

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TIEMY FRANCHINI

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE TRINCHEIRA DE
INFILTRAÇÃO E TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM USO DE
GARRAFA PET**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

TIEMY FRANCHINI

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE TRINCHEIRA DE
INFILTRAÇÃO E TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM USO DE GARRAFA
PET.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer.

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO
E TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM USO DE GARRAFA PET**

por
Tiemy Franchini

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11h10min do dia 23 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer
(UTFPR)
Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Paula Cristina de Souza
(UTFPR)

Prof. Dr. Eudes José Arantes
(UTFPR)

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**
Coordenador do Curso de Engenharia Civil:
Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

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

Resumo

FRANCHINI, Tiemy. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO E TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM O USO DE PET.** 2017. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2017.

O presente trabalho tem como objetivo comparar trincheira de infiltração convencional e trincheira de infiltração com o uso de garrafa PET, e analisar o desempenho de cada sistema. Foram escavadas duas trincheiras com dimensões de 0,6 metro de profundidade, 0,3 metro de largura e 0,7 metro de comprimento e também, seus respectivos poços de coleta. Impermeabilizaram-se as áreas de contribuição, assim como as laterais das trincheiras. A primeira trincheira foi preenchida com areia e brita. A segunda trincheira foi preenchida com areia, brita e garrafas PET. Foram realizadas 5 simulações de chuva com durações diferentes, em ambas as áreas de contribuição com a vazão controlada de 2,7 litros/minutos. Com isso, foram calculados os volumes retidos em cada trincheira, subtraindo do volume de entrada, o volume presente no poço de coleta. Os resultados mostraram que a trincheira com o uso de garrafa PET teve maior armazenamento de água, mostrando-se mais eficiente que a trincheira convencional, porém, a trincheira com o uso de PET necessita de mais manutenção quando comparada com a trincheira convencional.

Palavras – chave: drenagem, trincheira, PET.

Abstract

FRANCHINI, Tiemy. **COMPARATIVE STUDY BETWEEN AN INFILTRATION TRENCH AND AN INFILTRATION TRENCH CONTAINING PET BOTTLES.** . 2017. 44 p. Final Paper (Bachelor of Civil Engineering). Federal Technological University of Paraná –Campo Mourão Campus. Campo Mourão, 2017.

The present work has as objective to compare a conventional infiltration trench with an infiltration trench containing PET bottles, and analyze the performance of each system. Two trenches measuring 0.6 meter deep, 0.3 meter wide and 0.7 meter long were excavated, as well as their respective collection wells. The contribution areas were waterproofed, as were the sides of the trenches. The first trench was filled with sand and gravel. The second trench was filled with sand, gravel and PET bottles. Five rain simulations with different durations were carried out in both contribution areas with controlled flow of 2.7 liters / minute. Following these procedures, the retained water volumes in each trench were calculated, subtracting the present volume in the collection well from the inlet volume. The results of this study showed that the trench containing PET bottles had higher water retention, being more efficient than the conventional trench; however, the trench containing PET requires more maintenance when compared to the conventional trench.

Key Words: drainage, trench, PET bottles

Lista de figuras

Figura 1: Ciclo hidrológico	13
Figura 2: Taxa e infiltração acumulada ao longo do tempo	15
Figura 3: Interceptação vegetal	16
Figura 4: Hidrograma de áreas urbanizadas	17
Figura 5: Planta trincheiras de infiltrações	23
Figura 6: Corte da trincheira de infiltração convencional.....	23
Figura 7: Garrafas PET cortadas e acopladas.	24
Figura 8: Garrafa com fundo furado á quente.	25
Figura 9: Planta baixa da trincheira de infiltração com garrafa PET.....	26
Figura 10: Corte da trincheira de infiltração com uso de garrafa PET.....	26
Figura 11: Irrigador.....	27
Figura 12: Hidrômetro com registro de esfera.....	27
Figura 13: Trincheira de infiltração com simulação de chuva.....	30
Figura 14: Trincheira no início do transbordo.....	30
Figura 15: Gráfico de variação de temperatura do ar.....	31
Figura 16: Gráfico de variação da umidade relativa do ar.....	31
Figura 17: Gráfico da ocorrência de chuvas.....	32
Figura 18: a) Escavação da trincheira convencional com uso de escavadeira. b) Regularização da trincheira convencional com o uso de pá. c) Trincheira convencional escavada e com solo nivelado. d) Impermeabilização da área de contribuição das trincheiras. e) Impermeabilização das laterais da trincheira com lona plástica.....	42
Figura 19: a) Revestimento da trincheira convencional com areia. b) Preenchimento da trincheira convencional com brita.	43
Figura 20: a) Revestimento da trincheira com uso de garrafa PET com areia. b) Garrafas PET posicionadas dentro da trincheira. c) Manta geotêxtil cobrindo todas as garrafas PET. d) Preenchimento da trincheira com uso de garrafa PET com brita.....	44

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estudo do acréscimo da vazão de pico devido à impermeabilização do solo.	18
Tabela 2: Vantagens e desvantagens apresentadas mediante a utilização de trincheira de infiltração.	20
Tabela 3: Dados e resultados do 1º Experimento.	32
Tabela 4: Dados e resultados do 2º Experimento.	33
Tabela 5: Dados e resultados do 3º Experimento.	33
Tabela 6: Dados e resultados do 4º Experimento.	34
Tabela 7: Dados e resultados do 5º Experimento.	35

SUMÁRIO



UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	3
1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 CICLO HIDROLÓGICO	13
4.2 BALANÇO HIDROLÓGICO	13
4.2.1 Precipitação	13
4.2.1.1 Intensidade de Chuvas	14
4.2.2 Evapotranspiração	14
4.2.3 Infiltração	14
4.2.3.1 Taxa de infiltração e capacidade de infiltração	15
4.2.3.2 Porosidade	15
4.2.3.3 Tipos e uso do solo	15
4.2.4 Escoamento superficial	16
4.2.4.1 Tempo de concentração	17
4.3 DRENAGEM URBANA	17
4.3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	18
4.3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NÃO CONVENCINAIS	18
4.3.2.1 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO	19
4.4 POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)	20
5 MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DAS TRINCHEIRAS	21

5.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO	21
5.2.1 Dimensões das trincheiras de infiltração	21
5.2.2 Montagem das trincheiras	21
a) Escavação do solo com as dimensões das trincheiras;	21
b) Escavação dos poços de coleta do volume não infiltrado;	22
5.2.3 Preenchimento da trincheira convencional.....	22
5.2.4 Preenchimento da trincheira com uso de garrafa PET	23
5.3 SIMULAÇÃO DE CHUVA.....	26
5.3.1 Intensidade da chuva	28
5.3.2 Vazão	28
5.3.2.1 Método Racional.....	28
5.5 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INFILTRADO	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
6.1 ENSAIOS EXPERIMENTAIS	31
6.1.1 1º Experimento.....	32
6.1.2 2º Experimento.....	33
6.1.3 3º Experimento.....	33
6.1.4 4º Experimento.....	34
6.1.5 5º Experimento.....	34
7 CONCLUSÕES.....	37
8 REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O grande crescimento de centros urbanos, traz como consequência uma série de impactos ambientais, como o desequilíbrio do balanço hídrico. Com o aumento das áreas de superfície impermeabilizadas, diminuem-se os pontos de infiltração de água, o que aumenta o escoamento superficial, podendo levar a enchentes.

Com os acontecimentos de chuvas de grande intensidade, o sistema convencional de drenagem urbana pode não suportar a vazão de escoamento nos pontos de descarga. O que pode se agravar com impermeabilização de áreas sem planejamento, e o entupimento de redes de drenagem, causados por entulhos descartados incorretamente. Devido a tais acontecimentos podem ocorrer enchentes, que invadem casas de moradores e trazem riscos à saúde pública.

