

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO SOARES ZUNTA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE PAVIMENTOS
DE CONCRETO INTERTRAVADOS**

TOLEDO

2021

GUSTAVO SOARES ZUNTA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE PAVIMENTOS
DE CONCRETO INTERTRAVADOS**

**EVALUATION OF THE INFILTRATION CAPACITY OF INTERLOCKED
CONCRETE FLOORS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr Wagner Alessandro Pansera

TOLEDO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUSTAVO SOARES ZUNTA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE PAVIMENTOS DE
CONCRETO INTERTRAVADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR) – Campus Toledo.

Dia de aprovação: 03 de dezembro de 2021.

Orientador

Wagner Alessandro Pansera
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fúlvio Natércio Feiber

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Benedito Martins Gomes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

TOLEDO-PR

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meu pai por ter sido minha base em toda em caminhada, minha mãe por ter me acolhido em todos os momentos e meus irmãos por me inspirarem de buscar mais.

Agradeço os meus familiares, em especial meus tios e minhas tias que sempre acreditam em mim, por sempre se preocuparem comigo e por me proporcionarem o melhor suporte nessa caminhada.

Agradeço aos meus amigos pelas parcerias e por todos os momentos compartilhados.

Agradeço ao Prof. Dr. Wagner Alessandro Pansera, pela dedicação e por todo o conhecimento compartilhado para construção deste trabalho.

O problema da realidade é que os desastres como o do efeito estufa ou a disfunção do ciclo hidrológico e a perda da diversidade biológica não são violentos. São, pelo contrário, relativamente lentos e por isso a sociedade prefere ignorá-los, assumindo que o problema é de outros ou quiçá.

(DOUROJEANNI, 2015).

RESUMO

O processo de urbanização é contínuo, principalmente em municípios em desenvolvimento, devendo ser concebido de modo a considerar fatores como, mobilidade e permeabilidade das vias. O município de Toledo-PR visando manter um controle sobre o desenvolvimento de uma urbanização harmônica introduziu em seu código de obras um pavimento permeável padrão para passeios em vias estruturais, sendo o pavimento padrão adotado o pavimento intertravado de concreto. O objetivo deste trabalho é avaliar as condições de permeabilidade desses pavimentos com base na NBR 16416:2015 e com a metodologia de infiltrômetro de anel único com método de Horton. Com os resultados com base na NBR 16416:2015 determinou-se que os pavimentos necessitam de manutenções para atingir a capacidade de infiltração requerida pela norma, já com a modelagem do método de Horton nos ensaios do infiltrômetro de anel único foi possível determinar as capacidades de infiltração inicial e final para cada ponto amostral. Os pavimentos executados apresentam um médio grau de permeabilidade e alguns pontos com um rápida perda na capacidade de amortecimento das precipitações.

Palavra-chave: Drenagem Urbana; Infiltração; Pavimentos Intertravados de Concreto

ABSTRACT

The urbanization process is continuous, especially municipalities in development and should be designed in order to consider factors such as road mobility and permeability. The city of Toledo-PR aiming to maintain control over the development of a harmonic urbanization introduced in its building code a standard permeable pavement for sidewalks on structural roads, and the standard pavement adopted the interlocked concrete pavement. The objective of this work is to evaluate the permeability conditions of these floors based on NBR 16416:2015 and with the methodology of single ring infiltrummeter with Horton method. With the results based on NBR 16416:2015 it was determined that the floors require maintenance to achieve the infiltration capacity required by the NBR, the modeling of the Horton method in the single ring tests infiltrimeter it was possible to determine the initial and final infiltration capacities for each sampling point. The sidewalk floors present a medium degree of permeability and some points with a fast loss in the damping capacity of precipitation.

Keyword: Urban Drainage; Infiltration; Interlocked Concrete Floors

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto de Sistemas de Controle.....	16
Figura 2 - Blocos de Concreto para Pavimentos Intertravados	19
Figura 3 - Tipos de Arranjos de Assentamento	20
Figura 4 - Imagem aérea com localização dos pontos amostrais.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População brasileira residente estimada por região	11
Tabela 2 - Municípios que sofreram inundações ou enchentes de 2003 a 2008	12
Tabela 3 - Taxa de infiltração em diferentes tipos de revestimentos permeáveis	12
Tabela 4 - Taxa de infiltração médias encontradas por Bruno et al. (2013)	21
Tabela 5 - Volume escoado e infiltrado encontrados por Maus et al. (2007)	21
Tabela 6 – Localização pontos amostrais	22
Tabela 7 - Coeficiente de Permeabilidade pela NBR 16416:2015	31
Tabela 8 - Valores típicos de taxa de infiltração de solo	32
Tabela 9 - Fatores de permeabilidade	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipo de infiltração do pavimento em função das condições locais.	18
Quadro 2 - Espessura mínima de revestimentos permeável.....	20

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Infiltrômetro de cilindro único usado para o teste de infiltração	24
Fotografia 2 - Ponto amostral E6	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa.....	11
1.2	Objetivo geral.....	13
1.3	Objetivo específico.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Drenagem urbana	14
2.2	Sistemas sustentáveis de drenagem urbana	15
2.3	Pavimentos permeáveis.....	17
2.4	Pavimentos intertravados de concreto	19
3	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....	22
3.1	Região de estudo.....	22
3.2	Ensaio de infiltração utilizando anel único	24
3.2.1	Modelagem matemática do processo de infiltração.....	25
3.3	Determinação do coeficiente de permeabilidade	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Modelo de Horton	27
4.2	Teste de infiltração NBR 16.416:2015	31
4.3	Coeficiente de permeabilidade de Horton (β) x K da NBR 16.416	33
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS.....	36
	APÊNDICE A - TABELA COM DADOS COLETADOS EM CAMPO	38

1 INTRODUÇÃO

A impermeabilização dos centros urbanos por meio de calçadas, ruas, estacionamentos etc., sem o planejamento adequado do uso e ocupação do solo, é um dos fatores que influenciam nas alterações do ciclo hidrológico e que favorece a ocorrência de inundações e a perda de qualidade das águas pluviais.

O sistema de drenagem urbano que tem sido comumente adotado propõe o escoamento superficial e a transferência das precipitações, por meio de rede de condutos e canais, o mais rápido possível para pontos a jusantes da bacia hidrográfica, promovendo aumento das vazões nos rios e reduzindo o volume de água que percola para recarga dos mananciais.

As políticas públicas que visam propor o planejamento adequado do uso e ocupação do solo, abordam de forma majoritária questões urbanísticas e para drenagem urbana se restringe em determinar uma taxa de permeabilidade, sendo está uma razão entre a área permeável e a área total do terreno. (TUCCI; CRUZ, 2008)

Para atender a taxa de permeabilidade de um imóvel, tem-se utilizados conceitos de controle na fonte, que contém o escoamento na fonte ou muito próximo, permitindo que ocorra a infiltração da precipitação no solo. Uma alternativa aplicada nesse método é a utilização dos pavimentos permeáveis, que tende a realizar o controle o escoamento superficial por meio da infiltração no solo.

No município de Toledo desde 27 de dezembro de 2006 a Lei nº 1.943, que dispõe sobre o código de obra, ainda vigente, exige que a implantação de passeios com ladrilho hidráulico na zona central e vias estruturais, e somente após 25 de abril de 2018 a Lei nº 2.257, que institui o Plano Municipal de Mobilidade Urbana de Toledo, apresenta um Manual das Calças com outros materiais para pavimentação, como, placas fixas de concreto, ladrilho hidráulico (pavimento permeáveis), pavimentos intertravados e/ou pavimentação asfáltica, sendo vedado ladrilhos que não sejam de concretos. Tendo em vista as soluções propostas para pavimentação de passeios, entende-se que o município preza pela mitigação do escoamento superficial.

A normatização de pavimentos permeáveis de concreto pela ABNT ocorreu somente em 2015, com a norma NBR 16.416 que determina pavimento permeável aquele que recém-construídos apresenta coeficiente de permeabilidade superior a 10^{-3} m/s, definição que pode ter descaracterizado pavimentos ditos permeáveis, assim como, o fenômeno da colmatação e acúmulo de sedimento pode comprometer a

capacidade de infiltração com o decorrer do tempo. Fazendo-se necessário uma avaliação das condições de permeabilidade de pavimentos já instalados para determinar a contribuição em mitigar os escoamentos superficiais e promover a infiltração das precipitações no solo.

A verificação de permeabilidade ocorre por meio do ensaio de infiltração, realizado com o controle do volume de água infiltrado durante determinado intervalo de tempo, permitindo obter o volume de infiltração (VI) e a infiltração acumulada no solo. Sendo que ambas as informações permitem verificar se a capacidade de infiltração dos pavimentos contribui na mitigação do escoamento superficial.

Serão avaliados dois ensaios de infiltração: (i) o de anel único, conforme NBR 16416:2015 (que avalia a infiltração multidirecional) e (ii) método do anel único com modelagem matemática de Horton.

