santa Maria- RS, onde (Tr) corresponde ao tempo de retorno em anos, e (t) ao tempo em minutos.

$$IDF = \frac{807,8010 * Tr^{0,1443}}{(t+5,67)^{0,7472} * Tr^{-0,028}} \quad \text{(Equação 2)}$$

Tabela 2 - Valores para dimensionamento da trincheira.

| t(dia) | I (mm/h) | P (mm) | Evap/Infil.(mm) | Dif(mm) | Dif(m3) |
|---------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------|----------------|
| 1 | 4,31 | 103,54 | 1,8 | 101,74 | 0,10 |
| 2 | 2,59 | 124,79 | 3,6 | 121,19 | 0,12 |
| 3 | 1,93 | 139,13 | 5,4 | 133,73 | 0,13 |
| 4 | 1,56 | 150,28 | 7,2 | 143,08 | 0,14 |
| 5 | 1,32 | 159,54 | 9,0 | 150,54 | 0,15 |
| 39 | 0,29 | 276,32 | 70,2 | 206,12 | 0,20 |
| 40 | 0,28 | 278,20 | 72,0 | 206,20 | 0,20 |
| 41 | 0,28 | 280,04 | 73,8 | 206,24 | 0,20 |
| 42 | 0,28 | 281,85 | 75,6 | 206,25 | 0,20 |
| 43 | 0,27 | 283,63 | 77,4 | 206,23 | 0,20 |

Para o dimensionamento da trincheira, foi adotado um intervalo de tempo diário, na coluna 2, foi determinada a intensidade da precipitação para o período requerido, enquanto que na coluna 3, a intensidade foi transformada em volume precipitado (m³). Portanto, a coluna 3 contém os valores para construir a curva de volume afluente (neste caso por m² de área impermeável, considerando nesse exemplo que, 100% da área impermeável unitária contribui para a trincheira).

Os valores resultantes foram acumulados na coluna 4 (ou coluna de consumo de água na trincheira). Nas colunas 5 e 6, foi estimadas a diferença entre o volume afluente e o volume perdido, resultando o máximo volume no 42º dia, sendo aproximadamente de 0,20 m³.

Deste modo, foram determinadas as dimensões da trincheira para a área de captação adotada, sendo estas, 2 m de largura, 4 m de comprimento e 1,2 m de profundidade. A trincheira mista foi dimensionada para um tempo de retorno de dois anos, tempo este, compatível com obras residenciais de microdrenagem. No quadro 4 são apresentados alguns padrões segundo DAEE/CETESB.

| Tipo de obra | Tipo de ocupação da área | Período de retorno (anos) |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| Micro drenagem | Residencial | 2 |
| | Comercial | 5 |
| | Áreas com edifícios de serviço público | 2 a 5 |
| | Aeroportos | 2 a 5 |
| | Áreas comerciais e com vias de tráfego | 5 a 10 |
| Macro drenagem | Áreas comerciais e residenciais | 50 a 100 |
| | Áreas com importâncias específicas | 500 |

Quadro 4 - Períodos de Retorno para diferentes ocupações (DAEE/CETESB, 1980).

5.2 Construção e funcionamento da biorretenção ou trincheira mista.

Após a realização do dimensionamento da trincheira, descrito no item anterior, deu-se início à etapa de construção da estrutura. O dimensionamento da trincheira foi feito utilizando como área impermeável o telhado do laboratório de hidráulica da UFSM (Figura 16 b), cuja área é equivalente a 170 m², adotando-se a metodologia de dimensionamento citada anteriormente.

Com uma escavadeira, foi aberta uma trincheira de 4 metros de largura, por 2 metros de comprimento e 1,20 metros de profundidade. Finalizado o processo de escavação, a trincheira foi coberta com uma manta geotêxtil, cuja finalidade, além de estrutural, é diminuir ou retardar o processo de colmatação no dispositivo. A (Figura 23 a e b), ilustra a abertura da trincheira pela retroescavadeira, assim como, proporciona uma visão do tipo de solo encontrado no local da escavação.

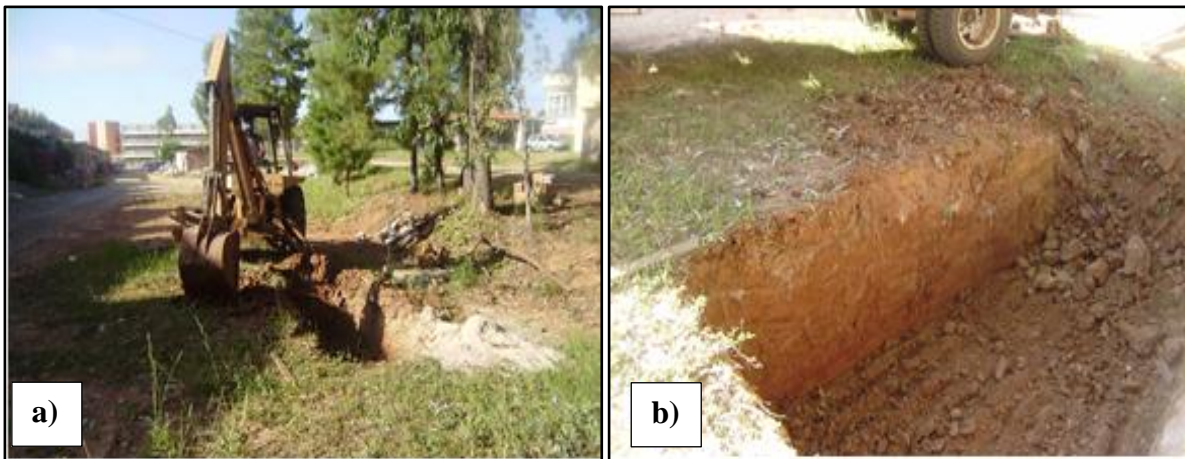


Figura 23 - a) Abertura da trincheira. b) Trincheira parcialmente aberta, com destaque para o tipo de solo

Posteriormente, visando o aumento do volume de vazios, assim como, a formação de um ambiente propício para o crescimento dos microrganismos, responsáveis pelo processo de tratamento, uma câmara foi formada pelo alinhamento de dezesseis pneus. Nesta fase, foram testadas duas combinações para a câmara, uma de duas fileiras de pneus distribuídas paralelamente, e outra em uma fileira única. Ao redor dos pneus foram colocados fragmentos de tijolos e materiais cerâmicos quebrados com diferentes tamanhos, todos estes, oriundos do descarte de construção civil, tornando o interior da trincheira ainda mais poroso.

Após o preenchimento com pneus e demais materiais citados acima, uma camada de brita No2 (maior), com aproximadamente 10 cm de altura foi disposta sobre as primeiras camadas. Uma nova camada de 10 cm de brita, agora No1 (menor), foi disposta em cima das primeiras, formando assim uma parte do meio filtrante.

Após o preenchimento com os materiais citados acima, uma terceira camada desta vez com 10 cm de areia foi colocada sob os mesmos. O preenchimento da trincheira com estes materiais visa a formação de um filtro biológico que passará a atuar na filtragem do efluente direcionado até a estrutura. Por fim, uma quarta e última camada, com 30 cm de solo (substrato) foi acrescentada a estrutura. O solo escolhido para esta última camada é diferente do encontrado no fundo da estrutura, tornando assim, a parte superior mais porosa, conseqüentemente dando condições melhores para o desenvolvimento das plantas. Na parte superior da trincheira, onde se encontra o substrato, foram plantadas inicialmente, mudas de Bananeira (*Musa velutina*), Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) e espécies do gênero *Canna*.

Passado alguns meses, também foram plantados alguns brotos de Inhame. Na (Figura 24 a, b e c), são apresentadas as etapas da construção da trincheira mista. Da esquerda para a direita tem-se o preenchimento com pneus e matérias cerâmicos, preenchimento com brita grossa e fina, e por fim, cobertura com uma camada de areia.

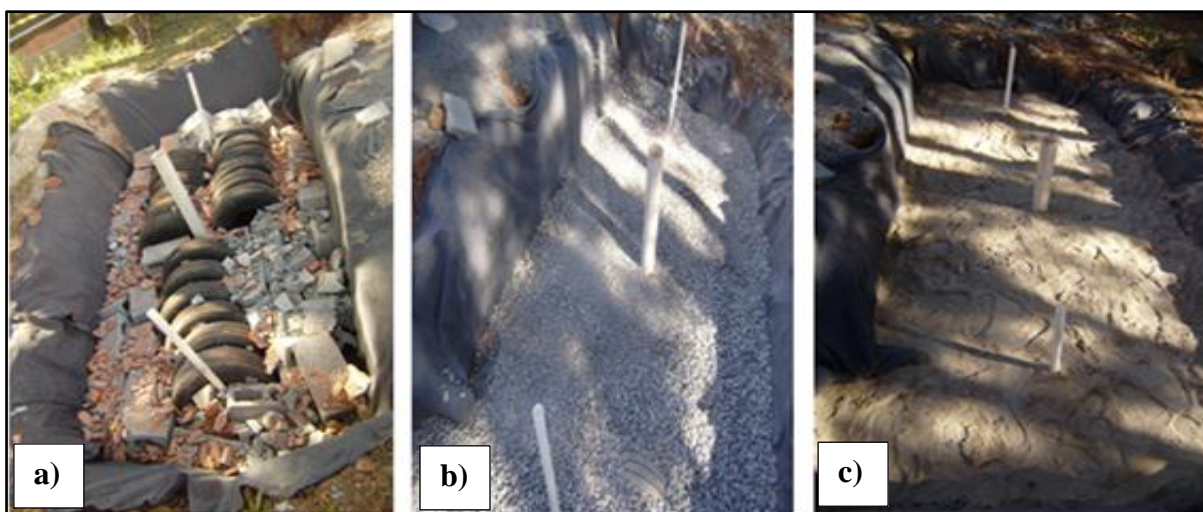


Figura 24 - a) b) e c) Preenchimento da trincheira com material granular.

No quadro 5, são apresentados os valores de porosidade efetiva de alguns materiais utilizados na trincheira segundo (Urbonas e Stahre, 1993)

| Materiais | Porosidade efetiva % |
|---|-----------------------------|
| Brita grossa | 30 |
| Cascalho de granulometria uniforme | 40 |
| Brita graduada (menores que ¼") | 30 |
| Areia | 25 |
| Seixo rolado | 15 – 25 |

Quadro 5 - Porosidade efetiva dos materiais utilizados no estudo.

Por tratar-se de uma estrutura de pesquisa, foi instalado um tubo de coleta em PVC de 100 mm, permitindo acesso ao fundo da trincheira e possibilitando a coleta do efluente após a infiltração. Um tubo de PVC 100 mm de diâmetro com aproximadamente 10 m, foi instalado,

junto à saída da calha ligada ao telhado utilizado como área impermeável, encaminhando a água escoada até um conjunto de drenos, constituídos de tubos com PVC de 50 mm. Antes de chegar aos drenos, o efluente vindo do telhado passa por um sifão, onde parte deste fica armazenado após o escoamento total na área de captação Na (Figura 25 a e b), é ilustrado o processo de instalação dos tubos, assim como, o sifão por onde são recolhidas as amostras do efluente TA.

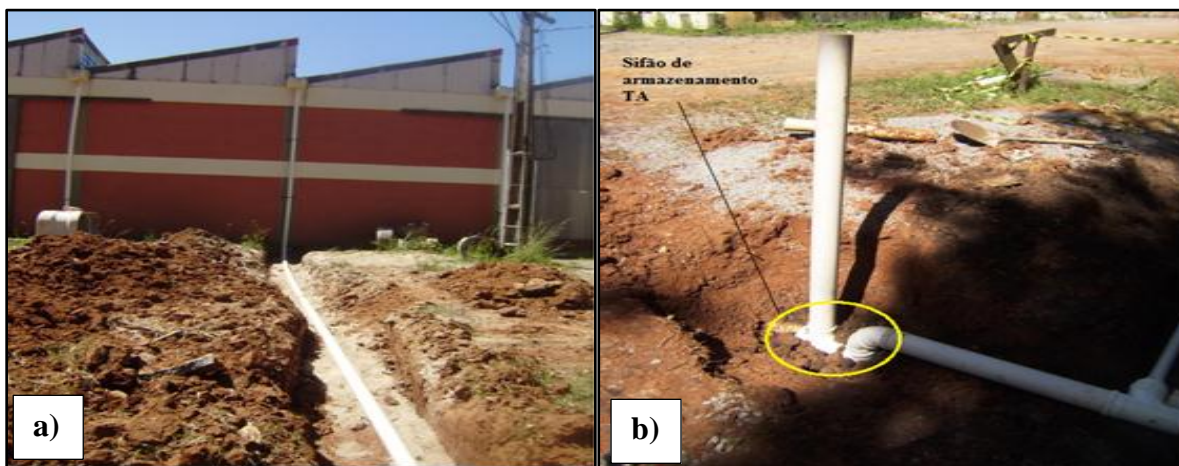


Figura 25 - a) Instalação da tubulação ligando calha à trincheira. b) Sifão de armazenamento.

A instalação dos drenos teve a finalidade de fazer com que a água infiltre no solo homoganeamente através das camadas porosas, simulando um evento real, precipitado na estrutura.

A (Figura 26 a e b) ilustra a instalação dos drenos, assim como, o funcionamento dos mesmos durante um evento.

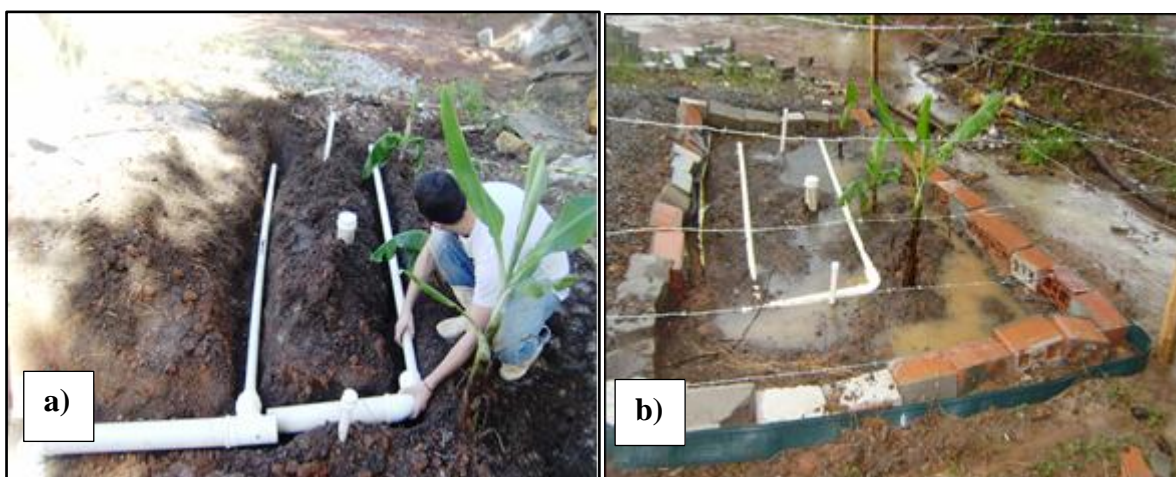


Figura 26 - a) Instalação dos drenos. b) Funcionamento dos drenos mediante a um evento.