Segundo Poletto (2011) “Um dos grandes problemas verificados nas bacias hidrográficas urbanas brasileiras se refere à quantidade de resíduos sólidos, esgoto doméstico e sedimentos que são lançados aos rios e corpos d’águas que drenam essas bacias”.

Para minimizar os problemas com drenagem urbana, utiliza-se de sistemas não convencionais, para que aumente o tempo de concentração, e com isso, diminua a vazão de pico.

Dentre estes sistemas não convencionais será realizado um estudo sobre as trincheiras de infiltração. São dispositivos de controle de escoamento que captam, armazenam e infiltram parte do escoamento superficial, reduzindo então, o volume de água que chega até as galerias. (LIMA, V.C.G. DA R ,2009).

Com o intuito de reutilizar a garrafa PET, para a diminuição dos entulhos descartados de forma incorreta, tem sido proposta a utilização da garrafa para compor o preenchimento da trincheira de infiltração, o que contribui para amenizar o problema ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar a eficiência entre trincheira de infiltração e trincheira de infiltração com o uso de garrafa PET na cidade de Ilha Solteira – SP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados do método de execução da trincheira de infiltração com, e sem utilização de garrafas PET;
- Montagem da trincheira de infiltração convencional;
- Montagem da trincheira de infiltração com uso de garrafa PET;
- Determinar o volume infiltrado nos dois sistemas;
- Avaliar os resultados obtidos e comparar a eficiência dos dois sistemas.

3 JUSTIFICATIVA

Devido ao crescimento de áreas urbanas, há conseqüentemente o aumento de áreas impermeabilizadas, causando um aumento do escoamento superficial, e devido as obras para adequação do sistema de drenagem muitas vezes serem inviáveis, há a necessidade do uso de sistemas de drenagem não convencionais.

O sistema sustentável de drenagem urbana, de trincheiras de infiltração, é uma alternativa não convencional que pode auxiliar o sistema convencional de drenagem urbana, que visa aumentar a infiltração de água no solo, diminuindo assim o escoamento superficial, para amenizar os riscos de enchentes.

A reutilização de garrafas PET na construção civil pode se configurar num importante canal para a diminuição de sólidos urbanos, que são descartados incorretamente e, muitas vezes, podem se tornar o motivo do bloqueio dos sistemas de drenagem urbana.

Desta forma, o presente trabalho visa comparar a eficiência do sistema de trincheiras sem a utilização de garrafas PET, com o mesmo sistema com o uso de garrafa PET, na cidade de Ilha Solteira, São Paulo, para analisar se há viabilidade do uso deste novo sistema.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico consiste em movimentos e transformações da água em seus diversos estados físicos. Segundo Paschoal (2012), o vapor resultante de oceanos é transportado com o movimento das massas de ar, e sob determinadas condições, ele se condensa, onde há a formação de nuvens, que por sua vez podem resultar em precipitação. Esta precipitação pode ocorrer em forma de chuva, neve ou granizo, e então, uma maior parcela fica retida nas proximidades de onde ocorreu a precipitação, que, retorna a atmosfera por meio da evaporação e transpiração das plantas. Uma outra parcela de água precipitada escoar sobre a superfície até os lençóis d'água, ou infiltra no solo abastecendo o lençol freático e artesiano.



Figura 1: Ciclo hidrológico

Fonte: Faria 2007.

4.2 BALANÇO HIDROLÓGICO

4.2.1 Precipitação

A precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são diferentes formas de precipitações (TUCCI, 2007)

As maneiras mais comuns de medir a precipitação são através do uso de pluviômetros e pluviógrafos (SANTOS *et al*, 2001).

4.2.1.1 Intensidade de Chuvas

Segundo Fritsch (2013), a intensidade média de precipitação é obtida através de um levantamento de dados de estações pluviométricas da região, da intensidade de chuva, frequência e duração. Com isso observa-se um intervalo de tempo para um período de retorno, o que resulta no valor médio da chuva. Pode-se também obter a intensidade da chuva por meio de equações empíricas.

4.2.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração é considerada como o processo de água perdida em uma bacia, devido à evaporação de uma superfície saturada, transpiração da vegetação ou a umidade do solo (POMPÊO, 1990).

4.2.3 Infiltração

O conceito de infiltração é extremamente intuitivo e nada mais é que a penetração da água nos poros do solo através da sua superfície, ou seja, a entrada de água se dá através da interface solo-atmosfera (LIBARDI, 1995).

A infiltração pode ser definida como a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presente no seu interior (TUCCI, 2007).

Silveira *et al*; (2004), afirmam que a infiltração da água na superfície ocorre das camadas superiores do solo, até as mais profundas, o que faz que a umidade do solo seja aumentada no mesmo sentido. Normalmente precipitações naturais não são suficientes para saturar todo o solo, saturando então somente a superfície.

4.2.3.1 Taxa de infiltração e capacidade de infiltração

Horton (1933) fala que a taxa de infiltração da precipitação que alcança a superfície do solo, diminui com o tempo, e que para um certo solo, há uma curva limite, que define as taxas de infiltração *versus* o tempo.

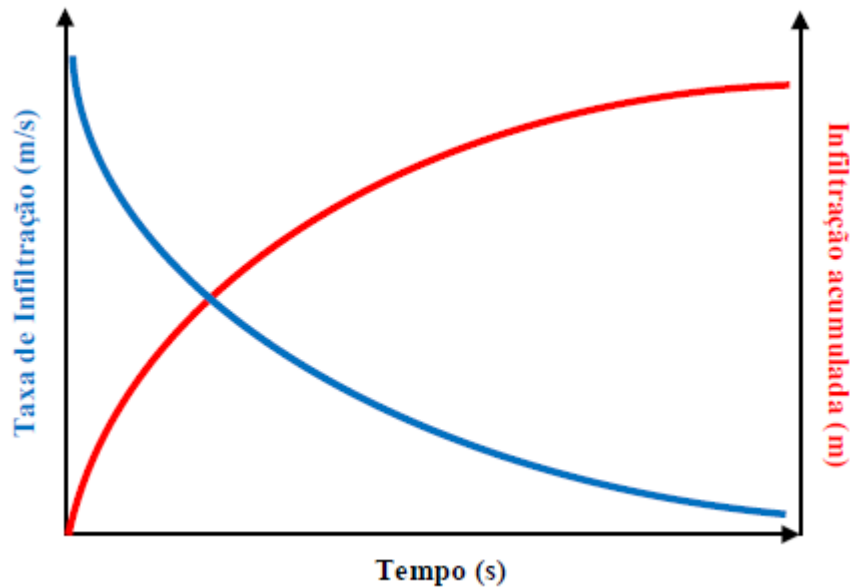


Figura 2: Taxa e infiltração acumulada ao longo do tempo

Fonte: SILVA, J.P. (2012).

4.2.3.2 Porosidade

A porosidade do solo, corresponde a espaços vazios no solo, é o volume do solo que não está sendo ocupado por partículas sólidas.

4.2.3.3 Tipos e uso do solo

A infiltração da água no solo pode variar devido ao tipo de solo, e também ao uso e manejo do solo. Outra variável é o tipo de solo, este, tem influência expressiva sob a quantidade de água infiltrada. Normalmente a capacidade de infiltração de um solo com cobertura natural vegetal é alta, o que produz pequeno

escoamento superficial, principalmente em florestas. Devido a ocupação do solo, com estradas, caminhos para gado, urbanização, a infiltração de água no solo é reduzida, devida a compactação do solo, ou até mesmo a impermeabilização.