1.1 Justificativa

De acordo com os dados do IBGE (2020), tabela 1, é possível observar que a população residente no Brasil está em constante crescimento em todas as regiões do país.

Tabela 1 - População brasileira residente estimada por região			
Brasil e Grande Região	População residente estimada (Pessoas)		
	2001	2011	2020
Norte	13.245.084	16.095.187	18.672.591
Nordeste	48.331.186	53.501.859	57.374.243
Sudeste	73.470.763	80.975.616	89.012.240
Sul	25.453.264	27.562.433	30.192.315
Centro-Oeste	11.885.529	14.244.192	16.504.303
Brasil	172.385.826	192.379.287	211.755.692

Fonte: IBGE (2021)

Conforme sintetizado pelo IBGE, na tabela 2, de 2003 a 2008 em todos os municípios brasileiros ocorreram inundações ou enchentes em decorrência de um ou mais fatores agravantes, assim como apresenta, o número de vezes que os fatores agravantes foram em decorrência do sistema de drenagem amplamente utilizado no país.

Tabela 2 - Municípios que sofreram inundações ou enchentes de 2003 a 2008

Grande Região	Fatores agravantes				
	Total geral de municípios	Dimensionamento inadequado de projeto	Obstrução de bueiros, bocas de lobo etc.	Obras inadequadas	Ocupação intensa e desordenada do solo
Norte	449	40	56	45	75
Nordeste	1.793	144	222	202	295
Sudeste	1.668	291	428	284	386
Sul	1.188	189	277	155	181
Centro-Oeste	466	35	43	35	43

Fonte: IBGE (2021)

Visto que a ocupação intensa e desordenada é o fator agravante mais recorrente, pode-se dizer que o crescimento urbano sem planejamento adequado favoreceu o aumento da frequência de inundações e que o conceito de rede de drenagem sofre estresse com alta frequência.

A alternativa abordada pela maioria dos Planos Diretores Urbanos (PDU) para mitigar os escoamentos superficiais e diminuir os estresses dos sistemas redes de drenagens é por meio da taxa de permeabilidade. Porém a recente popularização dos pavimentos intertravados em passeios, praças e estacionamentos ocorre na tentativa de auxiliar a infiltração das precipitações e reduzir os escoamentos.

Dento das alternativas de pavimentos intertravados os mais utilizados são os pavimentos com blocos de concreto, que já são predominantes em novos ou nas reformas de revestimento de praças, passeios e alguns estacionamentos. A NBR 16416:2015 regulamenta que pavimentos de concreto são permeáveis se através de uma avaliação de permeabilidade no pavimento recém-construído atinge um coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-3} m/s.

Entretanto, segundo um levantamento realizado por Ono et al. (2017), apresentado na tabela 3, este tipo de pavimento tende a diminuir sua capacidade de promover a infiltração no solo.

Tabela 3 - Taxa de infiltração em diferentes tipos de revestimentos permeáveis

(continua)

Referência	Tipo de Revestimento	Aplicação	Condição do pavimento	Taxa de Infiltração (m/s)
Marchioni e Silva (2013)	Bloco c/ juntas alargadas (espinha)	Estacionamento	Novo	$7,2 \times 10^{-4}$
Marchioni e Silva (2013)	Bloco c/ juntas alargadas (trama)	Estacionamento	Antigo (sem manutenção)	$2,26 \times 10^{-4}$
Martins (2014)	Bloco c/ juntas alargadas (espinha)	Calçada	Novo	$8,80 \times 10^{-4}$
Martins (2014)	Bloco c/ juntas alargadas (trama)	Calçada	Novo	$7,16 \times 10^{-6}$
Martins (2014)	Bloco c/ juntas alargadas (espinha)	Calçada	Antigo (sem manutenção)	$7,45 \times 10^{-6}$

**Tabela 3 - Taxa de infiltração em diferentes tipos de revestimentos permeáveis
(conclusão)**

Referência	Tipo de Revestimento	Aplicação	Condição do pavimento	Taxa de Infiltração (m/s)
Martins (2014)	Bloco c/ juntas alargadas (trama)	Calçada	Antigo (sem manutenção)	$6,79 \times 10^{-6}$
Pellizari (2013)	Camada porosa de atrito (CPA)	Estacionamento	Antigo (sem manutenção)	$1,69 \times 10^{-5}$
Pellizari (2013)	Camada porosa de atrito (CPA)	Estacionamento	Antigo (sem manutenção)	$5,25 \times 10^{-5}$
Santos et al. (2015)	Bloco c/ juntas alargadas (espinha)	Calçada	Antigo (sem manutenção)	$1,99 \times 10^{-6}$

Fonte: ONO et al. (2017)

1.2 Objetivo geral

Avaliar a capacidade de infiltração de pavimentos de concreto tipo blocos intertravados por meio da NBR 16416:2015 (Pavimentos permeáveis de concreto) e da metodologia do infiltrômetro de anel único.

1.3 Objetivo específico

São objetivos específicos:

- a) Realizar a modelagem matemática do processo de infiltração em pavimentos intertravados;
- b) Analisar o volume de precipitação amortecido por pavimentos intertravados;
- c) Determinar o coeficiente de infiltração dos pavimentos conforme NBR 16416:2015.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Drenagem urbana

A bacia hidrográfica é delimitada por toda a superfície de drenagem para qual a água precipitada se direcionada através de um sistema de escoamento, podendo ser composto por raviamento, canais naturais e/ou condutos e canais construídos, a um único ponto exutório (SILVEIRA, 2002; TUCCI, 2012). Onde, a “entrada é o volume d’água precipitado e a saída é o volume de água escoado no exutório.” (SILVEIRA, 2002).

Do volume de saída existe dois principais escoamentos, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo, sendo o escoamento superficial o principal a ser considerado nos elementos de drenagem urbana por conta da sua alta capacidade de causar inundações (SILVEIRA, 2002).

A implantação de sistemas viários, com pavimentações e pontes, para acompanhar o desenvolvimento urbano fez com que surgisse a necessidade de promover o saneamento de áreas ribeirinhas com a retificações de canais, dado que as cidades se desenvolverem próxima a cursos d’água, e a expansão urbana causaram ocupações de calhas secundárias do escoamento pluvial (RIGHETTO, 2009).

Segundo Righetto (2009), o aumento de inundações e alagamento urbanos ocorrem principalmente em relação ao elevado grau de impermeabilizações das áreas de drenagens naturais, devido a expansão do território urbano sem um controle do uso e ocupação do solo.

Para solucionar os problemas de drenagem causado pelas impermeabilizações Christofidis et al. (2019) comenta que no Brasil adotou-se a drenagem urbana tradicional com características higienistas, preconizando a coleta e a transferência imediata das precipitações a jusante, tal medida reduziu o tempo de chegada das precipitações nos pontos exutório e favoreceu a chega de maiores quantidade de águas pluviais ao mesmo tempo. Promovendo inundações mais frequentes e mais pontos de alagamentos ou inundações.

Além do aumento das inundações, Tucci (2002) apresenta outros impactos ambientais em decorrência da urbanização, como, (i) o aumento da temperatura, (ii) aumento de sedimentos e matérias sólidos, (iii) alteração da qualidade da água pluvial e (iv) contaminação de aquíferos.

Para Silveira (2002), o reequilíbrio do ciclo hidrológico urbano deve ser sustentável, considerando de forma quantitativa os volumes de escoamento superficial, infiltração no solo e a evapotranspiração próximos ao período de pré-urbanização e qualitativa controlando poluente e contaminantes que possam infiltrar nos aquíferos, além dos sólidos que ser carreados com o escoamento superficial.

Uma alternativa para que o crescimento urbano ocorra de forma a mitigar os impactos na bacia hidrográfica é por meio da integração dos planejamentos urbanos e uso do solo, dos resíduos domiciliares e de drenagem urbana (TUCCI; CRUZ, 2008).

Para Christofidis et al. (2019) o sistema de drenagem urbano tradicional promove a privatização de benefícios e a socialização dos custos, pois os empreendimentos imobiliários se responsabilizam apenas pela execução das estruturas locais e o poder público tem que arcar com ampliação das redes de drenagens devido aos sucessivos aumentos de vazões, além de frequentes e onerosas manutenções das medidas de comando e controle.

Em 16 de setembro de 2016 em entrou em vigor a Lei nº 2.233 que dispõe sobre o zoneamento do uso e da ocupação do solo urbano no Município de Toledo, onde a alínea n do Inciso IV no Art. 5º descreve a taxa de permeabilidade como o “percentual do lote que deverá permanecer permeável;” onde para os zoneamentos apresentados na lei varia de 10% a 35% (TOLEDO, 2016).

Em agosto de 2017 a Prefeitura Municipal de Toledo adotou o Manual de Drenagem Urbana disponibilizado pelo IAT, com a finalidade de direcionar as tomadas de decisões sobre a drenagem afim de mitigar as inundações no município.