5.3 Ajuste dos dados Monitorados

Durante o decorrer da pesquisa foram detectados alguns erros nos dados registrados pelo pluviógrafo instalado próximo à trincheira, havendo indícios de que, o mesmo, estaria superestimando os volumes precipitados sobre o telhado. Uma má calibragem do pluviógrafo e até mesmo a qualidade do equipamento, podem ser relacionados com os erros ocorridos na medição dos volumes precipitados.

Deste modo, para obter uma maior confiabilidade nos dados registrados pelo pluviógrafo em questão, foram feitas comparações entre, os volumes precipitados e registrados pela estação automática do INMET localizada a uma Latitude: $-29,7000^\circ$, e Longitude: $-53,7000^\circ$, situada próxima à região onde foi desenvolvido o estudo. Para o ajuste, foram utilizados os dados relativos ao período de 26/04/2011 até 23/06/2011 (Figura 27). Através dessa comparação, pode-se observar que, de fato, o pluviógrafo instalado junto à trincheira superestima os valores precipitados.

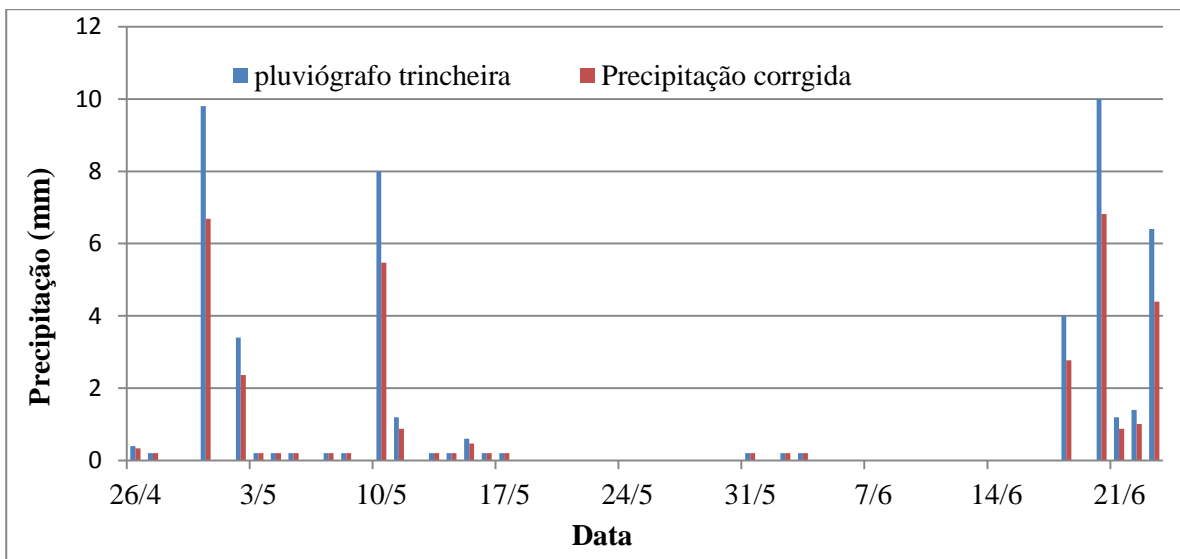


Figura 27 - Comparação entre volume precipitados observados na trincheira e corrigidos.

A partir dessa comparação, foi realizada uma correção da chuva do pluviógrafo da trincheira a partir dos dados do INMET. Foi gerado então, um gráfico, onde foi inserida uma linha de tendência linear juntamente com uma equação (equação 3). Equação esta, que ajusta os valores registrados no pluviógrafo da trincheira com a precipitação que de fato ocorreu (Figura 28).

$$Y = 0,6756x + 0,0666$$

$$R^2 = 0,9461 \quad (\text{equação 3}).$$

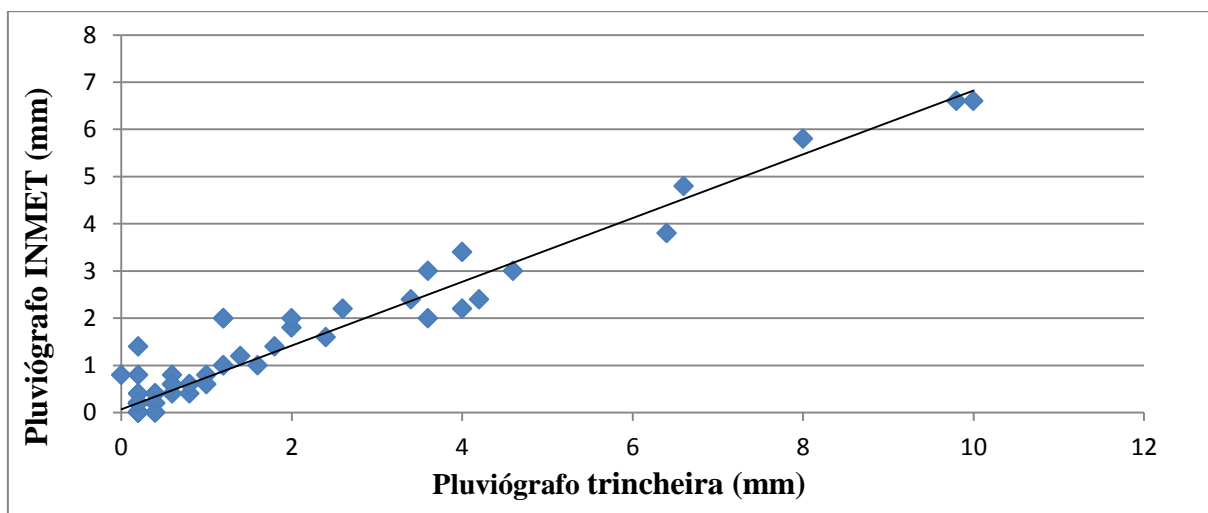


Figura 28 - Confronto de dados registrados na área da trincheira e na estação INMET.

5.4 Análise dos eventos monitorados na trincheira.

Para a avaliação do desempenho da trincheira mista, foram monitorados 59 eventos no período de 19/04/2011 a 03/05/2013. A análise da série histórica permitiu a observação de quais eventos foram mais intensos e como foi a resposta dada pela estrutura. Como a estrutura possui uma altura útil de 1.20m, ou seja, esse seria o nível correspondente à saturação total da mesma, é possível observar se houve ou não, algum evento em que a trincheira não suportou o volume escoado. Na (Figura 29), são expressos os valores da série histórica da trincheira com os valores de precipitação e nível no interior da estrutura.

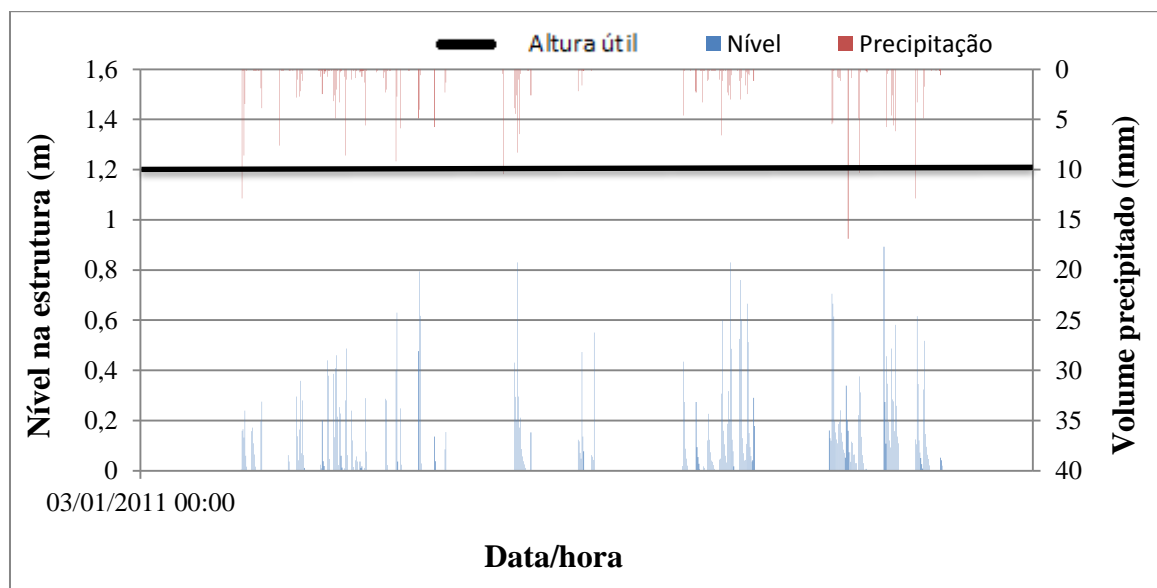


Figura 29 - Série histórica da trincheira.

Através da análise da série histórica da trincheira mista, pode-se perceber que a estrutura, após dois anos e meio de monitoramento, mostrou-se muito eficiente no controle dos efluentes escoados pelo telhado utilizado como área impermeável. Foram monitorados 53 eventos, onde em nenhum momento foi registrado no interior da estrutura um nível superior a sua altura útil, que é de 1,2m.

O nível máximo observado no interior da estrutura em todo o período de monitoramento foi de 0,82m, isto é, abaixo da altura útil da estrutura.

Na tabela 3, são apresentados os eventos monitorados, assim como, suas principais características. Para uma melhor abordagem dos dados, foram destacados os eventos considerados de maior relevância, permitindo uma discussão mais detalhada e objetiva para cada evento.

Tabela 3- Características dos eventos monitorados.

| Data/ Hora | Duração h: m | Precipitação mm | Intensidade mm/h⁻¹ | Nível máx, m | TR anos |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|
| 20/04/2011 | 4 | 42,89 | 10,723 | 0,166 | 0,45 |
| 22/04/2011 | 2,6 | 38,352 | 14,751 | 0,24 | 0,45 |
| 10/05/2011 | 5,65 | 35,089 | 6,211 | 0,276 | 0,16 |
| 20/06/2011 | 3,47 | 29,471 | 8,501 | 0,358 | - |
| 22/06/2011 | 1,17 | 6,32 | 5,417 | 0,024 | - |
| 13/07/2011 | 15,5 | 9,775 | 0,631 | 0,202 | - |
| 17/07/2011 | 11 | 3,986 | 0,362 | 0 | - |
| 20/07/2011 | 16,5 | 46,213 | 2,801 | 0,435 | 0,18 |
| 26/07/2011 | 3 | 28,077 | 9,359 | 0,386 | 0,11 |
| 27/07/2011 | 19,42 | 41,854 | 2,156 | 0,41 | 0,11 |
| 29/07/2011 | 11,5 | 31,556 | 2,744 | 0,46 | - |
| 01/08/2011 | 18,58 | 25,503 | 1,372 | 0,254 | - |
| 08/08/2011 | 9,08 | 23,257 | 2,56 | 0,28 | - |
| 08/08/2011 | 6,83 | 40,717 | 5,959 | 0,487 | 0,23 |
| 14/08/2011 | 6,42 | 23,333 | 3,636 | 0,24 | - |
| 18/08/2011 | 1,92 | 7,794 | 4,066 | 0,041 | - |
| 23/08/2011 | 6,08 | 8,14 | 1,338 | 0,035 | - |
| 25/08/2011 | 3,5 | 3,291 | 0,94 | 0,018 | - |
| 28/08/2011 | 0,92 | 1,431 | 1,561 | 0,011 | - |
| 28/08/2011 | 1,58 | 3,528 | 2,228 | 0,01 | - |
| 29/08/2011 | 9,92 | 26,816 | 2,704 | 0,29 | - |
| 19/09/2011 | 20,83 | 49,307 | 2,367 | 0,28 | 0,19 |
| 30/09/2011 | 20,92 | 75,008 | 3,586 | 0,63 | 0,75 |
| 05/10/2011 | 3,75 | 21,453 | 5,721 | 0,249 | - |
| 24/10/2011 | 18,25 | 51,662 | 2,831 | 0,477 | 0,12 |
| 25/10/2011 | 17,25 | 55,169 | 3,198 | 0,795 | 0,31 |
| 10/11/2011 | 8,75 | 24,087 | 2,753 | 0,133 | - |
| 21/11/2011 | 20,5 | 23,871 | 1,164 | 0,155 | - |
| 03/02/2012 | 11,25 | 42,349 | 3,764 | 0,368 | 0,17 |
| 04/02/2012 | 25,42 | 23,962 | 0,943 | 0,24 | - |
| 05/02/2012 | 30,58 | 62,729 | 2,051 | 0,203 | 0,31 |
| 08/02/2012 | 4,08 | 15,792 | 3,867 | 0,212 | - |
| 20/02/2012 | 3,67 | 17,961 | 4,899 | 0,152 | - |
| 10/04/2012 | 2,5 | 10,267 | 4,107 | 0,121 | - |
| 13/04/2012 | 31,17 | 44,755 | 1,436 | 0,473 | 0,1 |
| 31/07/2012 | 8,58 | 31,422 | 3,661 | 0,435 | - |
| 12/08/2012 | 6,08 | 26,734 | 4,395 | 0,274 | - |
| 20/08/2012 | 3 | 5,813 | 1,938 | 0,017 | - |
| 25/08/2012 | 36,67 | 29,921 | 0,816 | 0,227 | - |
| 07/09/2012 | 5,67 | 7,748 | 1,367 | 0,046 | - |

| Data/ Hora | Duração h: m | Precipitação mm | Intensidade mm/h⁻¹ | Nível máx, m | TR anos |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|--|-------------------------|--------------------|
| 09/09/2012 | 37,75 | 56,575 | 1,499 | 0,6 | 0,19 |
| 15/09/2012 | 30,33 | 34,898 | 1,15 | 0,187 | - |
| 17/09/2012 | 45,5 | 115,397 | 2,536 | 0,829 | 1,61 |
| 28/09/2012 | 6,42 | 43,191 | 6,731 | 0,521 | 0,29 |
| 29/09/2012 | 16,42 | 73,968 | 4,506 | 0,76 | 0,88 |
| 04/10/2012 | 45 | 8,724 | 0,194 | 0,105 | - |
| 05/10/2012 | 46 | 77,089 | 1,676 | 0,665 | 0,43 |
| 13/10/2012 | 3,67 | 20,775 | 5,666 | 0,288 | - |
| 04/01/2013 | 1,83 | 39,381 | 21,48 | 0,705 | 0,73 |
| 05/01/2013 | 7,42 | 32,802 | 4,423 | 0,665 | 0,1 |
| 10/01/2013 | 18,67 | 9,371 | 0,502 | 0,176 | - |
| 12/01/2013 | 11,17 | 13,303 | 1,191 | 0,241 | - |
| 01/02/2013 | 28,25 | 49,751 | 1,761 | 0,153 | 0,15 |
| 03/03/2013 | 11,42 | 28,912 | 2,532 | 0,456 | - |
| 08/03/2013 | 19,67 | 38,122 | 1,938 | 0,487 | - |
| 12/03/2013 | 15,58 | 74,947 | 4,809 | 0,582 | 0,97 |
| 04/04/2013 | 10,33 | 82,216 | 7,956 | 0,613 | 1,98 |
| 11/04/2013 | 20,58 | 94,261 | 4,579 | 0,518 | 3,48 |