4.2.4 Escoamento superficial

A água precipitada, pode cair em copas de árvores, e vegetação, podendo sofrer evapotranspiração, ou cair diretamente no solo, podendo infiltrar. A água que não sofre evapotranspiração e não infiltra, tende a escoar no solo, para o lençol d'água.

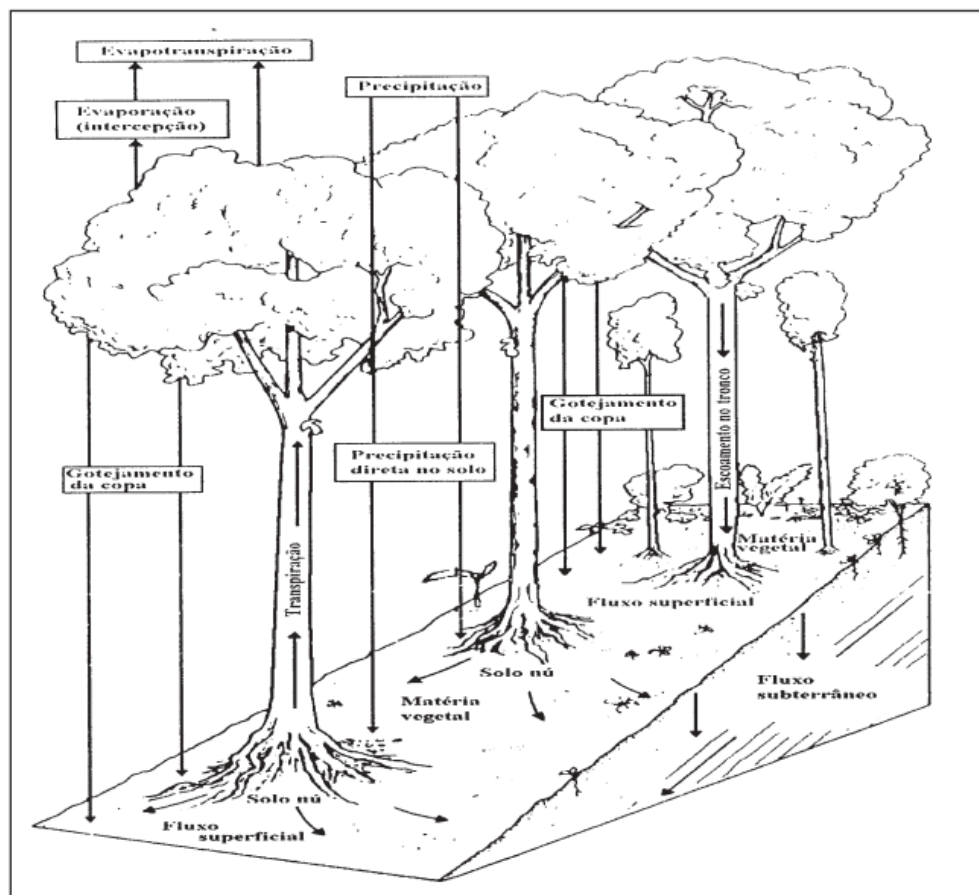


Figura 3: Interceptação vegetal

Fonte: Bruijnzeel, (1990)

Segundo TUCCI (2007), o escoamento superficial é a parte do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia. Quando a bacia é rural

e possui cobertura vegetal, o escoamento na superfície sofre a influência desta cobertura e grande parte da água infiltra.

4.2.4.1 Tempo de concentração

Segundo WILKEN (1978), tempo de concentração é o tempo que leva uma gota d'água teórica para cair no ponto mais afastado da bacia até a seção de controle.

O tempo de concentração de uma bacia, pode variar devido a declividade da área, a permeabilidade da bacia, condições do solo ao início da precipitação.

Com o aumento da permeabilização do solo de áreas urbanizadas, aumenta-se o escoamento superficial, o que pode ser a causa de inundações e enchentes, por diminuir o tempo de concentração da água.

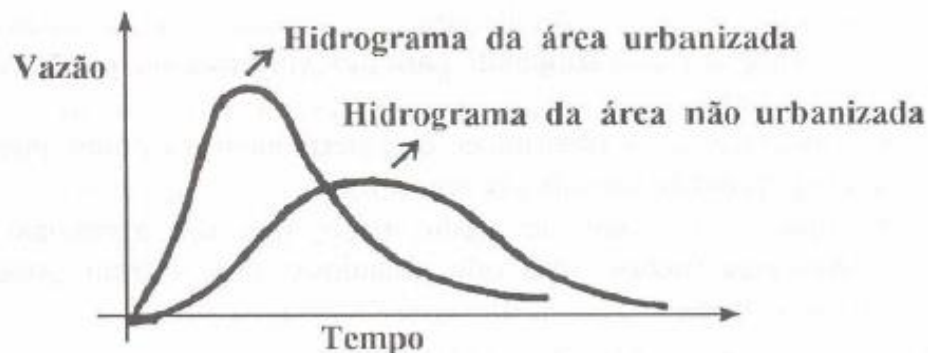


Figura 4: Hidrograma de áreas urbanizadas

Fonte: Tucci (1995)

4.3 DRENAGEM URBANA

Antigamente a drenagem urbana tinha como objetivo a remoção de águas pluviais através de sistemas simples e instantâneos, que buscavam diminuir os riscos de doenças que poderiam ser causadas pela água parada por entre a cidade.

Baptista (2005) diz que o sistema de drenagem atual, foi desenvolvido seguindo a mesma ideia, sendo composto basicamente por sarjetas, que conduzem a água até a boca de lobo, que então captam a água que vai pelos condutos para galerias ou canais abertos.

Atualmente, tem se observado, que o sistema de drenagem convencional, que retira e conduz a água para determinados locais, por muitas vezes, esta transferindo o ponto de alagamento, exigindo mais gastos com o projeto.

4.3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

O grande crescimento populacional, e a desenfreada ocupação do solo, agravam deficiências de centros urbanos, pois muitas vezes essa ocupação não é planejada. Uma grande área é impermeabilizada, o que modifica o ciclo hidrológico do local, causando danos a drenagem urbana.

Para Silva (2007), com a impermeabilização do solo, diminui-se a infiltração de água em toda a área, e com isso, aumenta a vazão de água escoada, diminuindo o tempo de concentração, e com isso, a vazão de pico aumenta. Com isso o sistema de drenagem, torna-se insuficiente para suportar grandes precipitações. O que pode ter como consequência inundações, e causar danos e riscos à saúde pública.

Tabela 1: Estudo do acréscimo da vazão de pico devido à impermeabilização do solo.

País	Autor	Ano	Vazão de Pico em Relação à Vazão Natural
África do Sul	Braune e Wood	1999	3 a 4 vezes
Brasil	Silveira	1999	6 vezes
Estados Unidos	Roesner et al.	2001	2 ou mais vezes

Fonte: Silva (2012).

4.3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NÃO CONVENCINAIS

Os sistemas alternativos buscam compensar e neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos através do controle dos excedentes hídricos e da minimização da transferência rápida para jusante. (LIMA, 2009)

De acordo com Ribeiro (2014), as medidas de controle tomadas para reduzir o impacto das mudanças de quantidade e qualidade do escoamento superficial por mudanças do uso do solo, visam a redução do volume de escoamento das águas pluviais, os fluxos de pico, e minimizar os danos causados pela drenagem não

eficaz, através da evapotranspiração, infiltração, retenção ou ações químicas e biológicas.