Para SUDERHSA (2002), as medidas de controle do escoamento com a finalidade de não permitir o aumento da vazão máxima e degradações ambientais são classificadas em três níveis, de controle na fonte, de microdrenagem e de macrodrenagem, e divididas em duas classes, de infiltração e de armazenamento. Sendo a infiltração com controle na fonte, a única medida de controle que é capaz de reduzir o escoamento superficial das áreas impermeáveis.

2.2 Sistemas sustentáveis de drenagem urbana

Para minimizar os impactos das impermeabilizações urbanas e alinhar o desenvolvimento urbano com ideais ambientais, sugeriram métodos como o sustainable drainage systems (SuDS) na Europa e o low impact development (LID) na América do

Norte.

Segundo Woods-Ballard et al. (2015), o SuDS visa a integração de um conjunto de sistemas de controle na fonte para reduzir os escoamentos superficiais, minimizando os impactos do desenvolvimento urbano e promovendo melhorias ambientais de formas quantitativas e qualitativas dos escoamentos.

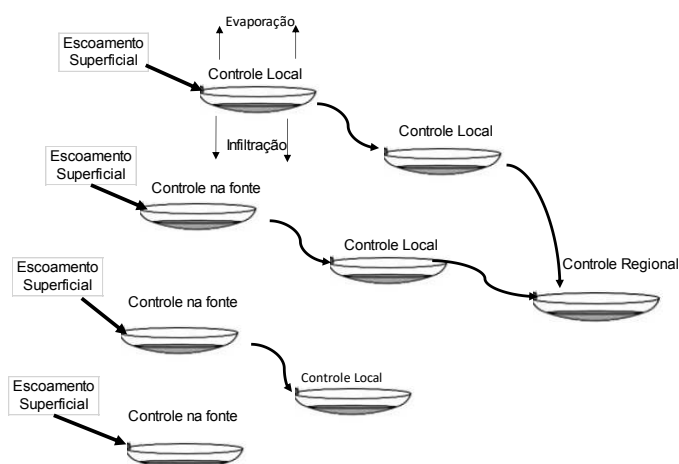
Conforme apresentado por Prince George's County (1999), o objetivo do LID consiste em promover o desenvolvimento utilizando técnicas que proporcione uma redução do escoamento que assegure o ciclo hidrológico, através de locais que permitam armazenamento, infiltração, evaporação e o baixo índice de escoamento superficiais.

Para Woods-Ballard et al. (2015), o conjunto de técnicas de infiltração, detenção, transporte e captação devem obedecer uma sequência de pilares hierárquicos como:

- A prevenção do acúmulo de poluições com medidas de manutenções;
- O controle do escoamento na fonte ou muito perto dela com medidas que proporcionem infiltração;
- O controle local com a gestão local das águas de área impermeabilizadas; e
- O controle regional com a gestão do escoamento superficial em tanques de equilíbrio ou zonas úmidas.

A figura 1, demonstra as possibilidades de aplicações desses conjuntos hierárquicos associados.

Figura 1 - Conjunto de Sistemas de Controle



Fonte: AUTOR adaptado de WOODS-BALLARD et al. (2015)

Ambos os métodos apresentam técnicas de controle na fonte semelhantes, como, reservatórios de detenção, trincheiras de infiltração, faixas gramadas e superfícies permeáveis com o intuito de promover a redução do escoamento superficial e mitigar os impactos nos ciclos hidrológicos locais permitindo a infiltração no local ou próximo (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999 e WOODS-BALLARD et al., 2015).

Contudo, Agostinho e Poletto (2012) demonstram que a aplicação do sistema apresenta desvantagens, como, necessidade de manutenção frequentes, o alto custo para implantar adaptações em sistemas já existentes e o risco de colmatações do sistema por uma alta carga de sedimentos. Sendo que as colmatações podem ocasionar prejuízos ao desempenho do sistema, não permitindo que as precipitações infiltrem conforme esperado, tornando-o ineficaz com o passar do tempo.

No estudo realizado por JABUR et al. (2015), ainda que os pavimentos ensaiados apresentavam capacidades característica de pavimentos permeáveis, foi possível observar perdas nas capacidades de infiltrações dos pavimentos estudados no decorrer do tempo, justificadas pela falta de manutenção.

Tendo este trabalho como objeto de estudo avaliar o desempenho da técnica de controle na fonte por meio de pavimento intertravados verificando de capacidade de pavimentos já instalado no município de Toledo-PR.

2.3 Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis surgem como uma solução para minimizar os impactos da impermeabilização urbana permitindo uma maior capacidade de infiltração das águas pluviais (PARRA; TEIXEIRA, 2015).

Para o Woods-Ballard et al. (2015) os pavimentos permeáveis devem permitir simultaneamente o tráfego urbano, de pedestre e/ou veículos, e a infiltração das precipitações armazenando-as temporariamente, antes da percolação no solo, reutilização ou descarga em outro sistema de drenagem.

A NBR 16.416 (ABNT, 2015) defini pavimentos como, estrutura construída para distribuir os esforços verticais dos veículos para o subleito, proporcionar comodidade e segurança nas condições de rolamento e resistir a esforços horizontais prolongando a vida útil da superfície de rolamento. Assim como, os pavimentos permeáveis aqueles com estrutura capaz de exercer a função de pavimentos e permitir

a infiltração e/ou acúmulo temporário de água sem prejuízos estruturais.

Os pavimentos permeáveis são classificados em três tipos, segundo (URBONAS e STAHR, 1993 apud AGOSTINHO e POLETO, 2012):

- Pavimentos poroso de asfalto;
- Pavimentos poroso de concreto;
- Pavimentos de bloco de concretos.

Os pavimentos porosos são aqueles em que toda superfície de rolamento permite a infiltração de águas, independente do material, e os pavimentos de blocos de concreto são aqueles possibilitam a infiltração superficial através das juntas ou vazios entre os blocos (WOODS-BALLARD et al, 2007).

Dos pavimentos permeáveis de concreto a NBR 16.416 (ABNT, 2015) classifica três tipos de pavimento, os pavimentos intertravados composto por blocos, pavimentos de placas e pavimento de concreto permeável.

A classificação do sistema de infiltração de pavimentos permeáveis é determinada pela capacidade de permitir ou não a infiltração da água no solo. A ABNT (2015) e Woods-Ballard et al. (2015), dividem essa classificação em três tipos:

- Infiltração total, em que toda a precipitação atinge o subleito e se infiltra no solo.
- Infiltração parcial, em que parte da precipitação atinge o subleito e se infiltra e parte é escoada por meio de drenos existente para auxiliar o subleito, não permitindo o acúmulo de água no pavimento.
- Sem infiltração, onde o subleito é impermeabilizado e toda a precipitação é drenada por meio de tubos drenante.

Para a NBR 16.416 (ABNT, 2015) a determinação do tipo infiltração a ser considerado no projeto é baseado no dimensionamento hidráulico, tendo no quadro 4 algumas indicações:

Quadro 1 - Tipo de infiltração do pavimento em função das condições locais

Condições locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade k (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	10^{-3} a 10^{-5}	x	x	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	x	x	✓

Fonte: ABNT (2015)

No estudo conduzido por Bruno et al. (2013), verificou-se que pavimentos de bloco de concreto maciços apresentou coeficiente de escoamento de 0,21 e 0,55 para simulações de precipitações de 79 mm/h e 121 mm/h respectivamente, assim como

em pavimentos de blocos vazados que apresentou coeficiente de escoamento de 0,01 e 0,23 para as mesmas precipitações.

2.4 Pavimentos intertravados de concreto

O pavimento intertravado é considerado um pavimento flexível com a camada de revestimento composta de blocos de concreto intertravadas, capaz de resistir ao deslocamento individualmente por meio de contenção, com juntas preenchidas por material granular ou vegetação (SILVA, 2011).

Segundo a NBR 15.953 (ABNT, 2011), os sistemas de contenções devem proporcionar o intertravamento do pavimento de forma a inibir o deslocamento individual dos blocos na vertical, horizontal de rotação ou giração.

O rejuntamento da camada de pavimento deve ser preenchido com materiais granulares e ter espessura de 2 mm a 5 mm entre as peças de concreto (ABNT, 2011).

Os blocos de concreto são fornecidos por diversos fornecedores e podem ser produzidos de diversos formatos e colorações, os formatos mais comuns podem ser vistos na figura 2.