Analisando os eventos mais significativos ocorridos no decorrer do monitoramento, é possível observar que, nos eventos ocorridos nos dias 24 e 25/10/2011, a soma dos volumes precipitados foi de 107 mm, sendo 51,6 mm no primeiro dia e 55,1mm no segundo. Como os eventos foram muito próximos, a trincheira acabou por receber contribuição dos dois eventos, atingindo um nível máximo no final do segundo evento de 0,795 m. É importante ressaltar que, no início do segundo evento, a trincheira já se encontrava em fase de esvaziamento, ou seja, já não recebia mais contribuição do primeiro evento. No entanto, apesar do grande volume precipitado e do curto intervalo entre um evento e outro, a trincheira se mostrou eficiente, drenando todo volume e apresentando um nível bem abaixo nível de saturação.

Para o evento ocorrido no dia 17/09/2012, registrou-se um volume precipitado de 115 mm, gerando um nível máximo na estrutura de 0,82m. Esse evento teve uma duração de 45 horas, com uma intensidade de 2,53 mm/h⁻¹, para um tempo de retorno de 1,6 anos. Analisando melhor o evento, percebe-se que, apesar de, apresentar uma longa duração, o

volume precipitado não foi suficiente para que a estrutura atingisse um nível próximo ao de total saturação, demonstrando mais uma vez, ser eficiente.

No dia 29/09/2012, foi registrado um evento com volume precipitado de 73,9 mm, intensidade de 4,5 mm/h⁻¹ e uma duração de 16,42 horas. Para esse evento, o nível registrado no interior da estrutura foi de 0,76m, para um tempo de retorno de 0,88 anos. Para outro evento ocorrido no dia 05/10/2012, o volume precipitado foi de 77,089 mm, com um nível registrado de 0,665 m. Neste evento é possível verificar que, para os dois eventos o volume precipitado foi muito próximo, porém, a resposta no nível da estrutura foi bem menor no evento ocorrido no dia 05/10/2012 do que para o dia 29/09/2012. Essa diferença pode estar relacionada com as condições iniciais do solo na estrutura, já que, o segundo evento aconteceu em uma época mais quente do ano e possivelmente a trincheira se encontrava totalmente seca, facilitando assim a infiltração do efluente.

Em apenas um evento monitorado, ocorrido nos dias e 11/04/2013, o tempo de retorno ultrapassou o TR de projeto, sendo este, para uma precipitação de 94,2 mm, com uma duração de 20 horas e uma intensidade de 4,5 mm/h⁻¹, 3,48 anos. Em todos os outros eventos analisados, a trincheira apresentou um desempenho satisfatório, onde seu nível de saturação, nunca foi alcançado durante o período de monitoramento, além de que, em apenas um evento ocorrido o tempo de retorno da estrutura foi ultrapassado, ressaltando assim a eficiência da trincheira no controle dos volumes até ela escoados.

5.5 Análise da infiltração da trincheira

Para avaliar da infiltração na estrutura, durante o período de monitoramento, foram selecionados seis eventos, sendo dois para cada ano, 2011, 2012 e 2013, onde a recessão de cada evento foi avaliada detalhadamente.

Durante a análise dos dados registrados pelo sensor de nível, foi constatado que, alguns dados apresentaram um comportamento diferente do normal, apresentando flutuações no nível. Esse fato foi atribuído à sensibilidade do sensor, aliada ao curto intervalo de tempo para cada registro, além de problemas com obstrução do sensor por sedimentos. Desta forma,

para o cálculo da infiltração, assim como ajuste no modelo citado anteriormente, os dados foram organizados em intervalos horários, facilitando a análise e reduzindo a possibilidade de erros.

Por questões de espaço, são apresentados na sequencia neste texto somente um evento por período, uma vez que o comportamento foi semelhante para cada época e seus respectivos eventos.

O primeiro evento analisado iniciou no dia 30/9/2011 e conforme a tabela 3 teve uma duração de 20,92 horas. Esse evento foi o resultado de uma precipitação de 75 mm, com uma taxa média de 3,586 mm/h, resultando num nível máximo de 0,630 e um TR de 0,75 anos.

A recessão do hidrograma foi caracterizada na (Figura 30), onde o nível já se encontrava após o pico no valor de 0,54m

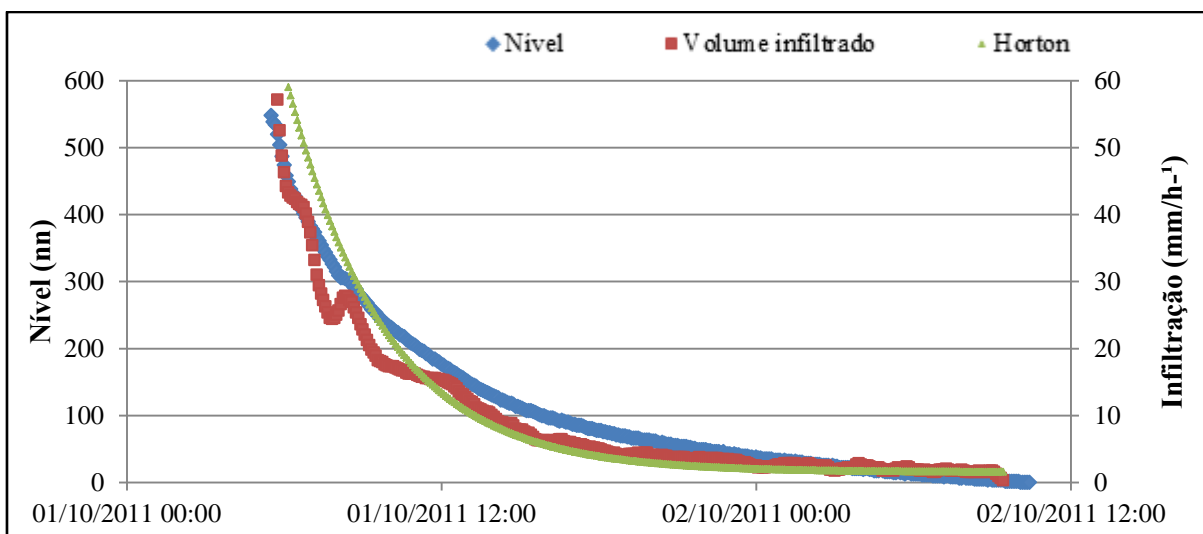


Figura 30 - Evento monitorado no ano de 2011.

Analisando a figura 30, é possível perceber que, no início do evento a infiltração ocorre de uma maneira mais rápida. Para esse evento, a infiltração inicial utilizada no ajuste da equação de Horton, já na recessão do hidrograma, foi de aproximadamente 57 mm.h⁻¹.

É possível evidenciar uma diminuição rápida da infiltração, se estabilizado em aproximadamente $3,7\text{mm/h}^{-1}$ após 8 horas de iniciado o evento. Esse valor decai mais lentamente no final do evento, sendo a taxa de infiltração após a saturação $1,6\text{ mm/h}^{-1}$.

O segundo evento analisado, iniciou no dia 31/07/2012 e conforme a tabela 3 teve uma duração de 8,58 horas. O evento foi resultado de uma precipitação de 31,422 mm, com uma taxa média de $3,66\text{ m/h}^{-1}$, onde o nível máximo registrado no interior da estrutura foi de 0,43m, para um tempo de retorno de 0,08 anos.

A recessão do hidrograma foi caracterizada na (Figura 31), onde o nível registrado após o pico foi de 0,39 m.

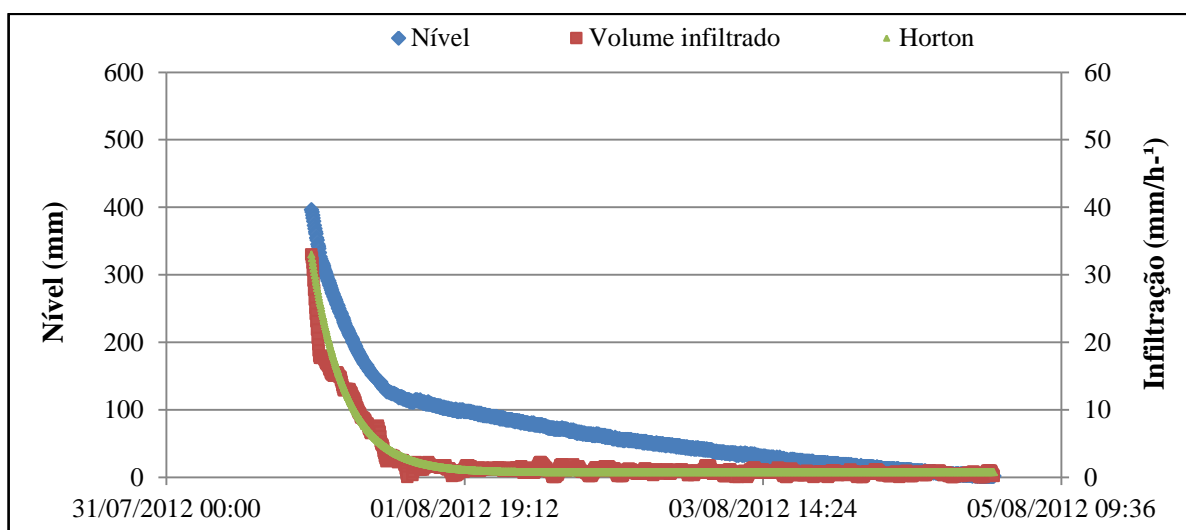


Figura 31 - Evento monitorado no ano de 2012

Através da análise dos valores apresentados na figura 31, percebe-se que, no início do evento, a infiltração para o ajuste de Horton na recessão do hidrograma foi de 32 mm/h^{-1} . Analisando a infiltração após a saturação da camada inferior da estrutura, é possível relatar que, a infiltração se estabiliza após 14 horas do início do evento, com uma taxa de $2,4\text{ mm/h}^{-1}$. Decaindo mais lentamente no final do evento, sendo esta $0,7\text{ mm/h}^{-1}$.

O terceiro evento analisado teve início no dia 04/04/2013, (tabela 3) com uma duração de 10,33 horas. O evento foi resultado de uma precipitação de 82,2 mm, com uma intensidade de $7,9/h^{-1}$, resultando em um nível máximo de 0,63 m para um TR de 1,98 anos.

A recessão do hidrograma foi caracterizada na (Figura 32), onde o nível registrado após o pico foi de 0,40 m.

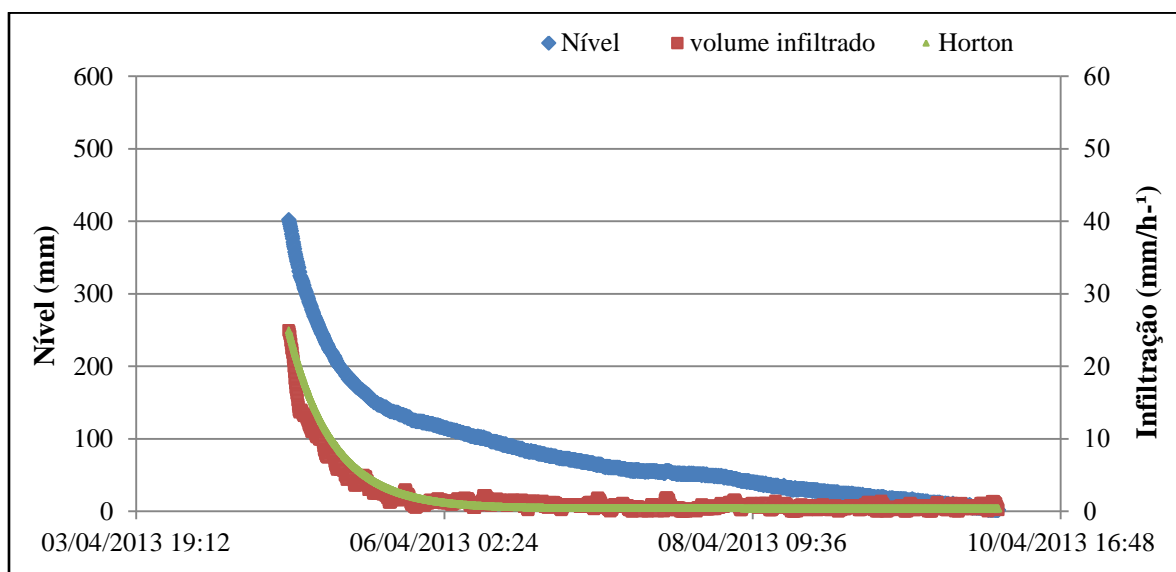


Figura 32 - Evento monitorado no ano de 2013.