Existem dois tipos de sistemas de drenagem não convencionais, que são, sistemas de retenção de água, e os sistemas de infiltração de água.

Os sistemas de retenção de água, tem como intuito armazenar o excesso de água, por um determinado tempo, diminuindo assim, a vazão de pico e aumentando o tempo de concentração. São alguns exemplos deste sistema:

- Micro reservatório
- Reservatório de águas pluviais (piscininha)
- Bacias de contenção
- Bacias de retenção
- Telhados verde

O sistema de infiltração de água tem como princípio a infiltração e percolação de água no solo, trazendo com isso a diminuição da vazão de pico e também da água escoada no sistema de drenagem convencional. São alguns exemplos deste sistema:

- Trincheiras de infiltração
- Vala de infiltração
- Poço de infiltração
- Pavimentos permeáveis
- Bacias de percolação
- Jardim de chuva

4.3.2.1 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

Segundo Lima (2009), Trincheiras de infiltração são dispositivos de controle para o escoamento na fonte, com objetivo de armazenar e infiltrar parte do escoamento superficial gerado dentro do lote, diminuindo assim o volume da água que chega até as galerias.

As trincheiras de infiltração são dispositivos lineares que apresentam largura e profundidade reduzias em contraposição às dimensões longitudinais. São constituídos por valetas preenchidas ou não por material granular graúdo (seixo rolado, brita, etc.) com porosidade e torno de 30 a 40%. No fundo, nos lados e na superfície acima do material de preenchimento são dispostos manta de geotêxtil com o objetivo de impedir a entrada de material fino na estrutura, diminuindo o risco de colmatação (obstrução por material fino) precoce e podendo ainda trabalhar como filtro

anticontaminante. Sua alimentação pode ser efetuada diretamente ou através de tubulação perfurada implantada ao longo de seu comprimento. (LIMA, 2009, p. 35)

A tabela 2 mostra vantagens e desvantagens do uso da trincheira de infiltração.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens apresentadas mediante a utilização de trincheira de infiltração.

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das vazões de pico de escoamento a jusante; • Ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações a jusante; • Baixo custo; • Redução dos riscos de inundação; • Fácil construção; • Boa integração no meio urbano; • Recarga do aquífero subterrâneo;
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de colmatção; • Limitações no caso de declividade longitudinal superior a 5%; • Manutenção regular; • Risco de poluição do lençol subterrâneo;

Fonte: Azzout et al.³ (1994 apud Souza, 2002, p.15).

4.4 POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)

Para Santos (2007) o PET é uma resina com uma das maiores taxas de crescimento em aplicação como material, isso por que tem ótimas propriedades, como elevada resistência mecânica, barreira a gases, e é um material reciclável.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DAS TRINCHEIRAS

O modelo de trincheira foi executado na cidade de Ilha Solteira, que de acordo com Miranda *et al.* (2005), trata-se de um município de área total de 661,3 km² e desse total 5,8167 km² compõem a área urbana. Segundo MILITÃO (2013), o clima predominante no município é do tipo Aw (Köppen), onde ocorrem temperaturas elevadas, com chuva no verão e seca no inverno, e apresenta índice pluviométrico de 1300 mm anuais.

O solo presente na área de estudo, segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (2008) é o Latossolo Vermelho Distrófico A moderado de textura argilosa, de relevo plano e suave ondulado (LV39).

5.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

5.2.1 Dimensões das trincheiras de infiltração

As trincheiras executadas neste estudo, tiveram dimensões de 0,6 metro de profundidade, 0,3 metro de largura, e 0,7 metro de comprimento, proporcionalmente calculados com base no trabalho de Silva (2007).

5.2.2 Montagem das trincheiras

Para a montagem das trincheiras foram realizados os seguintes passos:

- a) Escavação do solo com as dimensões das trincheiras;

Foram realizadas as escavações do solo com dimensões de 0,6 metro de profundidade, 0,3 metro de largura, e 0,7 metro de comprimento, com o uso de uma

cavadeira e pá para regularizar. Para maior precisão foi utilizado um gabarito feito de madeira para marcar as dimensões.

- b) Escavação dos poços de coleta do volume não infiltrado;

Foram realizadas as escavações dos poços de coleta, impermeabilizando o fundo e as paredes dos mesmos com lona plástica.

- c) Impermeabilização das áreas de contribuição e das laterais das trincheiras;

A impermeabilização consistiu em cobrir toda a área de contribuição com lona plástica, assim como as laterais da trincheira. Foi necessário o uso de madeiras ao redor da área de contribuição devido ao vento.

No apêndice A encontram-se fotos do procedimento de montagem das trincheiras.

5.2.3 Preenchimento da trincheira convencional

- a) Revestimento do fundo da trincheira com areia, com altura de 0,05 metro;
- b) Preenchimento da trincheira com brita, com altura de 0,55 metro;

Nas figuras 5 e 6 estão apresentados a planta e o corte, respectivamente, da trincheira convencional.