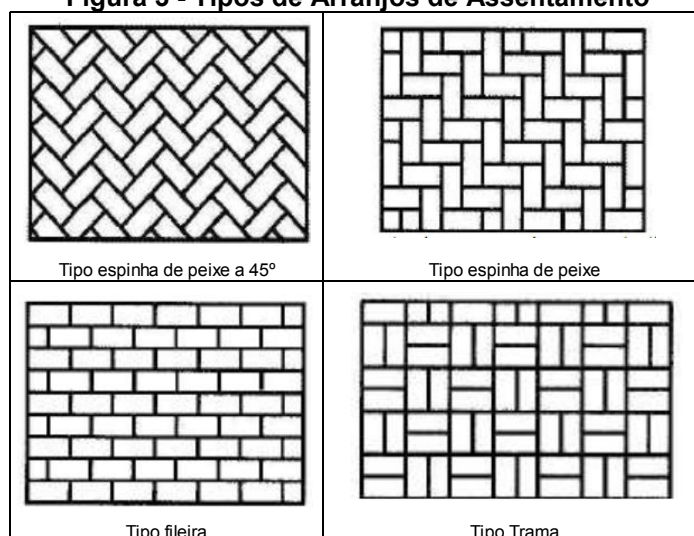
Figura 2 - Blocos de Concreto para Pavimentos Intertravados



Fonte: Adaptado <https://oterprem.com.br/pisos-intertravados/>, 2021

Assim como os formatos, os arranjos de assentamento são diversos para pavimentos intertravados, conforme figura 3. Para o boletim técnico 4 do ICPI (2020), o arranjo da espinha de peixe gera um intertravamento mais efetivo.

Figura 3 - Tipos de Arranjos de Assentamento



Fonte: Adaptado ABCP, 2011

Em 2015 a ABNT publicou a NBR 16.416, determinando que os pavimentos intertravados permeáveis são aqueles que possuem coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s, espessura mínima conforme quadro 1 e são classificados em 3 tipos:

- Blocos com juntas alargadas, permite a ocorrência da infiltração através das juntas;
- Blocos com áreas vazadas, permite que a infiltração ocorra nas áreas vazadas, possuindo vegetação rasteira ou não; e
- Blocos permeáveis, cuja porosidade permite que a infiltração ocorra pela peça de concreto.

Onde, em pavimentos com blocos de área vazada ou juntas larga a área de percolação deve corresponder ao intervalo de 7% a 15% da área total.

Quadro 2 - Espessura mínima de revestimentos permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)
Peça de concreto (junta alargada ou área vazada)	Tráfego de pedestre	60
	Tráfego leve	80
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestre	60
	Tráfego leve	80
Placa de concreto	Tráfego de pedestre	60
	Tráfego leve	80
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestre	60
	Tráfego leve	100

Fonte: Adaptado ABNT (2015)

Na pesquisa realizada por Bruno et al. (2013), em uma instalação experimental em Cuiabá/MT dentro do campus da Universidade Federal do Mato Grosso com solo classificado como argiloso, realizado através de 3 ensaios de simulação de precipitações, com intensidade de 79 mm/h e 121 mm/h, em 5 módulos experimentais de 0,70 m² com superfícies, como, blocos de concreto vazados, blocos de concreto maciços, concreto convencional, solo exposto e solo grama. Foi avaliado a capacidade de infiltração de cada módulo para cada intensidade pluviométrica, conforme pode ser visto na tabela 4:

Tabela 4 - Taxa de infiltração médias encontradas por Bruno et al. (2013)

Tipo de superfície	Blocos de concreto vazados	Blocos de concreto maciços	Concreto convencional	Solo exposto	Solo gramado
Intensidade de Precipitação 79 mm/h	78,07	48,2	3,11	29,15	Infiltração total
Intensidade de Precipitação 121 mm/h	84,00	48,71	6,01	42,85	96,3

Fonte: BRUNO et al. (2013)

Já Maus et al. (2014) em seu experimento desenvolvido em Santa Maria - RS determinou a capacidade de infiltração em módulos de 3 m² e inclinação de 7% com superfícies de paralelepípedos, asfalto, gramado e pavimento permeável. Com uma precipitação acumulada de 236,62 mm em cada pavimento, obteve os seguintes resultados, tabela 5:

Tabela 5 - Volume escoado e infiltrado encontrados por Maus et al. (2007)

Pavimento	Escoamento superficial (mm)	Infiltração (mm)
Asfalto	168,00	68,62
Paralelepípedo	51,34	185,28
Gramado	5,00	231,62
Pavimento permeável	0,00	236,62

Fonte: MAUS et al. (2014)

Conforme apresentados nos estudos, pavimentos intertravados sendo permeáveis, blocos de concretos vazados, paralelepípedos ou blocos de concreto maciços em módulos experimentais apresentam capacidade de permitir a infiltração da precipitação no solo. Ainda que em alguns casos menor que condições não pavimentadas, consegue minimizar o escoamento superficial consideravelmente quando comparados com asfalto e concreto convencional.

3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Para avaliar a capacidade de infiltração dos pavimentos intertravados da cidade de Toledo/PR serão realizados ensaio em locais e utilizados a metodologia da NBR 16.416:2015 e do infiltrômetro de anel único, conforme técnicas e materiais apresentados neste capítulo.

3.1 Região de estudo

O município de Toledo é localizado na região oeste do Paraná e faz parte da Bacia Hidrográfica do Paraná 3, bacia que é parte direta da área de drenagem do rio Paraná. Tendo uma rede hidrográfica significativa e declividade urbana de até 30°, que favorecem o escoamento das águas pluviais (TOLEDO, 2011).

Segundo dados do IBGE, tem população estimada para 2020 de 142.645 pessoas e em 2010 possuía uma densidade demográfica de 99,68 hab./km², onde 40,8 % dos domicílios urbanos contam com bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio.

De acordo com levantamento feito por De Almeida e Pereira (2019), o solo característico do município é um solo argiloso com grandes quantidades de finos, elevada porosidade e coloração avermelhada.

As amostras foram obtidas em 6 pontos de passeios de 3 vias estruturantes do município que estão denominados e localizados conforme tabela 6:

Tabela 6 – Localização pontos amostrais

ID	Lat.	Long.	Alt	Logradouro
E1	-24,450232	-53,432872	539,73	Rua 1º de Maio
E2	-24,425528	-53,454796	565,09	Rua Laurindo Moterle
E3	-24,425428	-53,460573	564,43	Rua Laurindo Moterle
E4	-24,432308	-53,455668	579,05	Avenida União
E5	-24,434069	-53,455379	583,79	Avenida União
E6	-24,443782	-53,432788	531,26	Rua 1º de Maio

Fonte: Aatoria própria (2021)

Conforme figura 4, pode-se observar que a Rua 1º de Maio está localiza na região sudeste do município, atravessando o bairro dos pioneiros no sentido Norte-Sul, já os demais estão localizados na região oeste do município, sendo a Avenida União ligando a Vila Becker com bairro Coopagro no sentido Norte-Sul e a Rua Laurindo Moterle atravessando o bairro Coopagro no sentido Leste-Oeste.

Figura 4 - Imagem aérea com localização dos pontos amostrais



Fonte: Aútoria própria (2021)

Os pontos E1 e E6, localizados conforme tabela 6, são dois pontos em que a via foi revitalizada no ano de 2007 sendo realizada a padronização dos passeios com calçamento em pavimentos intertravados permeáveis padrão do município conforme legislação municipal. O E1, se trata de um pavimento em praça pública estimando receber manutenções, como, varrições de maneira mais frequentes, já o E6 está localizado na lateral de um colégio municipal e próximo a um centro cultural, estimando um tráfego moderado e baixa manutenção.

Os pontos E2 e E3, localizados conforme tabela 6, são dois pontos em que a via foi reurbanizada de 2016 a 2019, conforme pedra fundamental da obra, estimando segundo notícia do portal do município que os passeios foram executados por volta de 2018. Ambos os pontos os pavimentos intertravados foram assentados tipo trama e possuem condições parecidas de manutenção.

Os pontos E4 e E5, localizados conforme tabela 6, são dois pontos em que a via foi urbanizada de 2014 a 2015, estimando a execução dos passeios no primeiro semestre de 2015 segundo notícias do município. Os passeios possuem pavimentos intertravados assentado predominantemente no tipo trama e faixa de grama entre o pavimento intertravado e a guia, conjunto de ações que visam diminuir o escoamento superficial que vão para sistema de drenagem.

3.2 Ensaio de infiltração utilizando anel único

Este trabalho será realizado com infiltrômetro de anel único, realizando uma adaptação do método dos anéis concêntricos apresentados por JABUR et al. (2015), utilizando massa de calafetar para realizar a vedação nos pavimentos.

Como apresentado por Bean et al. (2004) apud Bazzo e Horn (2017), o método do anel único se demonstra uma alternativa que minimiza o tempo exigido, tem uma execução facilitada e uma relação custo-benefício como vantagens e é um método válido para estimar taxa de infiltração superficial rápida e alta.

Para a instalação do anel serão adotados procedimento de limpeza, como, varrição e retirar de detritos, no local e fixação nas superfícies dos pavimentos com massa de calafetar para evitar possíveis vazamento, conforme fotografia 1.

Fotografia 1 - Infiltrômetro de cilindro único usado para o teste de infiltração



Fonte: Autoria própria (2021)

A realização da leitura da carga hidráulica será por meio de régua milimétrica.

Seguindo o procedimento de Jabur et al. (2015) a contagem do tempo para a infiltração da água se inicia no momento que é realizada a primeira leitura do nível da água no cilindro e é acrescido água quando o nível de água do anel se aproximavam de 100 mm de carga hidráulica.