A partir da análise do terceiro evento, ocorrido aproximadamente dois anos após a construção da estrutura, é possível visualizar que, a infiltração para o ajuste de Horton, na recessão do hidrograma foi de 24 mm/h^{-1} . Esse valor, após 20 horas do início do evento, a taxa de infiltração se estabiliza em $2,9 \text{ mm/h}^{-1}$. No final do evento o valor da taxa de infiltração decai ainda mais, sendo este $0,4 \text{ mm/h}^{-1}$ após saturação.

A partir da análise dos resultados apresentados acima, é possível constatar que, a trincheira apresentou uma mudança significativa na sua capacidade de infiltração no decorrer do período monitorado. Dessa forma, fica evidente a ocorrência do processo de colmatção na estrutura.

Na tentativa de explicar o porquê da ocorrência de tal fenômeno, duas hipóteses surgiram. A primeira seria que, além do solo que compõe o fundo da estrutura apresentar

características argilosas, ou seja, pouca capacidade de infiltração, uma possível camada impermeável pode existir logo abaixo do mesmo, fazendo com que quase não ocorra infiltração após a saturação da camada inferior da trincheira.

A segunda hipótese é atribuída ao acúmulo de sedimentos no fundo da estrutura, que com o passar do tempo tendem a se acumular, criando uma camada impermeável no fundo e nas paredes laterais da trincheira, originando assim, uma redução na capacidade de infiltração do solo.

Em ambas as hipóteses, tendo como base aos valores de infiltração final encontrados menores que 1 mm/h^{-1} , e que, o valor correspondente a evapotranspiração das plantas na região onde foi realizado o estudo é de aproximadamente 6 mm/dia^{-1} . Admite-se que, após a saturação total do solo do fundo da trincheira, o volume armazenado tende a não infiltrar mais, sendo este evapotranspirado pelas plantas na parte superior da estrutura. Esse resultado de certa forma contribui para o desenvolvimento das espécies vegetais, porém, indica uma diminuição da vida útil da trincheira.

5.6 Comparação dos Parâmetros de Horton

Com a finalidade de, dar uma melhor consistência aos resultados referentes à infiltração, foi realizada uma modelagem dos mesmos utilizando o modelo de Horton. Como referência para a determinação dos parâmetros utilizados no modelo, foram utilizados valores de infiltração inicial (F_0) e infiltração no ponto de saturação (F_b), apresentados por Tomaz (2010), onde os mesmos podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4 - Estimativo dos parâmetros da equação de Horton, segundo Tomaz (2010).

| Parâmetros da equação de Horton | Classificação hidrológica do solo segundo o Soil Conservation Service (SCS) | | | |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Tipo A (mm/h ⁻¹) | Tipo B (mm/h ⁻¹) | Tipo C (mm/h ⁻¹) | Tipo D (mm/h ⁻¹) |
| Fo | 250 | 200 | 130 | 80 |
| Fb | 25 | 13 | 7 | 3 |
| K | 2 | 2 | 2 | 2 |

Analisando os valores apresentados para o solos do tipo D, solos com características argilosas, muito parecidos com as do solo da parte do fundo da trincheira, nota-se que, os valores para os parâmetros Fo e Fb, se assemelham muito aos valores resultantes da modelagem. Os valores dos parâmetros utilizados no modelo são expressos da tabela 5

Tabela 5 - Parâmetros utilizados na modelagem.

| Parâmetros da equação de Horton | Data dos eventos Analisados | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 01/10/11 | 25/10/11 | 06/02/12 | 30/09/12 | 04/04/13 | 12/04/13 |
| Fo | 70,35 | 28,95 | 49 | 42,3 | 24,9 | 30 |
| Fb | 1,57 | 1,5 | 0,7 | 0,16 | 0,7 | 0,7 |
| K | 0,27 | 0,16 | 0,21 | 0,14 | 0,12 | 0,16 |

Mediante a comparação dos valores utilizados por Tomaz (2010), com os valores utilizados na modelagem, é possível evidenciar que existe uma coerência entre os valores quando comparados para um solo de classe D. A coerência dos dados utilizados na equação de Horton, indicam que o modelo foi capaz de representar bem a infiltração na estrutura. Porém, o modelo de Horton não considera certos aspectos, um deles é a condição inicial do solo antes do evento, o que pode resultar em alguns erros, decorrentes dessa particularidade.

5.7 Análise qualitativa dos efluentes.

Para expressar os resultados obtidos através da análise dos efluentes, foram utilizados gráficos do tipo boxplot. Esse tipo de gráfico possibilita uma melhor representação e distribuição de um conjunto de dados, com base em alguns de seus parâmetros descritivos. Um dos parâmetros mais importantes é a mediana, pois esta representa 50% do comportamento dos valores analisados juntamente com os quartis Q1 e Q3, para todos os parâmetros. Também permite avaliar a simetria dos dados, além de sua dispersão.

Foram analisados 23 eventos pluviométricos ocorridos no período de 14 de abril a 13 de março de 2013. Após cada evento, foram coletadas amostras do efluente armazenado no sifão, ou trincheira antes (TA), após infiltração na estrutura ou trincheira depois (TD) e da primeira parcela precipitada escoada pelo telhado, o first flush (FF). Foram realizadas 12 coletas do FF com a finalidade de obter o efluente bruto precipitado nos primeiros minutos de cada evento.

A seguir são apresentados os resultados decorrentes das análises dos efluentes TA, TD e FF, monitorados ao longo do período de estudo.

5.7.1 pH (Potencial Hidrogeiônico)

No caso da trincheira, a alteração no pH pode ocorrer pelo contato do efluente com os materiais que compõem a estrutura, assim como, com as substâncias encontradas no solo. A figura 33 expressa os valores do pH para as amostras de TA, TD e FF.

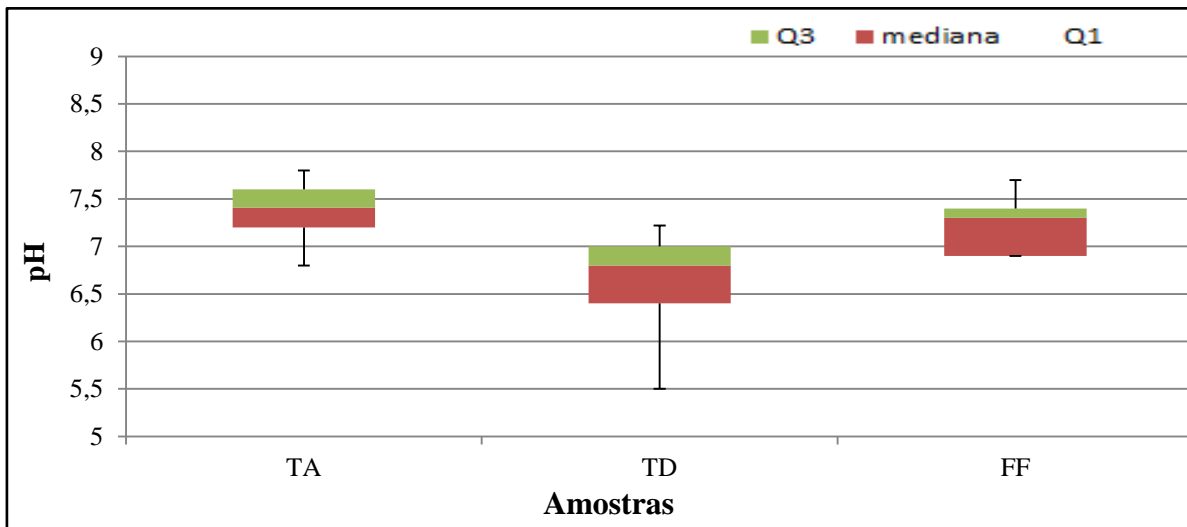


Figura 33 - Valores de pH para amostras analisadas.

Observado os valores medianos para as amostras de TA, é possível perceber que estes ficaram em torno de 7,4, o maior valor observado foi de 7,7 e o menor valor encontrado foi de 6,8. Para as amostras de TD os valores médios ficaram em torno de 6,7 e valores máximos e mínimos 7,3 e 5,5 respectivamente.

As amostras coletadas no FF apresentaram valores medianos semelhantes ao valor encontrado para TA, sendo estes, próximos a 7,3. O valor máximo também foi bem próximo ao encontrado em TA, sendo este, 7,8, já o valor mínimo ficou bem acima dos encontrado em TA e TD, ficando em torno de 6,9.

É possível perceber que houve uma diminuição no pH das amostras de TD, em relação as amostras de TA e FF, porém, diferença não se mostrou significativa. Apesar das amostras de TD apresentarem um valor para pH inferior ao das demais, este valor pode ser considerado uma valor normal, já que com um pH em torno de 7,0 o efluente não apresentaria riscos ao desenvolvimento das plantas, permitindo condições para seu crescimento.

5.7.2 Condutividade elétrica

A trincheira mista é composta por vários materiais que, podem alterar a condutividade do efluente, juntamente com os sais e minerais presentes no solo. Sendo assim, a avaliação da condutividade elétrica dos efluentes escoados até estrutura proporciona uma perspectiva do quando os materiais utilizados em seu preenchimento influenciam na qualidade do efluente. A (Figura 34) expressa os valores de condutividade para as amostras em questão.

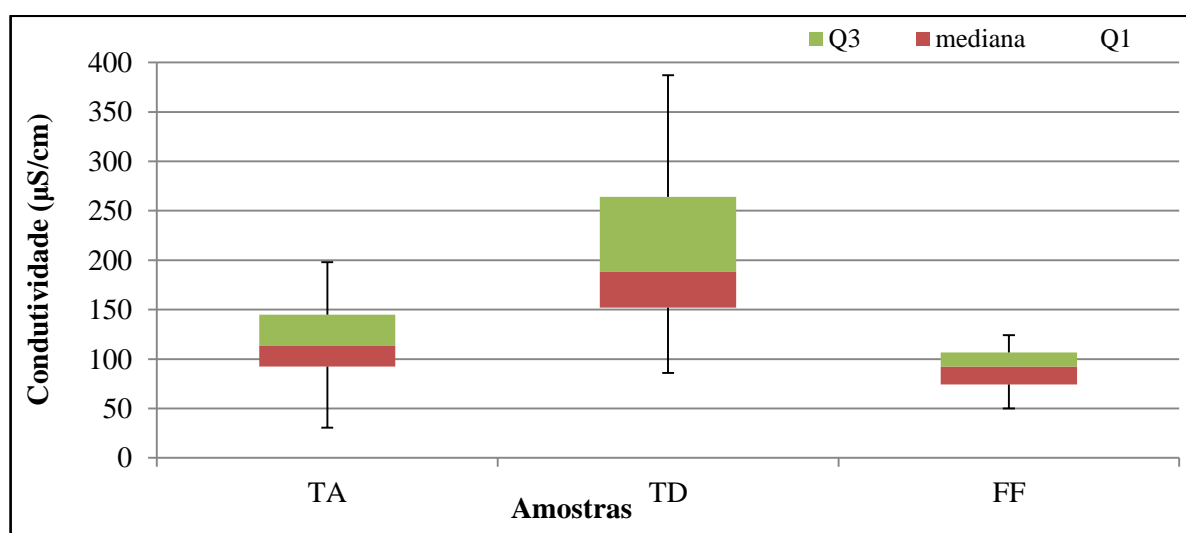


Figura 34 - Valores de condutividade para as amostras analisadas.

Através da análise dos dados para condutividade nas três amostras é possível observar que, os valores de condutividade nas amostras de TD são superiores aos valores nas amostras de TA e FF. O valor mediano encontrado para condutividade nas amostras de TA foi de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esse valor foi superior ao valor médio encontrado nas amostras de FF que foi de 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Assim como o valor máximo encontrado para as amostras de TA, também foi superior ao encontrado nas amostras de FF, sendo estes 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. A ocorrência de valores maiores de condutividade elétrica nas amostras de TA, quando comparadas às amostras de FF, sugere que, o material do qual o telhado é composto pode ser o causador desse aumento. Em algumas amostras recolhidas de TA, foram encontrados

materiais particulados derivados da decomposição do amianto, material que é composto o telhado.

Analisando os resultados das análises do efluente TD, pode-se perceber que, os valores médios de condutividade para esse efluente foram superiores aos valores encontrados nas amostras de TA e FF. O valor mediano encontrado para as amostras de TD foi de 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo seu menor valor 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e seu maior valor 388 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como foi dito anteriormente os valores elevados para condutividade elétrica nas análises do efluente TD sugerem que, além do material particulado derivado do telhado, existe uma colaboração dos materiais utilizados no preenchimento da estrutura para que ocorra esse aumento. Porém, como no caso da trincheira, o efluente será infiltrado no solo e não será reutilizado posteriormente, pode-se dizer que o alto valor da condutividade encontrado para as amostras de TD condizem com o tipo de material que compõem, tanto a estrutura, como o telhado.

5.7.3 Turbidez

A turbidez, no caso da trincheira foi um parâmetro que apresentou uma mudança significativa ao entrar em contato com a estrutura. Uma vez que os finos que compõem a camada superficial do solo e os depositados nos materiais de construção da trincheira são arrastados pela água até a camada inferior, onde é realizada a amostragem. A (Figura 35) expressa os valores de turbidez para cada amostra analisada.