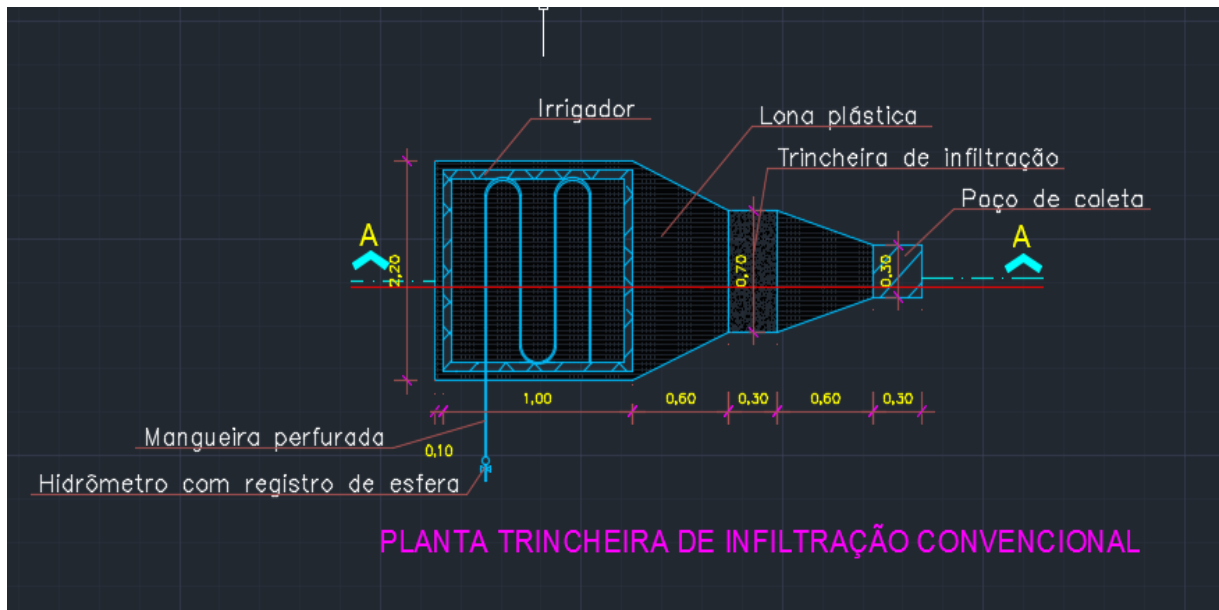


Figura 5: Planta trincheiras de infiltrações

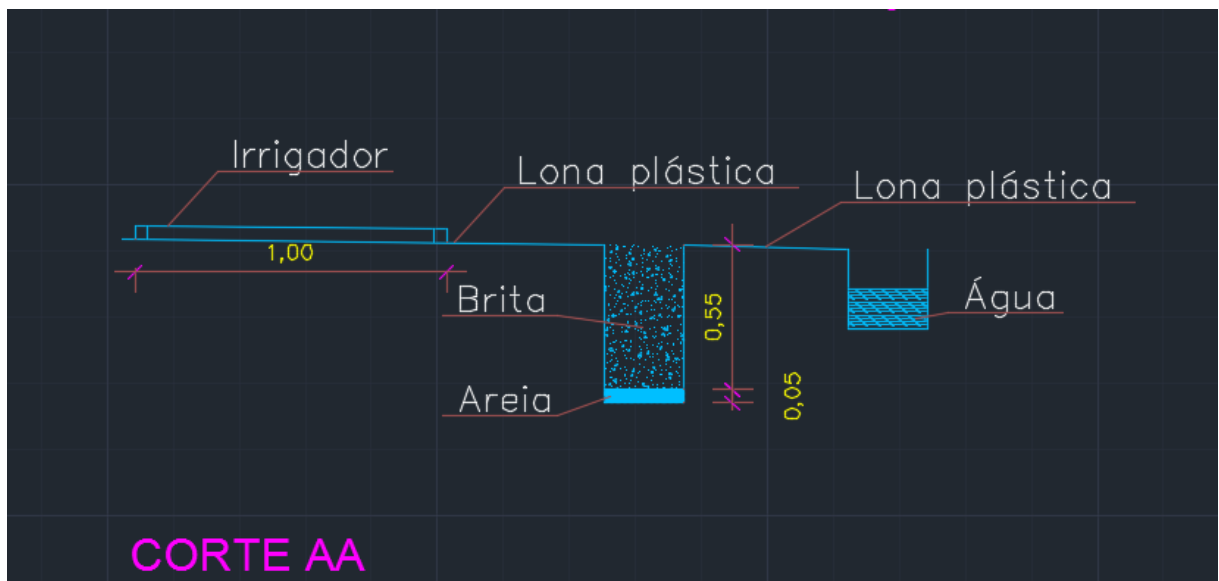


Figura 6: Corte da trincheira de infiltração convencional.

No Apêndice B encontram-se as fotos do preenchimento da trincheira convencional.

5.2.4 Preenchimento da trincheira com uso de garrafa PET

a) Revestimento do fundo da trincheira com areia, com altura de 0,05 metro;

b) Posicionamento das Garrafas PET com altura de 0,25 metro;

Foram necessárias 21 garrafas PET para o preenchimento da trincheira. No Processo de produção das garrafas, foram realizados cortes em medidas apropriadas, para que as garrafas ficassem com um total de 0,25 metro de altura. Para tanto, as garrafas foram acopladas como mostra a figura 7.



Figura 7: Garrafas PET cortadas e acopladas.

Para a utilização das garrafas PET como dreno, houve a necessidade de perfurar o fundo das garrafas. Os furos foram feitos com um sistema à quente para não facilitar caminhos para o rasgo.

Portanto, realizaram-se 20 furos com diâmetro aproximado de 5mm, como mostra a figura 8.



Figura 8: Garrafa com fundo furado á quente.

Após cortadas e perfuradas as garrafas foram posicionadas dentro da trincheira.

c) Colocação da manta geotêxtil OP-20;

Foi utilizada uma manta geotêxtil OP-20 para auxiliar o processo de drenagem da água. A manta foi disposta de modo que cobrir toda a área de garrafas.

d) Preenchimento da trincheira com brita com altura de 0,3 metro.

Nas figuras 9 e 10 estão representados a planta e o corte, respectivamente, da trincheira de infiltração com uso de garrafa PET.

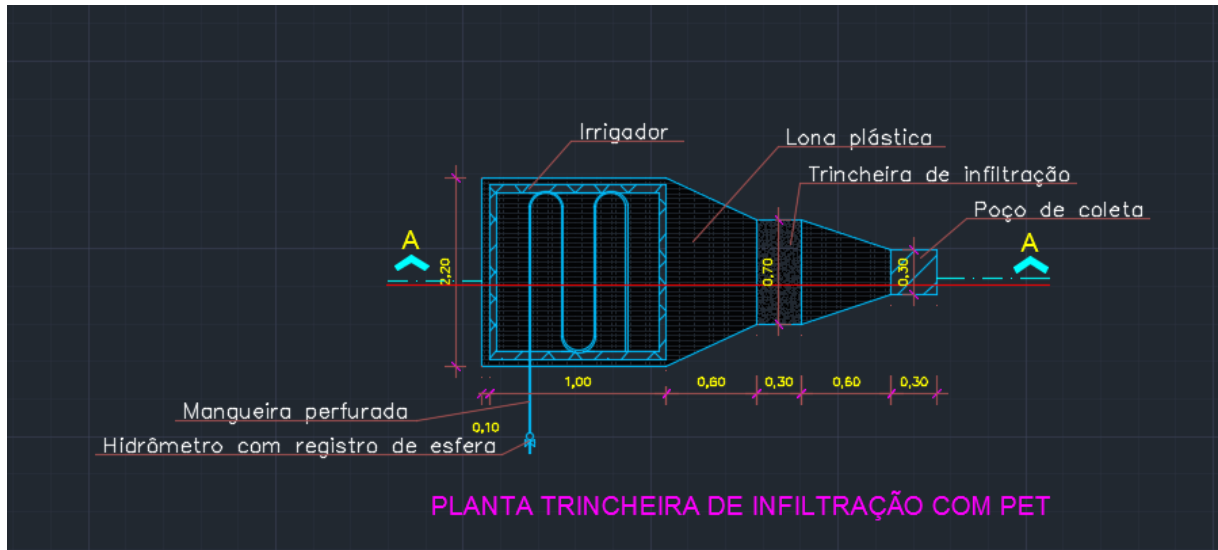


Figura 9: Planta baixa da trincheira de infiltração com garrafa PET

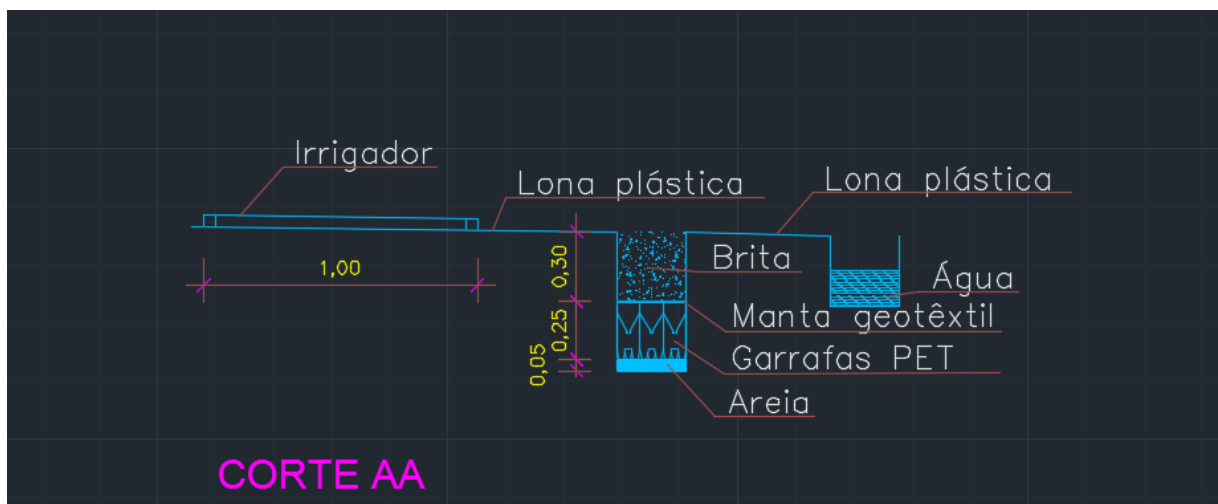


Figura 10: Corte da trincheira de infiltração com uso de garrafa PET.