No ensaio a carga hidráulica será mensurada pelas medidas no interior do cilindro interno com intervalo de 5 min. O ponto de parada do ensaio é determinado pela estabilização da carga hidráulica em três leituras consecutivas, onde é considerado que o solo alcançou a taxa de infiltração estável.

3.2.1 Modelagem matemática do processo de infiltração

Para ajustar os valores de infiltração e obter o coeficiente de permeabilidade, será utilizado o Modelo de Horton, Equação (1), conforme apresentado na calibração realizada por Bazzo; Horn (2017):

$$f = f_c + (f_o - f_c) * e^{-\beta * t} \quad (1)$$

Sendo: f é o coeficiente de permeabilidade (mm/h); f_c é a capacidade de infiltração final (mm/h); f_o é a capacidade de infiltração inicial (mm/h); β é a constante que depende do experimento (1/h) e t é o tempo de infiltração (h).

A determinação dos parâmetros f_c , f_o e b será realizado por meio do método dos mínimos quadrados ordinários, utilizando os pares ordenados (f,t) obtidos experimentalmente.

3.3 Determinação do coeficiente de permeabilidade

O ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade dos pavimentos intertravados seguirá a NBR 16.416:2015 (Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos). A norma preconiza a utilização de um anel com 300 mm de diâmetro e altura mínima de 50 mm, com demarcações de carga hidráulica de 10 mm e 15 mm de altura e um volume de água pré-determinado.

Na preparação para execução, o local será limpo apenas com varrição retirando detritos que não estejam aderidos pelo pavimento e o anel de infiltração fixado na superfície com auxílio da massa de calafetar, não permitindo vazamentos.

O ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade deve ser iniciado em até 2 minutos após a pré-molhagem, que conforme a NBR 16.416, determina a quantidade de água que deve ser utilizada. Para o tempo de pré-molhagem menor que 30 s deve ser utilizado $18 \pm 0,05$ kg de água (18 Litros) e para um tempo superior a 30 s deve ser utilizado $3,60 \pm 0,05$ kg de água (3,6 Litros), sustentando a carga hidráulica de 10 mm a 15 mm.

Para determinar o coeficiente de permeabilidade do ensaio de anel simples

será utilizado a metodologia apresentada na NBR 16.416:2015, conforme apresentada na equação (2):

$$k = \frac{C*m}{(d^2*t)} \quad (2)$$

Onde: k é o coeficiente de permeabilidade (mm/h); m é a massa de água infiltrada (kg); d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração (300 mm); t é o tempo de percolação de toda a água (s); C é o fator de conversão de unidades do SI, igual à 4.586.666.000.

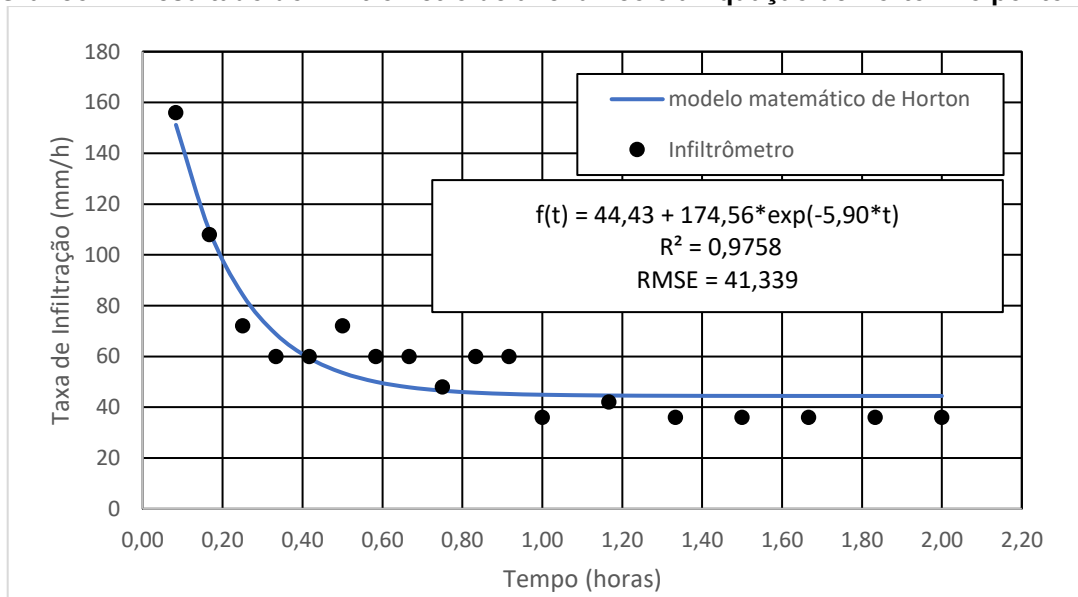
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelo de Horton

Para a determinação do modelo de Horton foi utilizado os valores dos ensaios de infiltração de anel único, obtidos em campo, com auxílio de planilha de cálculos que permitiram os valores de taxa de infiltração e o parâmetro β da equação de Horton, que possibilitou a análise da capacidade de infiltração e discussões sobre a taxa de infiltração dos pavimentos estudados.

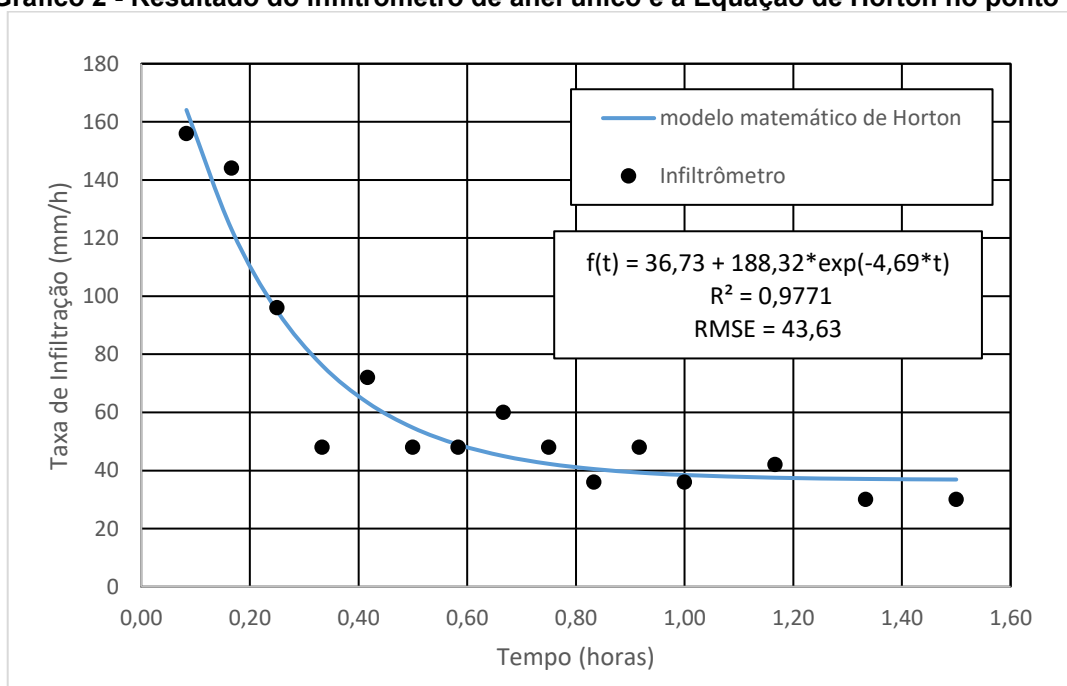
Com os dados dos ensaios ajustados foi possível construir a curva de taxa de infiltração, obtendo a constante β e os valores de ajuste do coeficiente de determinação (R^2) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE), conforme apresentados a seguir para cada ensaio, do gráfico 1 até o gráfico 6:

Gráfico 1 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E1



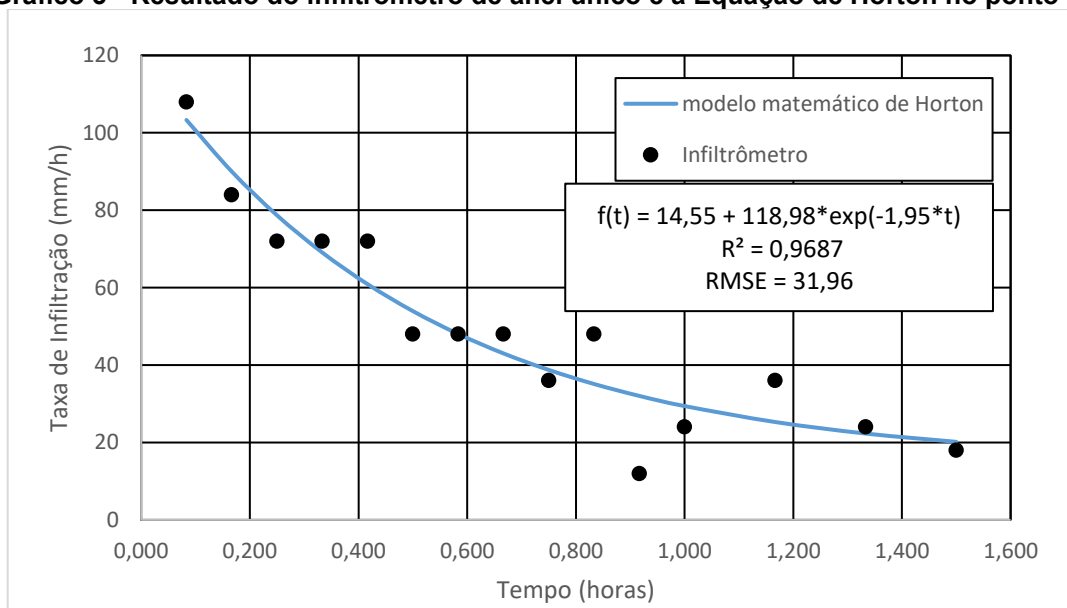
Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 2 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E2