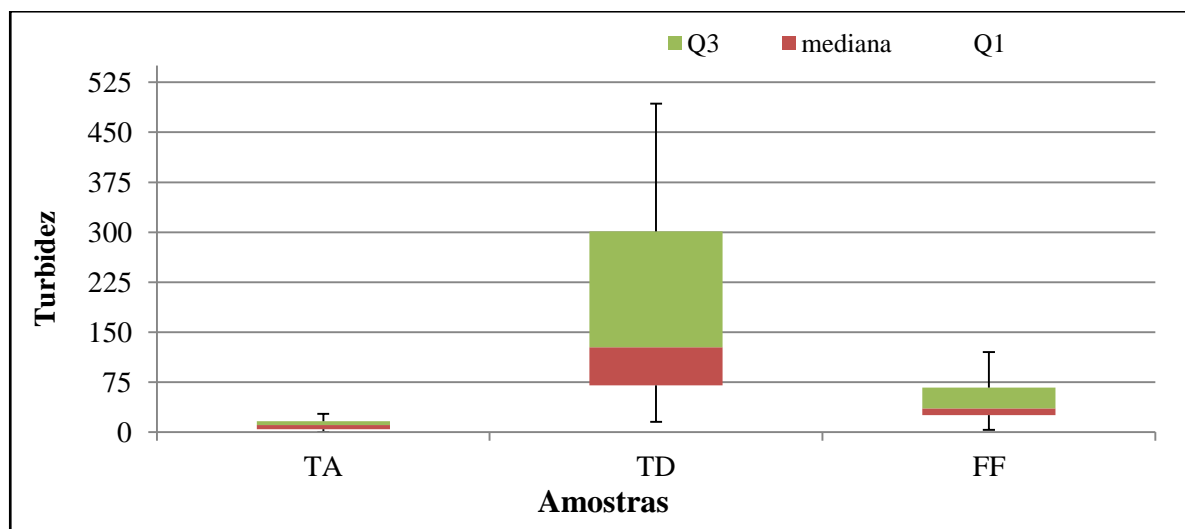


Figura 35 - Valores de turbidez para as amostras analisadas.

Observando os resultados das análises para turbidez nas amostras, é possível perceber que, os valores medianos encontrados nas amostras de TA foram relativamente baixos, sendo estes, próximos a 15 UNT. Seu valor máximo foi de 27,4 UNT, enquanto o valor mínimo observado foi 3 UNT. Como era de se esperar, os valores observados em TA foram inferiores aos encontrados nas amostras de FF.

Os valores medianos, encontrados nas amostras de FF foram próximos à 30 UNT e seus valores máximos e mínimos 120 e 3 UNT respectivamente. O valor elevado para algumas amostras, como já mencionado, é atribuído aos sólidos e materiais particulados dispostos no telhado e escoados até o reservatório durante o evento pluviométrico.

Os valores medianos encontrados nas amostras de TD foram próximos a 144 UNT, e seus valores máximos e mínimos em torno de 493 e 21 UNT respectivamente. Esses valores ficaram bem acima dos valores encontrados nas amostras de TA e FF. Uma das prováveis causas para os altos valores de turbidez nas amostras de TD, além da contribuição da própria estrutura e dos materiais que a preenchem, seria, a maneira com que esse efluente foi coletado. Por exemplo, para a coleta do efluente TD, foi utilizada uma bomba caseira, no entanto, o uso da desta, na hora da coleta, agitava o efluente depositado no fundo da estrutura, fazendo com que, as partículas presentes no efluente se agitassem, resultando em uma amostra com um numero bem maior de sólidos do que o esperado.

Outro aspecto importante é que, nem sempre o nível no interior da trincheira é o mesmo, havendo dias em que o efluente se encontrava mais diluído, e dias em que ocorreria o oposto, fato que, também colabora para a alteração dos valores de turbidez nas amostras de TD. A (Figura 36 a), ilustra uma amostra do efluente TD coletada quando o nível no interior da trincheira relativamente baixo, juntamente com uma amostra de TA (Figura 36 b). É possível observar que, existe um grande número de material particulado na amostra de TD, onde a origem desse material tende a ser do próprio solo mediante a coloração da amostra. Outro fator relevante são os períodos secos que antecedem os eventos. Nesses períodos ocorre um acúmulo maior de substâncias no telhado, conseqüentemente carregados até a estrutura durante um evento pluviométrico, e colaborando assim, para uma turbidez mais elevada.

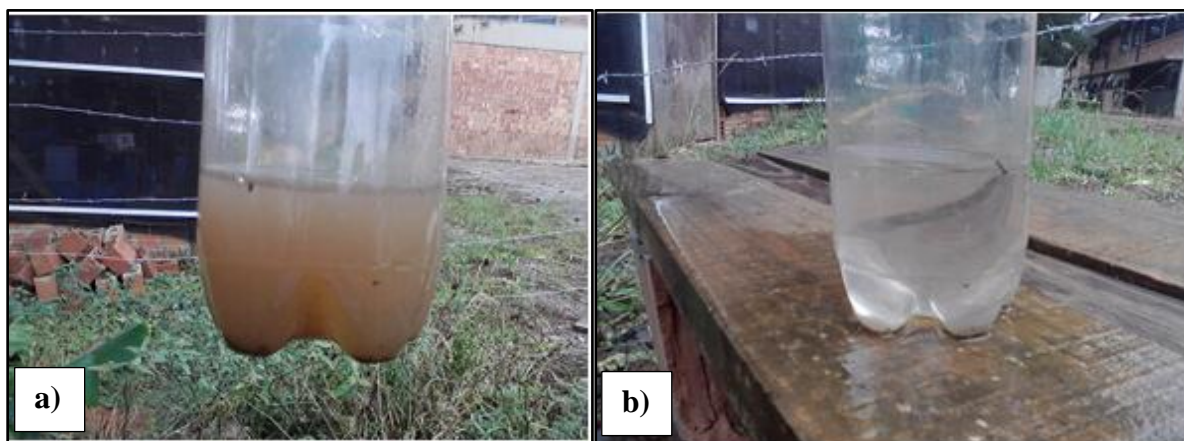


Figura 36 - Amostras de TD e TA em coleta realizada após evento pouco significativo.

5.7.4 Oxigênio Dissolvido

Oxigênio Dissolvido é o principal parâmetro de caracterização de poluentes orgânicos em corpos d'água. Na (Figura 37), são expressos os valores de Oxigênio dissolvido para cada amostra recolhida.

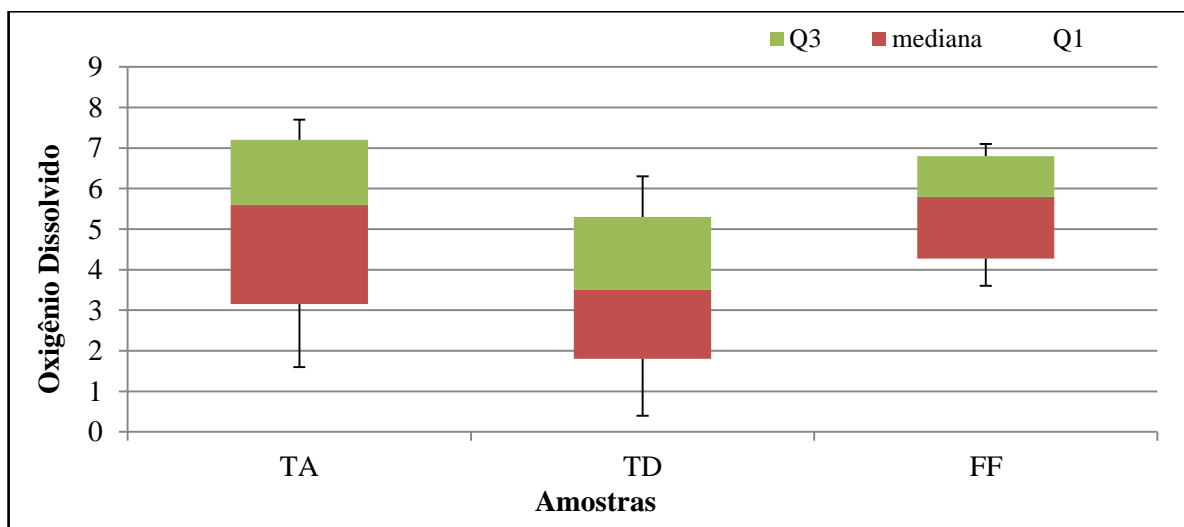


Figura 37 - Concentrações de Oxigênio dissolvido analisados.

O valor mediano observado, para as amostras de TA foi de 5,5 mg/L, enquanto o valor máximo observado, próximo á 7,8 mg/L e mínimo 1,8mg/L. O comportamento das amostras de FF, mostraram-se semelhantes aos resultados obtidos nas amostras de TA, quando observado os seus valores, aproximadamente 5,8 mg/L. No caso dos valores máximos e mínimos 6,7mg/L e 3,7mg/L respectivamente houve uma diferença, porém, pouco significativa.

Quando observado os valores medianos para TD, é possível perceber uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, quando comparado com as amostras de TA e FF, sendo o valor médio encontrado para TD próximo a 3,5 mg/L e seus valores máximos e mínimos 6,4mg/L e 0,4mg/L. A redução da concentração de oxigênio dissolvido nas amostras recolhidas do interior da trincheira, deve-se ao fato de que, o efluente fica armazenado nas camadas inferiores da estrutura, onde a presença de oxigênio é inferior, se comparada á superfície.

5.7.5 Temperatura

A Temperatura é uma medida da intensidade de calor, temperaturas elevadas têm como consequência o aumento nas velocidades das reações físicas, químicas e biológicas, além da diminuição de solubilidade dos gases como, por exemplo, o oxigênio dissolvido. No caso da trincheira, além de interferir na concentração de oxigênio dissolvido, a temperatura pode alterar as condições para a formação do biofilme microbiano, assim como no desenvolvimento das plantas, que por vez, auxiliam no tratamento dos efluentes. Na (Figura 38) são apresentados os valores de temperatura para cada amostra.

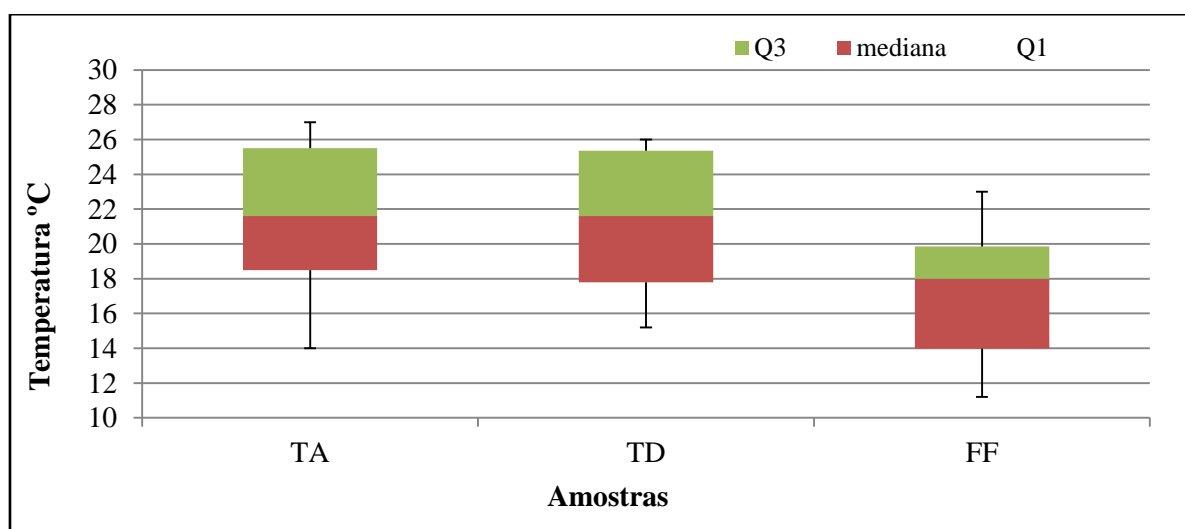


Figura 38 - Valores de Temperatura analisados.

A Temperatura foi o parâmetro que menos variou na comparação das amostras de TA, TD e FF. Os valores medianos para as amostras de TA observadas foram próximos a 22 °C, já seu o valor máximo, ficou em torno dos 27 °C e o valor mínimo 14.5 °C. Os resultados para as amostras de TD foram bem parecidos, sendo os valores médios, próximos a 20°C e valores máximos e mínimos, 25°C e 15,5 °C respectivamente. Para os valores observados nas amostras de FF, o resultado foi um pouco diferente, sendo os valores médios em FF próximos a 18°C e seus valores máximos e mínimos 22°C e 13°C respectivamente.

Não foram encontradas especificações sobre valores de temperatura nas legislações utilizadas para este estudo. Porém, é importante ressaltar que, nos meses mais quentes, quando a temperatura ambiente chega aos 30°C, os valores monitorados para o efluente TD tentem a ser mais elevados. O inverso disso ocorre nos meses mais frios do ano, quando as temperaturas chegam a ser inferiores á 10 °C. Por outro lado, o que se pode observar é que, independente das condições climáticas externas, a trincheira não altera a temperatura em seu funcionamento.

5.7.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5)

A DBO5 é um parâmetro importante a ser analisado, tendo em vista que, o telhado usado como área impermeável possui uma concentração de matéria orgânica relativamente alta, resultante da deposição de folhas secas, material particulado e principalmente fezes de pássaros e morcegos, que após a “lavagem” do telhado são encaminhados até a trincheira. A (Figura 39) expressa os valores de DBO5 encontrados nas amostras de TA, TD e FF.

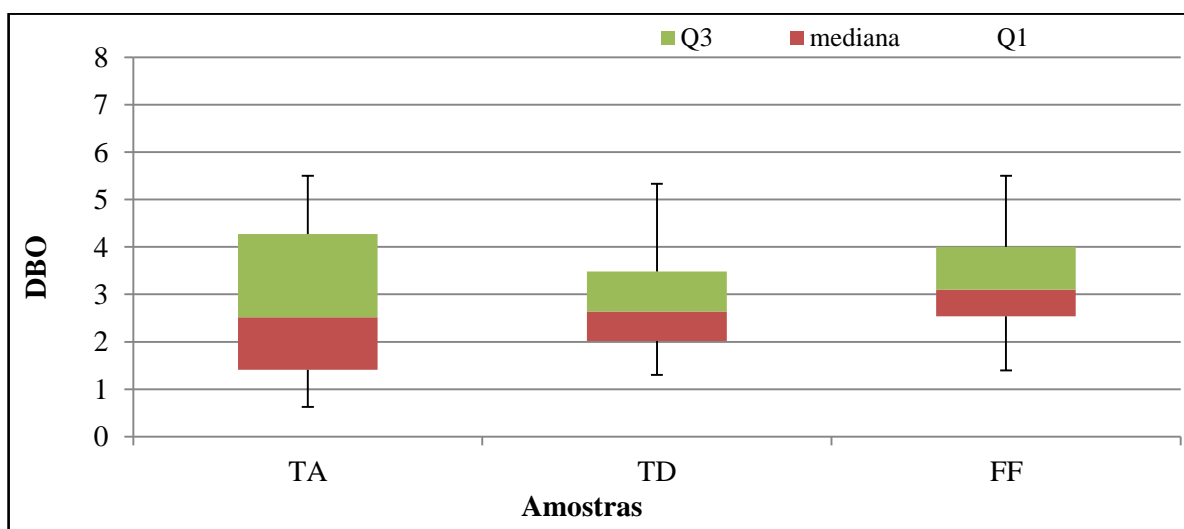


Figura 39 - Valores de DBO para amostras analisadas.