No apêndice C encontram-se fotos do preenchimento da trincheira com o uso de garrafa PET.

5.3 SIMULAÇÃO DE CHUVA

Para o presente trabalho houve a necessidade de uma simulação de chuva. Para isso, foi elaborado um irrigador com área total de 1m², com suporte de madeira, e uma mangueira com pequenas perfurações como mostrado a seguir na figura 11.

Os irrigadores também eram compostos por hidrômetros e registro de esfera (figura 12) para o controle da vazão que foi calculada no item 5.4.2.



Figura 11: Irrigador.



Figura 12: Hidrômetro com registro de esfera.

5.3.1 Intensidade da chuva

A intensidade da chuva utilizada neste trabalho, foi calculada pela equação de intensidade duração e frequência de chuvas da cidade de Andradina-SP que está localizada a aproximadamente 54 km de Ilha Solteira. Segundo Martinez e Magni (1999) a intensidade de chuva da cidade de Andradina pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$I = 34,5743(t + 20)^{(-0,8809)} + [(2,6906(t + 10)^{(-0,6683)})(-0,4766) + (-0,8977) \ln \ln(TR/(TR - 1))]$$

onde:

t é a duração da chuva (minutos)

TR é o tempo de retorno (anos)

A intensidade foi calculada com duração da chuva(*t*) igual a 10 minutos e tempo de retorno (*TR*) igual a 50 anos, resultando em aproximadamente, $I = 2,83$ mm/min.

5.3.2 Vazão

5.3.2.1 Método Racional

O método racional estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). É utilizado para calcular a vazão de pico de uma bacia. Segundo Franco 2004, para calcular a vazão por este método as seguintes particularidades devem ser verdadeiras:

a) Os efeitos do armazenamento superficial na bacia não influenciem na dinâmica da propagação da cheia, tornando-se constante a partir do tempo de concentração;

b) A intensidade da chuva permanece constante até que a duração da chuva atinja o tempo de concentração da bacia. A partir daí, com toda a área da bacia contribuindo, estabelece-se o regime permanente;

c) A intensidade de precipitação diminui com o aumento do tempo de duração da chuva. Por outro lado, para chuvas de duração menor que o tempo de concentração, a contribuição da bacia é parcial, tal que, a maior vazão ocorre para chuvas de duração igual ao tempo de concentração;

d) A contribuição subterrânea na vazão de pico é desprezível.

A fórmula utilizada para calcular a vazão por esse método é:

$$Q = (C \times I \times A) / 360 \quad (1)$$

Sendo:

Q é vazão de pico (m³/s);

I, a intensidade média da chuva (mm/h);

A, a área da bacia (ha);

C, o coeficiente de escoamento superficial que varia de 0 a 1.

O coeficiente de escoamento superficial pode ser calculado por:

$$C = 0,05 + (0,009 \times AI) \quad (2)$$

A área de contribuição da trincheira será completamente impermeabilizada, portanto $AI = 0,0001$ há, substituindo esse valor na equação (2) temos, $C = 0,95$.

A intensidade média de chuva calculada pela equação de intensidade duração e frequência da cidade de Andradina-SP, é de 2,83 mm/min.

Substituindo os valores na equação 1, encontra-se a vazão máxima de aproximadamente 2,7 L/min.

5.5 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INFILTRADO

Para a determinação do volume infiltrado em cada trincheira, foram realizadas as simulações de chuva, na área de contribuição do sistema (figura 13), com vazão máxima calculada de 2,7L/min. A água escoou pela área de contribuição, sendo direcionada para as trincheiras e, quando transbordava (figura 14), escoava para poço de coleta.



Figura 13: Trincheira de infiltração com simulação de chuva



Figura 14: Trincheira no início do transbordo.

O volume de entrada de água foi determinado pela equação:

$$V = Q \times t$$

Onde:

V é o volume em litros;

Q a vazão em litros/s;

t o tempo em segundos;

Para calcular o volume infiltrado foi feita a diferença entre o volume de entrada de água, e o volume de água no poço de coleta.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Foram realizados 5 ensaios para cada trincheira, no mês de fevereiro de 2017. Os 5 ensaios foram realizados em datas diferentes com variações de temperatura (figura 15), umidade (figura 16) e ocorrência de chuva (figura 17). No entanto, as duas trincheiras foram ensaiadas nos mesmos dias e nas mesmas condições e não ocorreram chuvas durante nenhum ensaio.

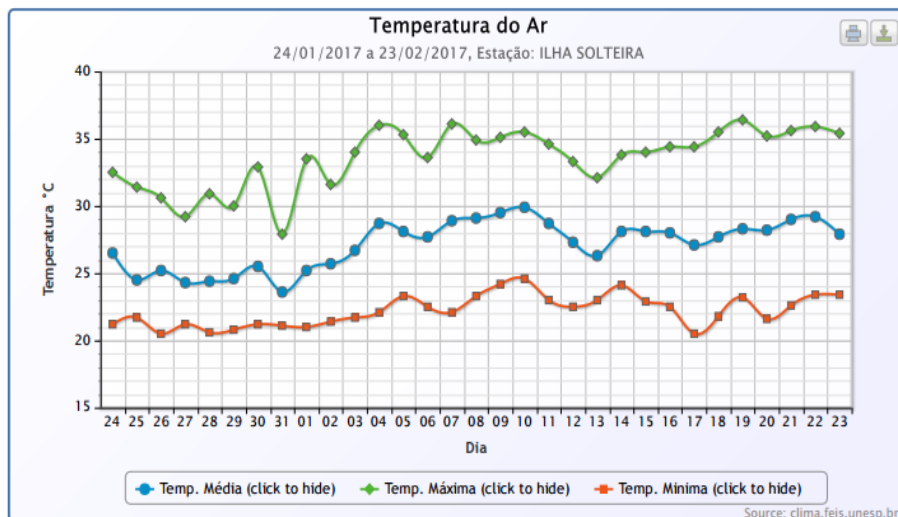


Figura 15: Gráfico de variação de temperatura do ar.

Fonte: Canal Clima da UNESP Ilha Solteira.

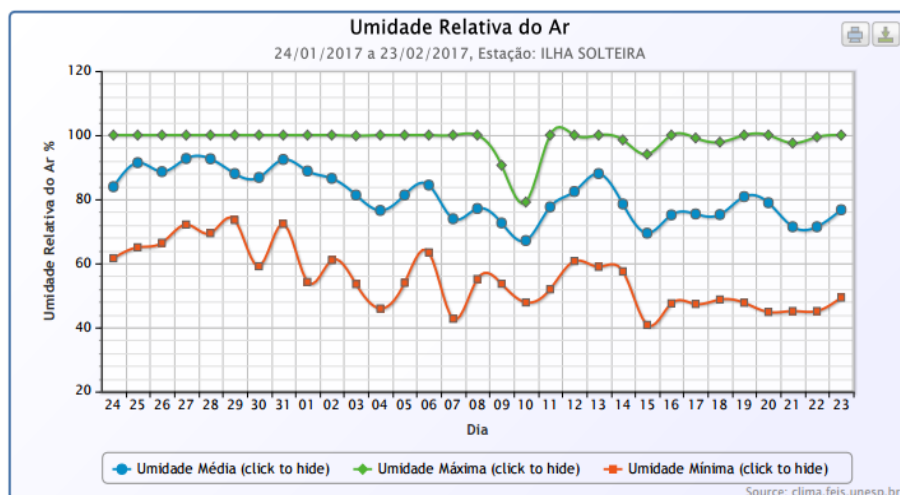


Figura 16: Gráfico de variação da umidade relativa do ar.