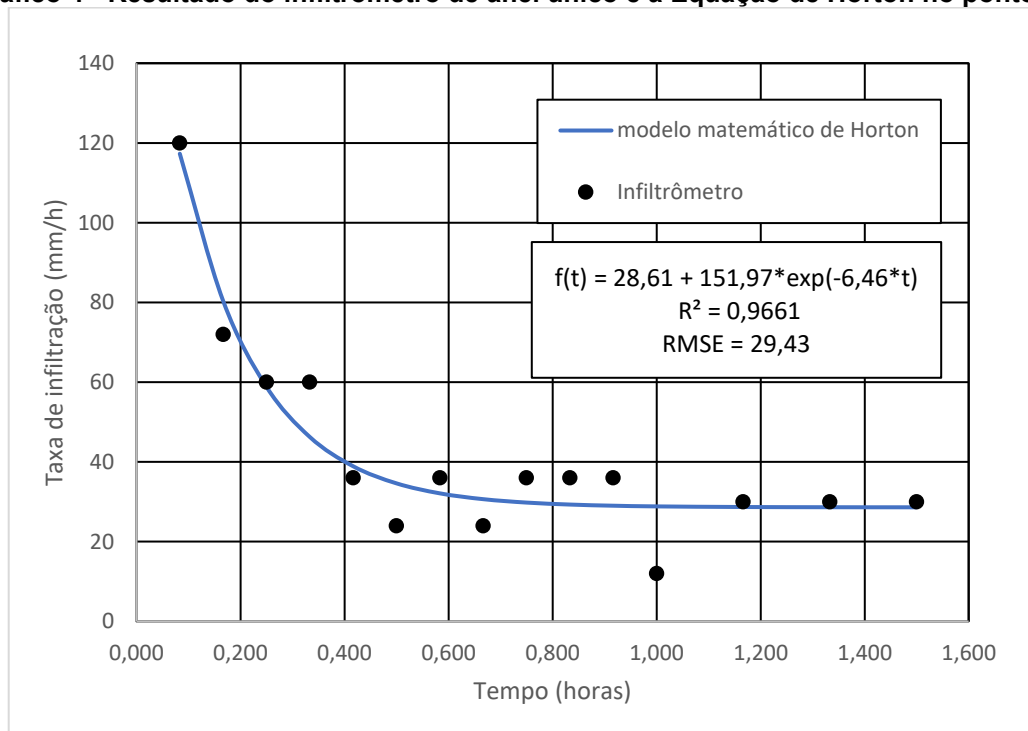
Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 3 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E3



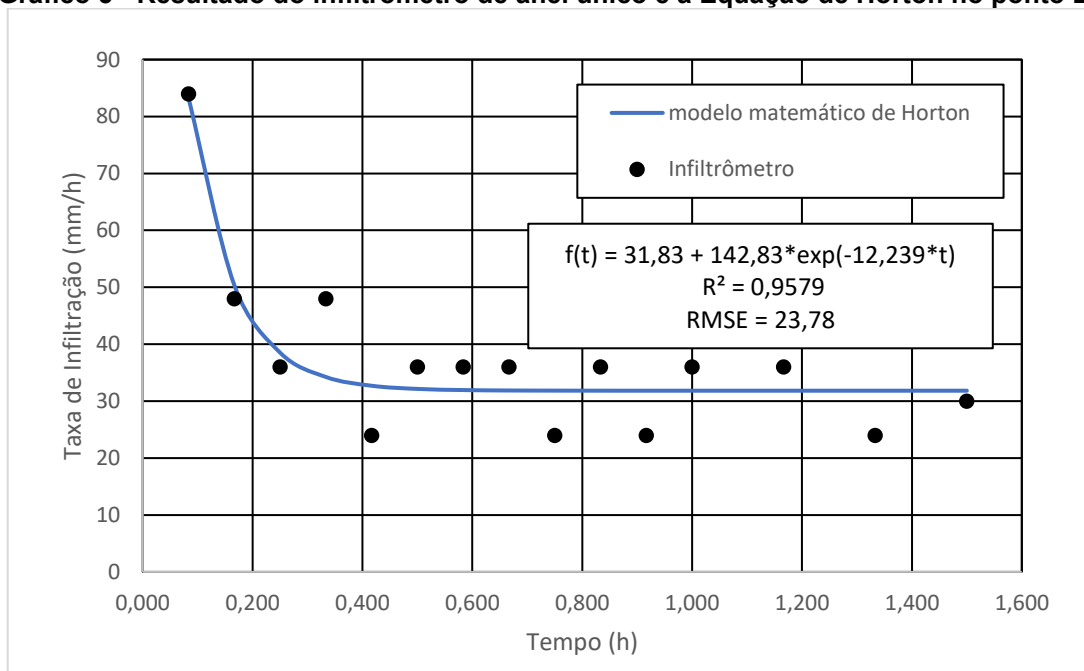
Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 4 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E4



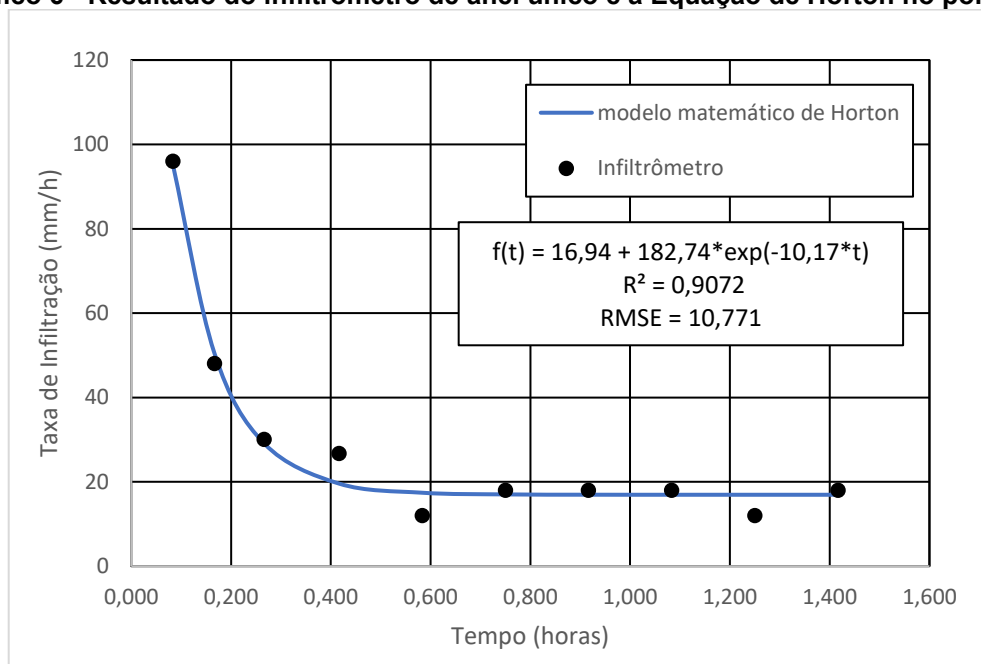
Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 5 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E5



Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 6 - Resultado do infiltrômetro de anel único e a Equação de Horton no ponto E6



Fonte: Autoria própria (2021)

Os ensaios nos pontos E1 e E6, que foram realizados na rua 1º de maio, apresentaram uma diferença de 38% na capacidade final de infiltração. O ensaio E1, apresentou um f_0 de 44,43 mm/h e f_c de 218,99 e o ensaio E6 demonstrou a capacidade final, f_0 , de 16,94 mm/h e capacidade inicial, f_c , igual a 199,68 mm/h. Isso demonstra uma maior capacidade de infiltração no ponto E1 em relação ao ponto E6, podendo estar relacionado com as condições de colmatção no ponto E6, conforme fotografia 2.

Fotografia 2 - Ponto amostral E6



Fonte: Autoria própria (2021)

Uma comparação entre os pontos E2 e E3 ficou comprometida, pois, conforme

gráfico 3, pode-se observar que a amostra E3 não foi conduzida até a estabilização da taxa de infiltração.