Os valores medianos encontrados para TA, TD e FF não se diferenciaram muito. Para TA, o valor mediano foi de 2,5 mg/L, os valores máximos e mínimos encontrados foram respectivamente 5,5 mg/L e 0,8 mg/L. Para as amostras de TD, o valor mediano encontrado foi de 2,7 mg/l, o valor máximo encontrado foi de 5.3 mg/L e o valor mínimo 1,3mg/L. Já nas amostras de FF o valor médio foi de 3,3 mg/l e valores máximos e mínimos 5,3 mg/L e 1,2 mg/L respectivamente.

Analisando o comportamento das amostras para DBO5, pode-se observar que, houve uma redução da concentração média desse parâmetro, quando comparadas as amostras de FF com TD. A ocorrência dessa diminuição, mesmo que pequena, sugere que a estrutura, apesar do contato direto com o solo, e de ser preenchida com materiais que poderiam alterar esses valores, se mostra eficiente quanto à remoção da matéria orgânica dos efluentes para ela escoados.

Dessa forma, pode-se dizer que, se o solo, como meio filtrante, é capaz de atender a demanda de um efluente com concentrações relativamente maiores, resultando num tratamento ainda mais eficaz após infiltração total do efluente no solo.

5.7.7 Coliformes totais

Os coliformes totais indicam as condições higiênicas, e podem estar presentes inclusive em águas e solos não contaminados. No caso da trincheira, é importante a avaliação dos coliformes totais, já que a água da chuva escoada pelo telhado acaba carreando boa parte dos coliformes presentes no mesmo até a estrutura. A (Figura 40) ilustra os valores resultantes das análises nas amostras de TA, TD e FF.

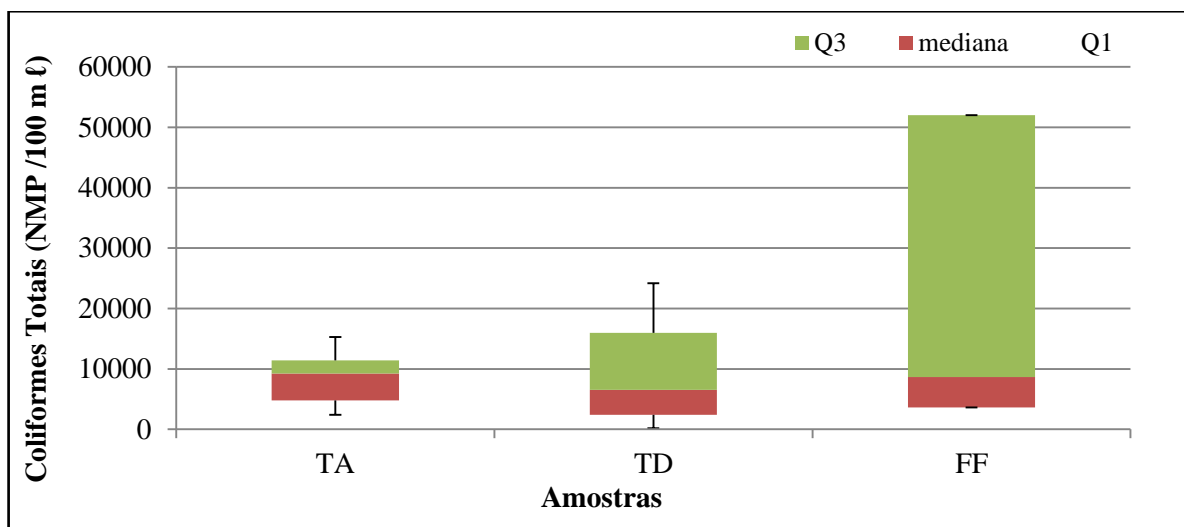


Figura 40 - Valores de Coliformes Totais analisados.

Observando os valores medianos para as amostras de TA, verifica-se que, estes ficam em torno de 9,800 NMP /100 m ℓ, e seus valores máximos e mínimos 15,000 NMP /100 m ℓ e 5,000 NMP /100 m ℓ respectivamente. O valor médio observado, para as amostras e TD, ficou em torno de 6000 NMP /100 m ℓ enquanto seu valor máximo foi 2500 NMP /100 m ℓ e mínimo próximo à zero.

Para as amostras de FF, os valores médios ficaram muito próximos do valor encontrado nas amostras de TA, cerca de 9,000NMP/100m ℓ, enquanto os valores máximos e mínimos foram respectivamente 50,000 NMP /100 m ℓ e 5000 NMP /100 mℓ. Pode-se assim, observar uma redução na concentração dos coliformes totais, comparando os valores de TD com as amostras de TA e FF.

5.7.8 Coliforme termotolerantes

Na trincheira, é importante avaliar a concentração de coliformes termotolerantes, pois o telhado apresentar uma alta concentração de poluentes orgânicos, dentre eles, fezes de animais, morcegos entre outros. Na (Figura 41) são expressos os valores de coliformes termotolerantes nas amostras de TA, TD e FF.

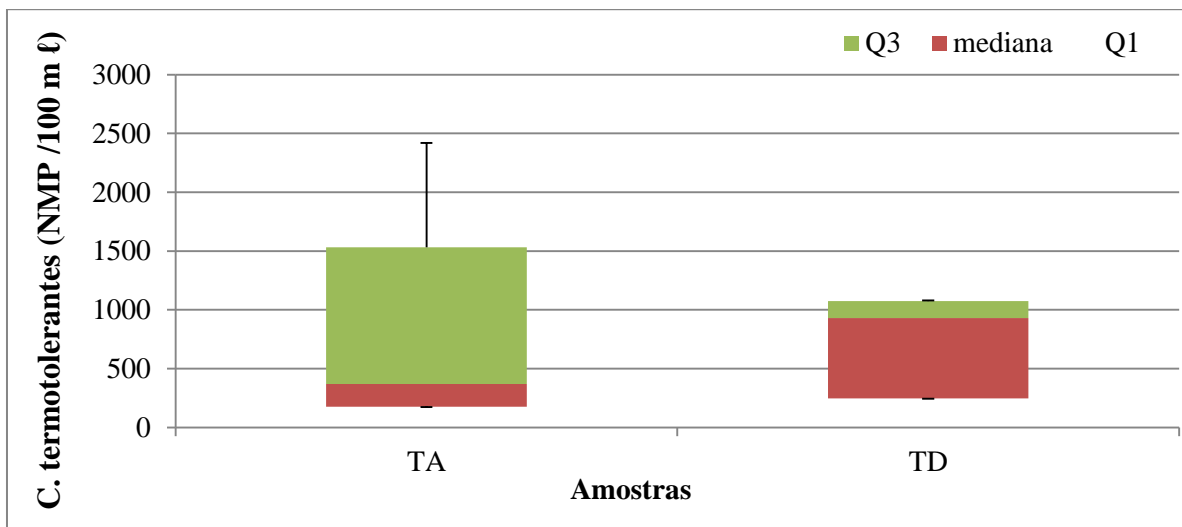


Figura 41 - Valores para Coliformes termotolerantes analisados.

O valor mediano encontrado nas amostras de TA foi de 250 NMP /100 ml, enquanto os valores máximos e mínimos foram respectivamente 2,300 NMP /100 ml e 200 NMP /100 ml. Para as amostras analisadas em TD, o valor mediano encontrado foi cerca de 900 NMP /100 ml e seus valores mínimos e máximos 1000 NMP /100 ml e 300 NMP /100 respectivamente.

Analisando os valores das duas amostras, foi possível verificar a presença de contaminação biológica, e pode-se perceber que, o resultado das amostras de TA e TD mostraram diferentes comportamentos, ao longo do experimento, sendo que na entrada TA observa-se uma variação em torno da mediana e no TD uma baixa variação, porém não foi observada a remoção destes organismos junto à trincheira.

5.7.9 Sólidos Totais

Como a trincheira é uma estrutura escavada no solo, a análise dos sólidos totais suspensos se faz importante, pois, os resultados obtidos nessa avaliação podem interferir em outros parâmetros, tais como, turbidez, condutividade, DBO5 e Oxigênio dissolvido assim como, o aumento dos sólidos totais suspensos podem contribuir para o processo de

colmatação da estrutura Na (Figura 42) são expressos os valores dos resultados das análises nas amostras de TA e TD.

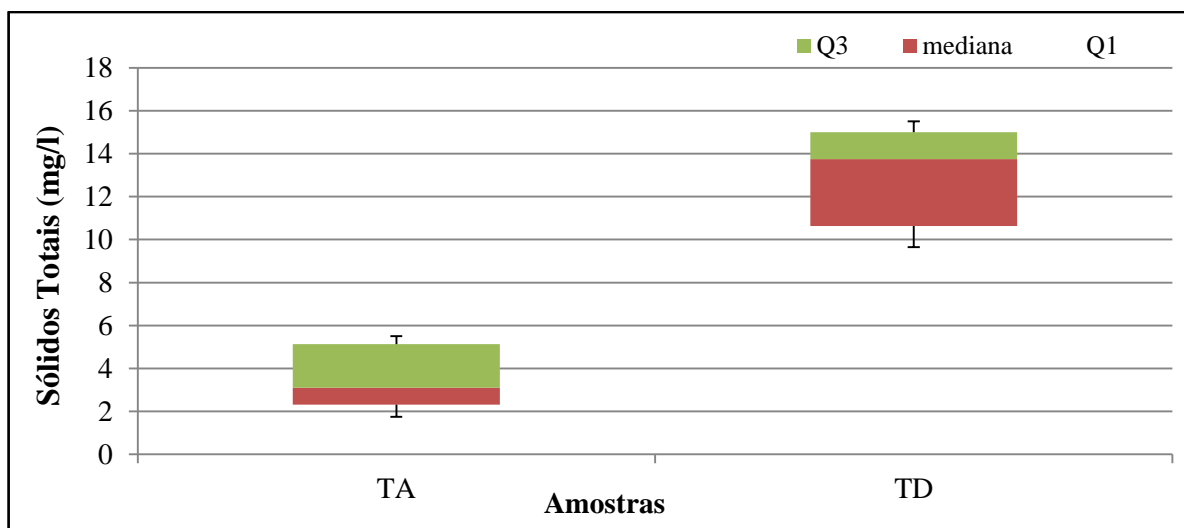


Figura 42 - Concentração de Sólidos totais, TA e TD.

Observando os valores obtidos nas amostras de TA, percebe-se que, os valores medianos para TA ficaram próximos a 2,5 mg/L, enquanto o valor máximo observado foi de aproximadamente 5,3 mg/L e o valor mínimo de 1,9 mg/L. Para as amostras analisadas de TD os valores médios tiveram um aumento significativo, quando comparado com os valores medianos obtidos em TA. Os valores médios encontrados nas amostras de TD foram próximos a 13,8 mg/L, e seus valores máximos e mínimos 15,4 mg/L e 9,8 mg/L respectivamente.

Através da comparação entre as duas amostras, é possível relatar que, a quantidade de sólidos totais aumentou significativamente em relação a TA, fato que se deve ao tipo de material utilizado na estrutura e até mesmo pela desagregação do solo no interior da trincheira e também ao modo de coleta, neste caso com a bomba caseira.

5.7.10 Sólidos suspensos

Na trincheira, a presença um número elevado de sólidos suspensos, pode contribuir para alteração em vários dos parâmetros analisados, além de, colaborarem para a colmatação da estrutura Na (Figura 43) são expostos os valores para a análise dos sólidos suspensos na estrutura.

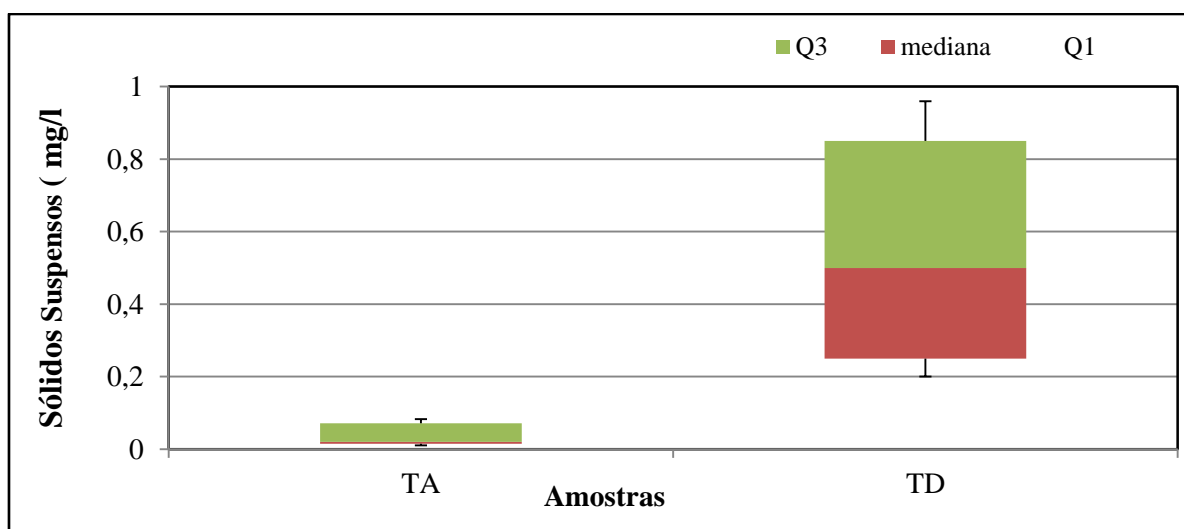


Figura 43 - Concentrações para sólidos suspensos analisados.

Analisando a figura 43 é possível observar que, os valores medianos encontrados nas amostras de TA foram próximos a 0,03 mg/L, e seus valores máximos e mínimos 0,01 mg/L e 0,05 mg/L respectivamente. Os valor médio encontrado nas amostras de TD, ficou bem acima do valor encontrado para as amostras de TA, sendo estes próximos a 0,5 mg/L, com um valor máximo de 0,97 mg/l, e mínimo de 0,2 mg/L.