Fonte: Canal Clima da UNESP Ilha Solteira.

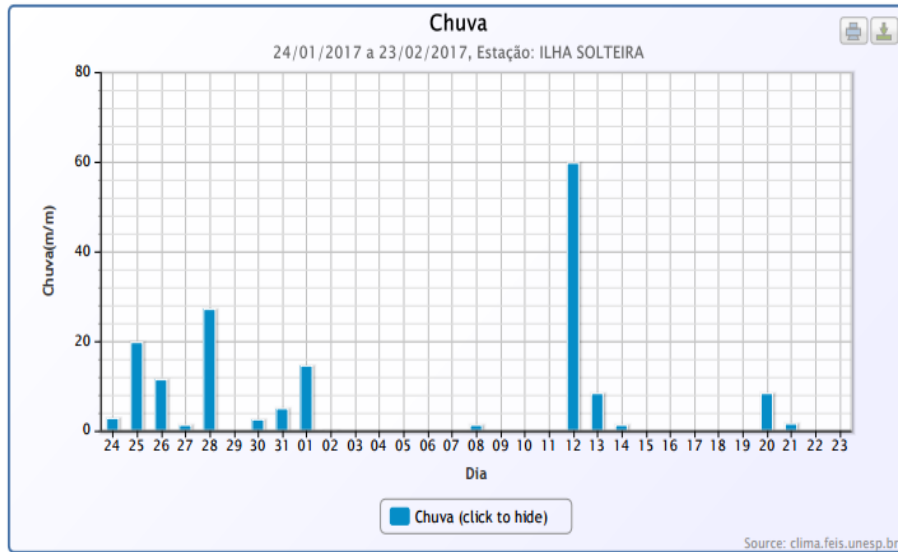


Figura 17: Gráfico da ocorrência de chuvas.

Fonte: Canal Clima da UNESP Ilha Solteira

As vazões eram controladas por meio do hidrômetro com registro de esfera e eram conferidas a cada 5 minutos, devido o fornecimento de água ser direto da rua, portanto, a pressão da água poderia variar.

6.1.1 1º Experimento

O primeiro experimento foi realizado no dia 12 de fevereiro de 2017 das 10hrs às 12hrs07min. A tabela 3 apresenta os dados e resultados das duas trincheiras.

Tabela 3: Dados e resultados do 1º Experimento.

	Trincheira com uso de garrafa PET	Trincheira convencional
Vazão (litros/minuto)	2,7	2,7
Tempo com simulação de chuva (minutos)	57,0	57,0
Tempo para começar a transbordar (minutos)	42,0	32,0
Volume de entrada (litros)	153,9	153,9
Volume no poço de coleta (litros)	15,7	25,1
Volume retido na trincheira	138,2	128,8

A Trincheira com uso de garrafa PET infiltrou 9,4 litros a mais do que a trincheira convencional, sendo portanto aproximadamente 6,81% mais eficiente do que a trincheira convencional.

6.1.2 2º Experimento

O segundo experimento foi realizado no dia 15 de fevereiro de 2017 das 18hrs45min às 20hrs37min. A tabela 4 apresenta os dados e resultados das duas trincheiras.

Tabela 4: Dados e resultados do 2º Experimento.

	Trincheira com uso de garrafa PET	Trincheira convencional
Vazão (litros/minuto)	2,7	2,7
Tempo com simulação de chuva (minutos)	40,0	40,0
Tempo para começar a transbordar (minutos)	30,0	23,0
Volume de entrada (litros)	108,0	108,0
Volume no poço de coleta (litros)	17,5	29,2
Volume retido na trincheira	90,5	78,8

A Trincheira com uso de garrafa PET infiltrou 11,7 litros a mais do que a trincheira convencional, sendo portanto aproximadamente 12,93% mais eficiente do que a trincheira convencional.

6.1.3 3º Experimento

O terceiro experimento foi realizado no dia 18 de fevereiro de 2017 das 14hrs18min às 16hrs14min. A tabela 5 apresenta os dados e resultados das duas trincheiras.

Tabela 5: Dados e resultados do 3º Experimento.

	Trincheira com uso	Trincheira
--	---------------------------	-------------------

	de garrafa PET	convencional
Vazão (litros/minuto)	2,7	2,7
Tempo com simulação de chuva (minutos)	56,0	56,0
Tempo para começar a transbordar (minutos)	46,0	39,0
Volume de entrada (litros)	151,2	151,2
Volume no poço de coleta (litros)	12,6	22,6
Volume retido na trincheira	138,6	128,6

A Trincheira com uso de garrafa PET infiltrou 10,0 litros a mais do que a trincheira convencional, sendo portanto aproximadamente 7,21% mais eficiente do que a trincheira convencional.

6.1.4 4º Experimento

O quarto experimento foi realizado no dia 20 de fevereiro de 2017 das 10hrs05min às 12hrs. A tabela 6 apresenta os dados e resultados das duas trincheiras.

Tabela 6: Dados e resultados do 4º Experimento.

	Trincheira com uso de garrafa PET	Trincheira convencional
Vazão (litros/minuto)	2,7	2,7
Tempo com simulação de chuva (minutos)	50,0	50,0
Tempo para começar a transbordar (minutos)	40,0	32,0
Volume de entrada (litros)	135,0	135,0
Volume no poço de coleta (litros)	15,2	30,2
Volume retido na trincheira	119,8	104,8

A Trincheira com uso de garrafa PET infiltrou 15,0 litros a mais do que a trincheira convencional, sendo portanto aproximadamente 12,52% mais eficiente do que a trincheira convencional.

6.1.5 5º Experimento

O quinto experimento foi realizado no dia 23 de fevereiro de 2017 das 06hrs52min às 9hrs. A tabela 7 apresenta os dados e resultados das duas trincheiras.

Tabela 7: Dados e resultados do 5º Experimento.

	Trincheira com uso de garrafa PET	Trincheira convencional
Vazão (litros/minuto)	2,7	2,7
Tempo com simulação de chuva (minutos)	52,0	52,0
Tempo para começar a transbordar (minutos)	42,0	36,0
Volume de entrada (litros)	140,4	140,4
Volume no poço de coleta (litros)	10,8	17,9
Volume retido na trincheira	129,6	122,5

A Trincheira com uso de garrafa PET infiltrou 7,1 litros a mais do que a trincheira convencional, sendo portanto aproximadamente 5,48% mais eficiente do que a trincheira convencional.

Verificou-se a partir dos resultados obtidos que a trincheira com o uso de garrafa PET reteve um maior volume de água em todos os ensaios realizados, como mostra o gráfico 1.