Analisando os pontos amostrais E4 e E5, que ficam localizados na Avenida União, verificamos que possuem capacidades semelhantes apesar de apresentar paginações diferente. No caso do ponto E4, tipo espinha de peixe, apresentou capacidade de infiltração final de 28,61 mm/h e capacidade de infiltração inicial de 180,58 mm/h, já o ponto E5, tipo trama, apresentou capacidade de infiltração final e inicial de 31,83 mm/h e 174,66 mm/h, respectivamente. Apesar de pequena diferença a capacidade de infiltração inicial pode ter relação com o fator apresentado por Martins (2014), em que para juntas de mesma espessura o tipo espinha de peixe possui uma maior área de infiltração, favorecendo a infiltração inicial do ponto E4.

Comparando o ponto mais favorável, E1, com o ensaio de anéis concêntricos em pavimento poroso obtido por JABUR et al. (2015). Temos que o asfalto poroso apresenta uma infiltração inicial de 208,306 mm/h e infiltração final de 71,88 mm/h, apesar da infiltração inicial terem uma diferença de 10,69 mm/h, capacidade de infiltração final é 1,62 vezes maior no asfalto poroso. Isso se justifica pois o ensaio conduzido no asfalto poroso possui um sistema de drenagem com diferentes granulometrias aumentando a área de vazios compara ao solo, já a capacidade inicial o asfalto poroso descrito com sinal de colmatção prejudicando a sua superfície porosa.

4.2 Teste de infiltração NBR 16.416:2015

Com os ensaios realizados de acordo com a NBR 16.416 de 2015, realizando a tomada de tempo para a pré-molhagem todos foram superiores a 30s e com isso todos os ensaios foram realizados com $3,60 \pm 0,05$ Kg de água, obtendo os coeficientes de permeabilidade conforme tabela 7, a seguir

Tabela 7 - Coeficiente de Permeabilidade pela NBR 16416:2015

Pontos Amostrais	massa d'agua (Kg)	tempo (s)	K (mm/h)	K (m/s)
E1	3,604	2659,27	690,63	1,92E-04
E2	3,606	7278,95	252,45	7,01E-05
E3	3,599	7401,63	247,79	6,88E-05
E4	3,603	5071,43	362,04	1,01E-04
E5	3,598	5594,42	327,74	9,10E-05
E6	3,600	15999,6	114,66	3,19E-05

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos resultados obtidos, temos que o pavimento no ponto E1 tem o maior coeficiente de permeabilidade de $1,92 \times 10^{-4}$ m/s e o ponto E6 o menor com $3,19 \times 10^{-5}$ m/s, apesar de ambos estarem no mesmo logradouro o fator do E1 estar localizado em uma praça pública, onde há manutenções constantes pode o fator para a diferença, como apresentado por Marchioni e Silva (2011) apud Martins (2014) a recomendação de realizar uma limpeza anual para manter a vida útil do pavimento. Já os demais passeios de mesmos logradouros apresentam coeficiente semelhantes, demonstrando que execuções em etapas únicas apresentam mais homogeneidade na permeabilidade.

Com a comparação dos resultados dos ensaios com os valores típicos de taxa de infiltração apresentado por JABUR et al. (2015), tabela 8, podemos classificar os pavimentos intertravados com grau de permeabilidade média. Logo, os pavimentos apresentam uma capacidade de infiltração comparada a areia de brita, areia limpa e areia fina.

Tabela 8 - Valores típicos de taxa de infiltração de solo

Tipo de Solo	Coeficiente de permeabilidade K (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	>10 ⁻³	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	Média
Areia, areia suja e silte argiloso	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	Baixa
Silte, Silte argiloso e silte arenoso	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁹	Muito Baixa
Argila	<10 ⁻⁹	Praticamente Impermeável

Fonte: JABUR et al. (2015)

Quando comparado com pavimentos intertravados de outras regiões, Martins (2014) obteve coeficientes de permeabilidade em um intervalo de $1,248 \times 10^{-5}$ (m/s) a $8,769 \times 10^{-6}$ (m/s) em uma análise de idêntica para pavimentos intertravados no município de Pato Branco, sendo os pavimentos intertravados existentes em Toledo possuindo uma capacidade superior.

Comparando alternativas de pavimentos e métodos executivos, Ono et al. (2017) apresenta taxa em infiltração em todas as amostras na casa de 10^{-3} m/s com

uso de bloco articulado que permite a infiltração pelas juntas e que possui cavidades transversais que permite a passagem do fluxo da água para dreno auxiliares. Em seu estudo foi construída uma pista experimental com sistema sem infiltração para o solo, impermeabilizando o subleito, escoando a precipitação pelas cavidades transversais das juntas até uma trincheira drenante. Sendo neste caso pode-se atribuir ao fato de não existir infiltração das precipitações para o solo e tem um escoamento facilitado por sistema de drenagem.

Entretanto comparados os resultados da tabela 7 com a apresentada na NBR 16.416:2015, que determina coeficientes de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s para pavimentos recém-construídos, temos que nenhum passeio possui coeficiente inferior o que é esperado devido a tempo de execução dos pavimentos.

Já de acordo com o item 11 da mesma normativa, determina que o pavimento permeável após período de uso apresentar coeficiente de permeabilidade menor ou igual a 10^{-5} m/s, portanto, temos que a Rua Laurindo Moterle, E2 e E3, Avenida União na região do E5, e Rua 1º de Maio na região do E6, devem passar por procedimentos de limpeza seguindo as recomendações, como:

- Remoção de sujeiras e detritos por meio de varrição mecânica ou manual;
- Aplicação de jato de água sob pressão;
- Aplicação de equipamentos para a retirada de finos;
- Recomposição do material de rejuntamento cumprindo as especificações do item 6.5.

Após a realização de limpeza deverá ser realizada novos ensaios onde devem apresentar no mínimo 80 % do coeficiente para um pavimento recém-construído.

4.3 Coeficiente de permeabilidade de Horton (β) x K da NBR 16.416

Conforme apresentado por Bazzo e Horn (2017), o β representa a taxa de decaimento de infiltração no tempo, estando relacionados com fatores da condição do pavimento, como umidade, temperatura, tipo de solo, carga hidráulica e compactação dos ensaio.

Com isso, podemos observar pelos gráficos, apresentados da figura 6 a 11, que quanto maior o β menor o tempo para que o pavimento chegue à capacidade mínima de infiltração. Assim como pode-se observar nos trabalho conduzidos por

Bazzo e Horn (2017) onde o ensaio com maior β , igual a -13,05, se atingiu a capacidade mínima com aproximadamente 0,6h e com β de -2,38 se atingiu a capacidade mínima com tempo superior a 1,5h.

Já o coeficiente K apresentado pela NBR 16.416 tem por função medir o coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável, determinando assim apenas a taxa na qual a água infiltra pelo pavimento.

Tabela 9 - Fatores de permeabilidade

Pontos Amostrais	K (mm/h)	K (m/s)	β (1/h)
E1	690,635	1,92E-04	5,903
E2	252,455	7,01E-05	4,694
E3	247,788	6,88E-05	1,95
E4	362,043	1,01E-04	6,461
E5	327,742	9,10E-05	12,239
E6	114,662	3,19E-05	10,165

Fonte: Autoria própria (2021)

Não possuindo um fator de comparação direto entre os valores, conforme tabela 9, tem-se que o com o coeficiente de Horton é possível obter capacidade de infiltração do pavimento e a determinação do seu comportamento no decorrer do tempo. Para o fator K se determina o coeficiente de permeabilidade, sendo somente a taxa de água que infiltra no pavimento para as camadas inferiores.

Na determinação de qual o melhor ensaio, tem-se que para pavimento permeáveis descrito pela NBR 16.416:2015 na qual o coeficiente de permeabilidade seja $>10^{-3}$ m/s e pavimentos sejam recém construídos a determinação pelo modelo de Horton poderia conduzir a muitas horas de ensaio e conduzir a erros, dado alta capilaridade necessária para tal permeabilidade, porém para ensaios em que os pavimentos menos permeáveis, como os pavimentos mais velhos, o modelo de Horton com coeficiente β podem auxiliar na determinação da real capacidade do pavimento para chuvas longas.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi a de avaliar a capacidade de infiltração dos pavimentos de intertravados executados nos passeios de vias reurbanizadas pelo método apresentado pela NBR 16416:2015 (Pavimentos permeáveis de concreto) e da metodologia do infiltrômetro de anel único utilizando o modelo de Horton. Com o modelo da NBR 16416:2015 foi possível determinar que os passeios executados apresentam um grau de infiltração de médio e com a modelagem de Horton descobriu que a pontos com uma taxa de infiltração próxima a 15mm/h.

Os coeficientes de permeabilidade determinados pelo método da NBR 16416:2015, demonstrou que os pavimentos que foram executados em projetos de reurbanização no município de Toledo-PR possuem coeficiente de permeabilidade próximos a 10^{-5} m/s, valores inferiores ao requerido pela norma para pavimentos permeáveis. No entanto, para os valores a norma recomenda a realização de manutenção com o objetivo de desobstruir a passagem das precipitações e aumentar o coeficiente.