5.8 Avaliação do desenvolvimento das plantas

A avaliação do desenvolvimento, e resistência ao intemperismo das plantas utilizadas na trincheira, foi realizada através da observação visual destas em diferentes épocas do monitoramento. A trincheira foi construída nos meses iniciais de 2011, sendo realizada nesta fase do monitoramento a escolha das plantas a serem utilizadas no experimento. A tabela 6 ilustra as espécies vegetais utilizadas para este estudo.

Tabela 6 - Espécies vegetais utilizadas no estudo.

| Espécie Vegetal | Data do plantio | Tamanho das mudas |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Bananeira | 09/02/2011 | 50 cm |
| Taioba | 10/02/2011 | 30 cm |
| Inhame | 07/03/2012 | Broto |
| Canna paniculata | 08/03/2012 | 30 cm |
| Nabo forrageiro | 09/02/2011 | Broto |

O monitoramento das espécies vegetais teve início, a partir da data de seu plantio, as plantas foram observadas quase que diariamente, independente da ocorrência de eventos pluviométricos. É importante ressaltar que, não foi necessária em momento algum a rega das plantas, um fator que pode ter contribuído para isso, é que, mesmo quando a estrutura não apresenta nível algum registrado, o solo no fundo juntamente com a câmara formada por pneus, proporcionaram as condições necessárias de umidade para que as plantas pudessem se desenvolver.

Na (Figura 44 a), é possível visualizar o plantio das primeiras mudas de bananeira, realizado na segunda semana de fevereiro de 2011, enquanto na (Figura 48 b), mudas de nabo forrageiro.

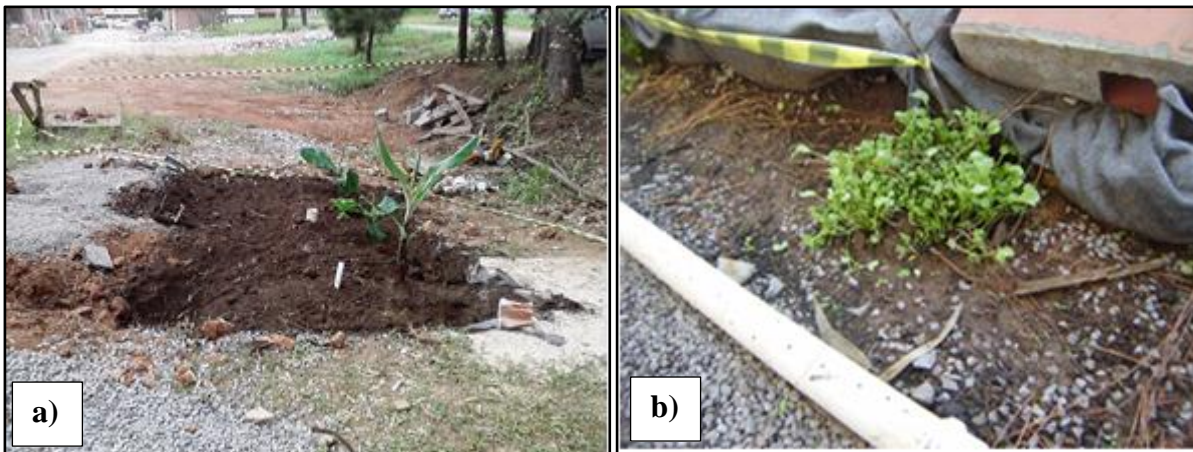


Figura 44 - a) Primeiro plantio das mudas na trincheira. b) Mudas de nabo forrageiro.

Nesta etapa, foram plantadas três mudas de Bananeira (*Musa velutina*) com aproximadamente 50 cm cada, três mudas de taioba aproximadamente 30 cm (*Xanthosoma sagittifolium*) e algumas mudas de nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) Este último, não resistiu às baixas temperaturas dos meses mais frios como, junho e julho, assim como, as geadas ocorridas nesse período. No caso das bananeiras e taiobas, apesar das condições climáticas adversas, tais como, altas e baixas temperaturas durante o ano, falta d'água em alguns períodos, entre outras, apresentaram uma boa tolerância, tanto nos dias onde não havia água no interior da estrutura, quanto em dias onde houve ocorrência de geadas. Na (Figura 45 a) e b), é possível observar que, a vegetação secundária não resistiu aos períodos onde não houve precipitação na trincheira. Porém, voltaram a crescer após eventos pluviométricos e melhores condições climáticas. As mudas de bananeiras e taiobas apresentaram queimaduras na região folhar, decorrentes das baixas temperaturas, mas resistiram bem aos períodos secos.



Figura 45 - a) e b) Espécies plantadas na trincheira expostas ao intemperismo.

Em outro período do monitoramento, foram plantadas mais três espécies vegetais na trincheira, são elas: *Canna paniculata* (gênero *Canna*), inhame (gênero *Alocasia*). As mudas de inhame foram plantadas quando ainda eram brotos, enquanto para o plantio da *Canna paniculata*, foram adotadas mudas jovens com um tamanho aproximado de 30 cm do caule até a área folhar. A (Figura 46 a e b), ilustra a trincheira já com todas as espécies plantadas, em épocas diferentes do monitoramento, onde, também é possível observar o crescimento avançado das bananeiras e taiobas.

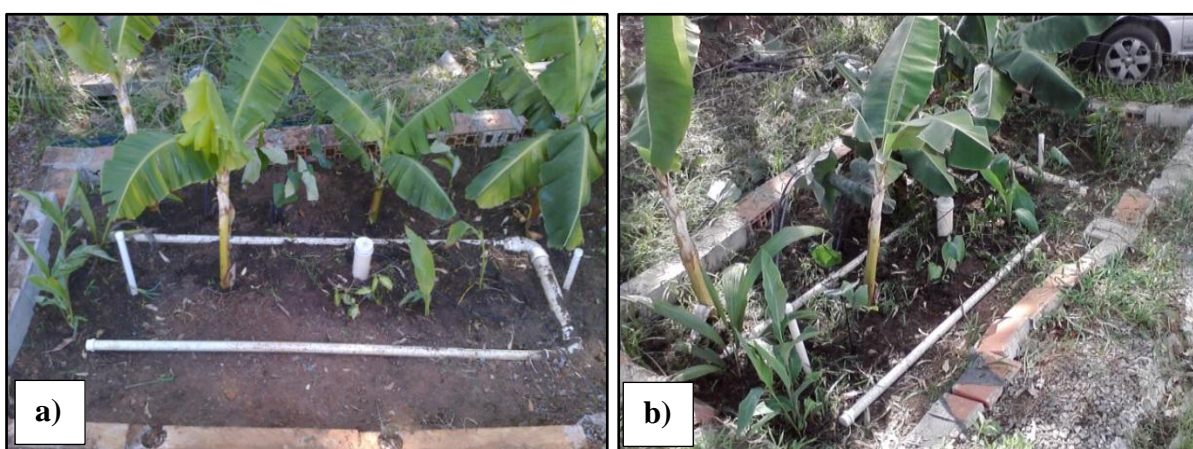


Figura 46 - a) e b) Trincheira com todas as espécies plantadas.

Após o plantio das mudas na trincheira, existiu o questionamento a respeito das raízes das plantas em questão, terem capacidade de se desenvolver a ponto de, “procurar” água nos níveis subsequentes da trincheira. Como na trincheira a camada de substrato é relativamente pequena (30 cm), e o nível no interior da estrutura varia muito com o passar dos dias, isso faz com que as plantas tendam a “procurar” água por interceptação radicular, ou seja, a raiz cresce em direção onde há umidade. Para essa avaliação, foi utilizado um modelo em acrílico da trincheira em escala menor construído por (Ferrão et al., 2012). A estrutura de acrílico possui as mesmas características físicas (preenchimento e espécies vegetais) que a trincheira em tamanho real, inclusive nos materiais, o que se difere são as dimensões e o fato da mesma ser impermeável. Como a estrutura foi construída em acrílico, foi possível a visualização das raízes das plantas buscando água nos níveis inferiores da trincheira.

A (Figura 47 a) ilustra a estrutura em acrílico enquanto a (Figura 47 b), o crescimento das raízes, buscando água nas camadas inferiores da trincheira em acrílico (destacado em amarelo).

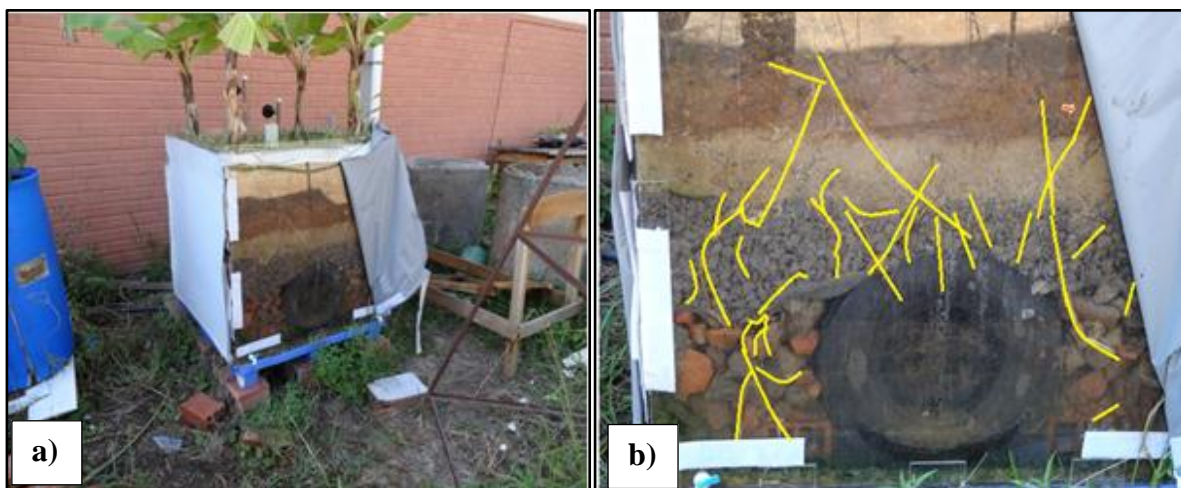


Figura 47 - a) Trincheira em acrílico. b) Desenvolvimento das raízes das plantas.

A trincheira em acrílico foi construída entre os meses de março e abril de 2012, tendo esta, pouco mais de um ano de funcionamento. Dessa forma, como a trincheira em tamanho real foi construída nos meses iniciais de 2011, e por ter um tempo de funcionamento bem maior, pode se dizer que, o crescimento das raízes observado no modelo em acrílico, também está ocorrendo na trincheira em tamanho real. Tal comparação foi comprovada após a verificação do crescimento das raízes através de uma abertura feita em um dos lados da trincheira mista.

Em determinadas épocas do monitoramento, foi detectada a presença de possíveis pragas na área folhar de algumas plantas. Foi observado que, nas folhas das espécies *Canna paniculata* e bananeira, houve o surgimento de orifícios, oriundos da alimentação de lagartas ou até mesmo de formigas. Porém, apesar do ocorrido, as plantas se mostraram resistentes às pragas, tendo sua área folhar recuperada em algumas semanas. Por fim, a (Figura 48 a) e b) datada de 25/04/2013 ilustra a trincheira mista após dois anos e meio de monitoramento.

Nessa fase, é possível visualizar que as plantas utilizadas no experimento continuaram a se desenvolver. As mudas de bananeira atingiram uma altura que varia de 1,80m á 2,30m

de altura. As mudas de taioba atingiram uma altura de aproximadamente 1m, enquanto nos inhames as alturas atingidas foram de 30 à 50 cm.



Figura 48 - a) b) Registro final das plantas utilizadas na trincheira.

Dessa forma, fica evidente o próspero desenvolvimento das espécies vegetais citadas acima, sendo estas, boas alternativas para o emprego nesse tipo de estrutura. É importante ressaltar que o comportamento das espécies citadas anteriormente está diretamente ligado às características climáticas do município, assim como as particularidades do solo onde foi realizado o experimento.

Tabela 7 - Períodos monitorados onde não houve precipitação.

| Ano | 2011 | 2012 | 2013 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Tempo de Monitoramento (dias) | 182 | 115 | 90 |
| Período sem precipitação (dias) | 101 | 61 | 59 |
| Percentual de dias sem precipitação | 55.49% | 53.04% | 65.56% |

Analisando os dados da tabela 7, é possível verificar que, para cada ano, o percentual de dias onde não houve nenhum evento pluviométrico, representa mais da metade dos dias

monitorados, ou seja, ocorreram mais períodos secos do que eventos pluviométricos. Esse fato ressalta a boa adaptação das plantas em resistirem a condições climáticas da região onde foi realizado o estudo.

5.9 Análise colimétrica das plantas

Para a análise de colimétrica nas plantas, foram recolhidas amostras de duas espécies plantadas em locais diferentes na trincheira. As amostras foram lavadas com água destilada e encaminhadas ao laboratório. A análise da presença de coliformes nas plantas utilizadas na trincheira é de suma importância, pois uma vez que, os frutos não apresentem contaminação, possibilitaria sua utilização para fins comestíveis, no caso da banana, assim como, na fabricação de café, que pode ser feita através da secagem e moedura do broto do inhame. A (Figura 49) ilustra as plantas coletadas para análise.



Figura 49 - Amostras das plantas recolhidas para análise colimétrica.

Foram analisadas amostras do interior e do talo da bananeira, que é por onde passa a seiva que alimenta a planta, assim como, do broto do inhame. Após a avaliação dos resultados

referentes à análise microbiológica (colimétrica), é possível verificar que, houve ausência de coliformes totais, coliformes termotolerantes assim como *E.colli*, nas amostras do caule da bananeira. Esse resultado indica que, no futuro, os frutos provindos das mudas de bananeira plantadas na trincheira poderão ser ingeridos com segurança. O resultado se repetiu na análise do broto do inhame, sendo detectada a ausência de coliformes totais, termotolerantes e *E colli*.

Através da análise colimétrica realizada nas amostras das plantas utilizadas na trincheira, foi possível concluir que, não houve contaminação por coliformes totais, termotolerantes, assim como *E colli* em nenhuma amostra recolhida.