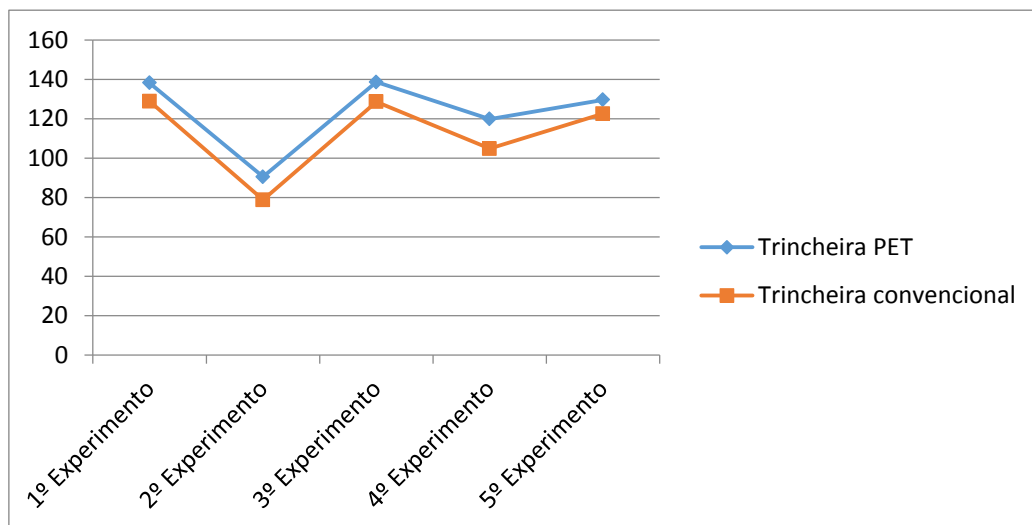


Gráfico 1: Volume retido nas trincheiras

Dados os resultados, pode-se observar que a trincheira com uso de garrafa PET foi em média 8,51% mais eficiente do que a trincheira convencional.

Observa-se pelo gráfico que o 2º experimento realizado reteve menor volume de água nas duas trincheiras, essa perda na eficiência ocorreu devido ao experimento ter acontecido depois de dias de chuvas, como mostra a figura 17.

7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa estudou, por meio de 5 ensaios a utilização de garrafas PET em trincheiras de infiltração comparando seus resultados com uma trincheira convencional, para assim determinar se o uso de PET traria benefícios para este tipo de drenagem urbana.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados pode-se concluir que:

Os resultados dos experimentos mostram que a trincheira com uso de garrafa PET é mais eficiente em retenção de água quando comparada com a trincheira convencional. Sendo em media 8,51% mais eficiente.

Observou-se que o rendimento da trincheira de PET apresentou queda de rendimento em ensaios que foram realizados após dias chuvosos. Devido a maior retenção de água, a trincheira com uso de PET demora mais para ficar completamente vazia, em relação a trincheira convencional.

O 4º experimento foi realizado após alguns dias sem chuva, o que explica a maior diferença de volume retido entre os dois tipos de trincheiras: o volume de água retido é maior quando o solo não está encharcado e as trincheiras estão vazias.

Pesquisas mostraram também que as trincheiras de PET necessitam de maior manutenção, pois podem ocorrer deformações nas garrafas PET o que prejudica a eficiência da trincheira.

Com os resultados obtidos há indícios de que a garrafa PET é eficaz em aumentar o volume de água armazenado na trincheira de infiltração e caso apresente boa viabilidade econômica deve-se estudar a implantação deste sistema não convencional de drenagem urbana.

8 REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B.; Nascimento, N. O.; BARRAUD, S. (2005). **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre – RS.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review**. IHP. IAHS. UNESCO. p.224, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Meio Ambiente. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Matéria do informativo meio ambiente e agricultura**, Brasília, v.9, n.35, 2008. Disponível em: < <http://www.cnpma.embrapa.br> > Acesso em: 13 maio 2016.

FARIA, **Ciclo hidrológico (Ciclo da água)**, Info Escola, Geografia, 2007. Disponível em: < <http://www.infoescola.com/geografia/ciclo-hidrologico-ciclo-da-agua/> > Acesso em 26 maio 2016.

FRANCO, Edu J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Paraná. 2004.

FRITSCH, Fabricius E. D. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica de Alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR.2013**. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

HESPANHOL, A.N. **Dinâmica agroindustrial, intervenção estatal e a questão do desenvolvimento da região de Andradina - SP**. 1996. 273f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

HONÓRIO, Celina M. A.; SUMAI, Junior S.; OLIVEIRA, Jefferson N. O. **Consequências em termos de vazão da impermeabilização do solo em Ilha Solteira – SP**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2010.

HORTON, R. E. **The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle**. *Transactions – American Geophysical Union*, v.14, p.446-460, 1993.

ILHA Solteira: Prefeitura Municipal de Ilha Solteira. Ilha Solteira: [s.n.]. Disponível em < <http://www.ilhasolteira.sp.gov.br> > Acesso em: 02 maio 2016.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica de água no solo**. Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1995.

LIMA, V. C. G. R. 2009. 170 p. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2009.

MAGNI, N. L. G; MARTINEZ, F., **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**, Boletim Técnico, CTH-USP, São Paulo, 1986, n.4

MILITÃO, Elza da Silva. **Impactos ambiental e socioeconômico do uso e ocupação dos solos da micro bacia Jardim Novo Horizonte, em Ilha Solteira, SP**. 2013. 79 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/114029>>. Acesso em: 15 maio 2016

MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. **Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 15 maio 2016

PASCHOAL, Tadeu S. da. **Uso da água e necessidades de tratamento para consumo humano**. 2012. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

PEITER, Thiago V.; POLETO, Cristiano. **Estudos dos Efeitos de Trincheiras de Infiltração Sobre o Escoamento Superficial**. Revista de Estudos Ambientais, Toledo, v. 14, n. 2esp, p. 57-67, 2012. Disponível em: <<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2928-11139-1-PB.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

POLETO, Cristiano. **Alterações morfológicas em um canal fluvial urbano no contexto antrópico, social e ambiental: um estudo de caso**. Revista Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 33, n. 4, p. 357-364, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/8288>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

POMPÊO, C. A. **Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão da Onça (SP)**, 1990. Tese de Doutorado. São Carlos, SHS-EESC-USP.

POMPÊO, Cesar A. **Drenagem urbana sustentável. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Universidade Federal de Santa Catarina. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 5, no.1, pag. 15-23, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2000.

RIBEIRO, Alessandro M. **BMP'S em drenagem urbana – Aplicabilidade em cidades brasileiras**, Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, Natananaeyfle R. G. **Projeto, construção e análise de desempenho de coletores solares alternativos utilizando garrafas PET**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pós-Graduação em engenharia mecânica, Rio Grande do Norte, 2007.

SANTOS, I. DOS; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B. BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SILVA, J. P. 2007. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 154/07, Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p.

SILVA, Luciano C. **Sistemas de drenagem urbana não-convencionais**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

SILVEIRA, A. L. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. S. **Infiltração e Armazenamento no solo, Hidrologia Ciência e Aplicação**. 3ed. Porto Alegre: ABRH Editora da UFRGS, 2004. Capítulo 9, p.335-372.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed, Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2007, p. 943.

TUCCI, Carlos E. M.; CLARKE, Robin T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 2 n. 1 pag. 135-152, Porto Alegre, Rio Grande do Sul

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO. **Canal clima da UNESP Ilha Solteira – Área de hidráulica e irrigação**. Disponível em <<http://www.clima.feis.unesp.br>> Acesso em 30 de março de 2017.

WILKEN, Paulo. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. Edição do autor. São Paulo: CETESB, 1978.

APÊNDICE A



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 18: a) Escavação da trincheira convencional com uso de escavadeira. b) Regularização da trincheira convencional com o uso de pá. c) Trincheira convencional escavada e com solo nivelado. d) Impermeabilização da área de contribuição das trincheiras. e) Impermeabilização das laterais da trincheira com lona plástica.

APÊNDICE B



(a)



(b)

Figura 19: a) Revestimento da trincheira convencional com areia. b) Preenchimento da trincheira convencional com brita.

APÊNDICE C



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 20: a) Revestimento da trincheira com uso de garrafa PET com areia. b) Garrafas PET posicionadas dentro da trincheira. c) Manta geotêxtil cobrindo todas as garrafas PET. d) Preenchimento da trincheira com uso de garrafa PET com brita.