6 CONCLUSÃO

A trincheira mista demonstrou ser uma boa alternativa para o controle na fonte dos volumes escoados pela área de captação (telhado), funcionando melhor que o esperado para o controle quantitativo. Com relação à colmatação, os resultados indicam que, houve sim colmatação na estrutura, indicando uma vida útil muito menor que a estimada inicialmente em 10 anos.

Assim, as premissas de dimensionamento, muito conservadoras provavelmente causaram uma superestimava das dimensões da trincheira, sendo necessária a avaliação de novas metodologias para seu dimensionamento, e a inclusão de algum tipo de filtro de finos para aumentar a vida útil da estrutura.

A avaliação qualitativa mostrou que a camada superior não tem capacidade suficiente para filtrar o efluente nos padrões requeridos, cabendo analisar a capacidade do solo em melhorar a qualidade do mesmo.

Outro aspecto importante, é que, a trincheira mista ainda é uma solução que permite o desenvolvimento de plantas, sendo estas ornamentais ou utilizadas para o consumo humano, além de não necessitar de adubação nem irrigação constante. Através da análise colimétrica, foi possível comprovar que, as plantas não apresentaram contaminação por coliformes totais e termotolerantes, assim como, *E coli*.

7 RECOMENDAÇÕES SOBRE A TRINCHEIRA MISTA

A partir da experiência adquirida durante o experimento são indicadas algumas recomendações para o cuidado da estrutura.

Deve ser feita uma limpeza regular na trincheira, com a finalidade de remover plantas daninhas ou qualquer tipo de objeto que esteja sobre a estrutura. Porém, é aconselhável a não remoção da cobertura vegetal “morta”, pois esta atua como proteção para o solo na ocorrência de precipitação.

A bomba projetada para a coleta do efluente no interior da trincheira (TD) apresenta certa desvantagem, já que esta acaba por agitar o efluente a cada sucção alterando assim, o valor de alguns parâmetros. Tendo conhecimento desta desvantagem apresentada pela bomba, aconselhasse a criação de outro método para que o efluente TD possa ser coletado.

O sistema de drenos, que conduz o efluente escoado do telhado e o distribui na trincheira, apresentou entupimento no decorrer do monitoramento. Aconselha-se o uso de tubos de maior diâmetro para essa função, ou até mesmo, outra forma de conduzir o efluente do telhado até a trincheira.

Testar e desenvolver novas metodologias de dimensionamento.

Realizar ensaio destrutivo para verificar canais preferenciais e possíveis raízes de outras espécies, tais como, os eucaliptos.

Verificar contaminação nas camadas de solo abaixo da trincheira.

Avaliar outros materiais utilizados no preenchimento da estrutura.

Avaliar possível contaminação introduzida pelos próprios pneus.

Avaliar outros parâmetros, assim como, metais pesados, Fosfatos, Nitratos, etc.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água, fatos e tendências. Brasília: ANA CEBDS, 2005. 31 p.**

(APHA), **Methods for the Microbiological of Foods – American Public Health Association**

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. 2000. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V5, n3, p. 21-30, jul/set.**

ARIAS, C. A; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales. **Revista Ciência e Ingeniería Neogranadina, Bogotá, Colombia. v.13, p. 17-24, 2003.**

ARGUE, J. R. 1999. An exploration of some "myths" about infiltration systems in source control technology. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 8., 1999, Sydney. Proceedings. Sydney. p.563-570.**

ASCE. (1992). Design and construction of stormwater management systems. **The urban water resources research council of the American Society of Civil Engineers (ASCE) and the Water Environmental Federation. New York, NY.**

BALADES, J. D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P., 1998. Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, 3., 1998, Lyon. Novatech 1998. Lyon: GRAIE. p.551-558.**

BARRAUD, S. (Coord.). 2000. **Amélioration des méthodes d'aide à la décision en matière de stratégies d'infiltration en vue de cerner les conditions de développement d'un service durable de l'assainissement: rapport final.** Lyon: Institut National des Sciences Appliquées. 109f.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. -L.; LAPLACE, D.; JOANNIS, C.; CHEBBO, G. 2000. Mesures en Hydrologie Urbaine et assainissement. Paris: Lavoisier. 794p.

BETTES, Roger. 1996. Infiltration drainage: manual of good practice. Longon: CIRIA. 107p. (Construction Industry Research and Information Association. Report 156).

CARAMORI VBS. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial . **Tese de Doutorado (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2002.**

CHARACKLIS, W. G. and Marshall, K. C. (1990). “Biofilms: A Basis for an Interdisciplinary Approach”. *In*: Characklis, W. G., Marshall, K. C. eds. *Biofilms*. **New York: John Wiley and Sons, Inc**, 3-15.

CHARACKLIS, W. G. and Cooksey, K. E. (1983). “Biofilms and Microbial Fouling”. **Adv. Appl. Microbiol.**, **29**, 93-138.

CHARACKLIS, W. G. and Wilderer, P. A. (1989). “Structure and Function of Biofilms”. **John Wiley & Sons, Chichester.**

CHEBBO, G. 1992. Solides des rejets pluviaux urbains caracterisation et traitabilité. 413P. **Tese (Doutorado) – Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.**

CIRIA. (1996). Infiltration drainage - Manual of good practice. Roger Bettes Bsc PhD **MCIWEM. CIRIA Report 156.**

COOMBES, P.J.; KUCZERA, G.; KALMA, J.D.; ARGUE, J.R. “An evaluation of the benefits of source control measures at the regional scale”. **Urban Water**. 4:307-320. 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições

e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 274, de 29 de novembro de 2000. Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. 1998. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V.3, n.4, p.19-31, out/dez.**

DAEE / CETESB – Drenagem Urbana, **Manual de Projeto, 2 Edição, agosto de 1980, São Paulo.**

DISCOVERY, Channel. **As Sete Maravilhas da Antiguidade. 2009.** Disponível em: <<http://discoverydocs.net/2010/01/download-the-history-channel-as-sete-maravilhas-da-antiguidade-dublado/>>. Acesso em: 29 jun. 2011.

DUCHENE, M.; MCBEAN, E.; E THOMSON, N. (1994). Modeling of infiltration from trenches for storm water control, **Journal of Waters Resources Planning and Management**, v. 120, n. 3. P 276-293.

ELLIS, J. B.; HVITED-JACOBSEN, T. Urban drainage impacts on receiving waters. **Journal of Hydraulic Research**. Vol. 34. n°6 pp.771-784, 1996.

EPA (1999) **Storm Water Technology Fact Sheet**, United States Environmental Protection Agency.

EPA (2000) Introduction to Phytoremediation. **United States Environmental Protection Agency.**

FACCO, R.; Nascimento, V.B.; Werlang, M. K. VARIABILIDADE DE TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS EM SANTA MARIA/RS NO PERÍODO DE 2004/2011. **Revista Geonorte, Edição Especial**, V.2, N.4, p.1103 – 1110, 2012.

FERRÃO, M. S.; DANIEL JR. J.J; BREDAS, C. B.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R; WOLFF, D. B. Construção de um Modelo Físico de Avaliação de Funcionamento de Trincheiras de Evapotranspiração, **26º Jornada Acadêmica integrada, Universidade Federal de Santa Maria** – RS. 2012.

FUJITA, S. 1996. Measures to promote stormwater infiltration. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE**, 7, 1996, Hannover. Proceedings.

GAUTIER, A. 1998. Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain. 251p. Tese (Doutorado) – **Institut National des Sciences Appliquées de Lyon**.

GALBIATI, A. F. 2009. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. **Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia**. Programa de pós-graduação em tecnologias ambientais Campo Grande, MS, 38 f.

GÖTEBORG. Proceedings. Göteborg: **Chalmers University of Technology**. V.3, p.1037-1046.

GRACIOSA, M. C. P, MENDIONDO, E. M. ,CHAUDHRY, F. H. (2008). Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.2 Abr/Jun 2008, 207-214**.

GRACIOSA, M. C. P. ,MENDIONDO, E. M. ,CHAUDHRY, F. H. (2008). Simulação Hidráulica de Trincheiras de Infiltração de Águas Pluviais **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.2 Abr/Jun 2008, 89-99**

HAGEMANN, S. E. 2009. Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. **Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Santa Maria – RS.**

HABERL, R. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 3, p.1-17, 1999.

HASEGAWA, T.; NAKANISHI, M.; FUJIURA, S. 1999. Evaluation method of storm water infiltration system. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 8., 1999, Sydney**. Proceedings. Sydney. p.1927-1934.

IDE, C. N.; DE LUCA, S. J. 1985. Qualidade da drenagem pluvial urbana. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6., 1985, São Paulo**. Anais. São Paulo. ABRH. V.3. p.135-141.

IBGE (2010) **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>

IPEA, 2002. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2001**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS. Programa de Modernização do Setor de Saneamento PMSS

JONASSON, S. A., 1984. Dimensioning Methods for Stormwater Infiltration Systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 3., 1984,**

KADLEC, R. H. & KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**. Lewis Publishers. 1995. 893p.

KLOSS, C.; CALARUSSE, C. “Rooftops to rivers: Green strategies for controlling Stormwater and combined sewer overflows”. **Natural Resources Defense Council**. vi [47]f. 2006.

KÖPPEN, apud Ayoade.(1986)- **Introdução a Climatologia dos Trópicos. São Paulo: Difel. 1986.**

LARSSON S (2003) **Short-rotation Willow Biomass Plantations Irrigated and Fertilised .**

LEEFLANG, M.; MONSTER, N.; VAN DE VEN, F. 1998. Design graphs for stormwater infiltration facilities. **Hydrological Sciences Journal, Wallingford, V.43, n.2, p.173-180, Apr.**

Lindsey, G., L. Roberts, and W. Page, 1991. *Storm Water Management Infiltration.*
Maryland Department of the Environment, Sediment and Storm Water Administration.

LID. Low Impact Development Design Guidance Manual (2008)

MORAIS, S.M. Diagnóstico quantitativos mínimo de ambiência para o manejo integrado da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, município de Santa Maria – RS. 1997.135f.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

McCUEEN, R.H. Hydrologic Analysis and Design . **Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 1989.**

NASCIMENTO, N. O., BAPTISTA, M. B., SOUZA, V. C. B., 1997. Sistema “HIDROURB” para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana: parte 1 conceitos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória.** Anais. São Paulo: ABRH. V.3, p.669-676.

PERSCH, C. G.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G. P.; SALLES, L. S. (2011). “Avaliação do comportamento de um telhado verde sob Condições climáticas subtropicais/” in Anais **XIX Simpósio Brasileiro de recursos hídricos. Maceió – AL. 2011.**

PHILIPPI, A. JR; MALHEIROS, T. F. Controle de qualidade do ar. In: PHILIPPI, A. JR. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.**

PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem urbana.** Porto Alegre: **ABRH**: Ed. da Universidade/UFRGS. Cap.7, p.277-347.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. Low-Impact Development Design Strategies: **An Integrated Design Approach. Maryland, 1999.** Disponível em: < <http://www.lowimpactdevelopment.org>. Acesso em: março de 2012.

REIS, Ricardo Prado Abreu ; OLIVEIRA, Lúcia Helena de ; SALES, Maurício Martines . Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Revista Ambiente Construído** (Online), v. 8, p. 99-117, 2008.

SCHUELER, T.R. Controlling Urban Runoff: **A Practical Manual for Planning and Design.**

SILVA, C.E. Degradação da qualidade da água no meio urbano. **XII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Figueira da Foz, Portugal, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. 1999. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. In: **Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 13., 2001, Belo Horizonte.** Anais. [Porto Alegre]: ABRH. 1 CD.

SOUTHEASTERN WISCONSIN REGIONAL PLANNING COMMISSION (SEWRPC), 1991. **Costs of Urban Nonpoint Source Water Pollution Control Measures.** Technical Report No. 31.

SPANGENBERG, (2004). Jörg. **Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais – Estudo de caso** Disponível em: < [http:// www.basis id.de /science/01 _ Spangenberg IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20ETROPOLIS.pdf](http://www.basis-id.de/science/01_Spangenberg_IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20ETROPOLIS.pdf)>

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 21th ed. American Public Health Association/ American Works Association/Water Environment Federation. Washington DC, USA. 2004.

TABUADA, M. A., REGO, Z. J. C., VACHAUD, G. E PEREIRA, L. S. (1995). Two-dimensional infiltration under furrow irrigation: modelling, its validation and applications. **Agricultural Water Management**, vol. 27, n.º 8-9, p. 105-123.

TAVANTI, D.R. (2009) Desenvolvimento urbano de Baixo Impacto aplicado ao processo de planejamento urbano. Dissertação de Mestrado. São Carlos: UFSCar.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. 1995. Controle do impacto da urbanização. In TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH: Ed.da Universidade/UFRGS. Cap.7, p.277-347.

TUCCI, C. E. M. (2002). Gerenciamento de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre**, V. 7, n. 1, p. 5-27.

TOMAS. P., (2010). Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais Capítulo 86- Infiltração Método de Horton Eng Plínio Tomaz 30/10/2010

UESPA. Wastewater technology fact wetlands: subsurface flow, Washington – EUA office of water, 2000. 9p.

UCKER, F, 2011. Eficiência do capim vetiver (vetiveria zizanioides) no tratamento de esgoto sanitário. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

URBONAS, B. STAHR, P. Stormwater : Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. **PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs**, New Jersey, USA, 1993.

VALENTIM, M. A. A., Uso de leitos cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado. Dissertação (Mestrado) - Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1999. 199p

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, R. M.; MATOS, J. S.; BARBOSA, A.E. Controlo da Poluição de Escorrências Pluviais de Vias Rápidas em Portugal. In: **CONGRESSO DA AGUA**, 6., 2002, Porto. Porto: APRH, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais**, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuais, v. 1).

WEF-WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal. **Public Water Environment Federation**. Alexandria, USA, 1994.

WEF-WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Natural Systems for Wastewater Treatment. **Public Water Environment Federation**. Alexandria, USA. 1990.

YAMADA, K. 1993. Infiltration pitch for individual houses to mitigate storm water impact. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 6., 1993, Niagara Falls. Proceedings. Niagara Falls. p.110-114.

ZANELA, L.; NOUR, E. A.A. ; CAMARGO, S.A.R.; Plantas Ornamentais no pós tratamento de efluentes sanitários: wetlands construídos utilizando brita e bambu. Tese de doutorado Luciano Zanella, Universidade Estadual de Campinas 2008.