A modelação matemática associada ao infiltrômetro de anel único possibilitou entender a característica do processo de infiltração no decorrer do tempo, como no caso em desfavorável em que a capacidade inicial de infiltração foi de 199,68 mm/h e a capacidade final de infiltração foi de apenas 16,94mm/h teve um coeficiente β igual a -10,17, já no caso mais favorável teve um coeficiente β igual a -4,69 em que a capacidade inicial foi de 225,05 e a capacidade final foi de 36,74mm/h. Isso demonstrou que alguns pavimentos perdem a capacidade de amortecimento da precipitação em um curto espaço de tempo e outros tende a amortecer uma maior quantidade de precipitações.

Contudo, apesar dos pavimentos estudos não apresentarem os coeficientes requeridos por norma para serem considerados permeáveis eles apresentaram coeficientes de permeabilidade aceitáveis pela idade dos pavimentos.

Sugere-se para futuras pesquisas a análise de pavimentos intertravados de superfícies porosas, para que possa verificar as diferenças dos coeficientes de permeabilidade.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, M. D. S. P.; POLETO, C. Sistemas Sustentáveis De Drenagem Urbana: Dispositivos. **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 121, 2012.
- DE ALMEIDA, M. A.; PEREIRA, D. F. Mapeamento Geotécnico : Estudo das Propriedades Geotécnicas do Solo do Perímetro Urbano de Toledo-PR. **XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul GEOSUL**, 2019.
- BAZZO, J. A.; HORN, P. L. **Calibração do modelo matemático de infiltração de horton em pavimento de concreto tipo blocos intertravados**. 2017.
- BRUNO, L.; AMORIM, R.; SILVEIRA, A. Estudo da Redução do Escoamento Superficial Direto em Superfícies Permeáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 237–247, 2013.
- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. DOS S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 94–108, 2019.
- JABUR, A.; DORNELLES, F.; SILVEIRA, A.; et al. Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 937–945, 2015.
- MARTINS, R. M. Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de Concreto. , p. 49, 2014.
- MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**, p. 1–8, 2014.
- ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **TRANSPORTES**, v. 25, n. 2, p. 90–101, 2017. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1314>>. .
- PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. DO N. Análise da Permeabilidade e dos Métodos de Instalação de Pavimentos Permeáveis Contidos em Artigos Científicos e em Catálogos Técnicos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 15, p. 142–157, 2015.
- PRINCE GEORGE'S COUNTY, M. **Low-Impact Development Design Strategies An Integrated Design Approach**. Maryland: Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, 1999.
- RIGHETTO, A. M. Manejo De Águas Pluviais Urbanas. **Abes**. p.396, 2009. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Rehisa0/TerceiraReuni?oRelat?rios/2RelatrioParcial-UFRN.doc>>. .
- SILVEIRA, A. L. L. DA. Aspectos de Gestão. **DRENAGEM URBANA: Aspectos de Gestão**. v. 1ª edição, 2002.

SUDERHSA. Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR. . p.1–150, 2002.

TUCCI, C.; CRUZ, M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 59–71, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

TUCCI, C. E. M. Textos para Discussão CEPAL • IPEA Gestão da Drenagem Urbana. In: IPEA (Org.); . p.50, 2012. Brasília, DF.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; WOODS BALLARD, B.; et al. **The SUDS manual**. CIRIA, 2015.

APÊNDICE A - TABELA COM DADOS COLETADOS EM CAMPO

TABELA COM DADO DO ENSAIO DE ANEL ÚNICO COLETADOS EM CAMPO

Experimento 1

Dia:	31/10/2021	Local:	Rua 1º de Maior (P. da Bandeira)		Início:	13:30		
					Término:	15:30		
					Temperatura (°C):	27		
Tempo (min.)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura da lâmina após adição (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,00	0,000	0,00	0,000	13,70		0,00	0,00	0
5,00	0,083	5,00	0,083	12,40		1,30	13,00	156
5,00	0,083	10,00	0,167	11,50		0,90	9,00	108
5,00	0,083	15,00	0,250	10,90		0,60	6,00	72
5,00	0,083	20,00	0,333	10,40		0,50	5,00	60
5,00	0,083	25,00	0,417	9,90	16	0,50	5,00	60
5,00	0,083	30,00	0,500	15,40		0,60	6,00	72
5,00	0,083	35,00	0,583	14,90		0,50	5,00	60
5,00	0,083	40,00	0,667	14,40		0,50	5,00	60
5,00	0,083	45,00	0,750	14,00		0,40	4,00	48
5,00	0,083	50,00	0,833	13,50		0,50	5,00	60
5,00	0,083	55,00	0,917	13,00		0,50	5,00	60
5,00	0,083	60,00	1,000	12,70		0,30	3,00	36
10,00	0,167	70,00	1,167	12,00		0,70	7,00	42
10,00	0,167	80,00	1,333	11,40		0,60	6,00	36
10,00	0,167	90,00	1,500	10,80		0,60	6,00	36
10,00	0,167	100,00	1,667	10,20		0,60	6,00	36
10,00	0,167	110,00	1,833	9,60		0,60	6,00	36
10,00	0,167	120,00	2,000	9,00		0,60	6,00	36

Experimento 2

Tempo acumulado (min.)	Tempo (horas)	Tempo (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura Adicionada (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,000	0,000	0,000	0,000	14,50		0,00	0,00	0,00
5,000	0,083	5,000	0,083	13,20		1,30	13,00	156,00
5,000	0,083	10,000	0,167	12,00		1,20	12,00	144,00
5,000	0,083	15,000	0,250	11,20		0,80	8,00	96,00
5,000	0,083	20,000	0,333	10,80		0,40	4,00	48,00
5,000	0,083	25,000	0,417	10,20		0,60	6,00	72,00
5,000	0,083	30,000	0,500	9,80	14,00	0,40	4,00	48,00
5,000	0,083	35,000	0,583	13,60		0,40	4,00	48,00
5,000	0,083	40,000	0,667	13,10		0,50	5,00	60,00
5,000	0,083	45,000	0,750	12,70		0,40	4,00	48,00
5,000	0,083	50,000	0,833	12,40		0,30	3,00	36,00
5,000	0,083	55,000	0,917	12,00		0,40	4,00	48,00
5,000	0,083	60,000	1,000	11,70		0,30	3,00	36,00
10,000	0,167	70,000	1,167	11,00		0,70	7,00	42,00
10,000	0,167	80,000	1,333	10,50		0,50	5,00	30,00
10,000	0,167	90,000	1,500	10,00		0,50	5,00	30,00

Experimento 3

Dia:	01/11/2021	Local:	Rua Laurindo Mortele 2	Início:	09:55			
				Término:	11:25			
				Temperatura (°C):	23			
Tempo acumulado (min.)	Tempo (horas)	Tempo (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura Adicionada (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,00	0,000	0,00	0,000	15,4		0	0	0
5,00	0,083	5,00	0,083	14,5		0,9	9,00	108
5,00	0,083	10,00	0,167	13,8		0,7	7,00	84
5,00	0,083	15,00	0,250	13,2		0,6	6,00	72
5,00	0,083	20,00	0,333	12,6		0,6	6,00	72
5,00	0,083	25,00	0,417	12		0,6	6,00	72
5,00	0,083	30,00	0,500	11,6		0,4	4,00	48
5,00	0,083	35,00	0,583	11,2		0,4	4,00	48
5,00	0,083	40,00	0,667	10,8		0,4	4,00	48
5,00	0,083	45,00	0,750	10,5		0,3	3,00	36
5,00	0,083	50,00	0,833	10,1		0,4	4,00	48
5,00	0,083	55,00	0,917	10		0,1	1,00	12
5,00	0,083	60,00	1,000	9,8		0,2	2,00	24
10,00	0,167	70,00	1,167	9,2		0,6	6,00	36
10,00	0,167	80,00	1,333	8,8		0,4	4,00	24
10,00	0,167	90,00	1,500	8,5		0,3	3,00	18

Experimento 4

Dia:	01/11/2021	Local:	Rua Hospital	Início:	14:36			
				Término:	16:06			
				Temperatura (°C):	29			
Tempo acumulado (min.)	Tempo (horas)	Tempo (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura Adicionada (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,00	0,000	0,00	0,000	15,6		0	0	0
5,00	0,083	5,00	0,083	14,6		1	10,00	120
5,00	0,083	10,00	0,167	14		0,6	6,00	72
5,00	0,083	15,00	0,250	13,5		0,5	5,00	60
5,00	0,083	20,00	0,333	13		0,5	5,00	60
5,00	0,083	25,00	0,417	12,7		0,3	3,00	36
5,00	0,083	30,00	0,500	12,5		0,2	2,00	24
5,00	0,083	35,00	0,583	12,2		0,3	3,00	36
5,00	0,083	40,00	0,667	12		0,2	2,00	24
5,00	0,083	45,00	0,750	11,7		0,3	3,00	36
5,00	0,083	50,00	0,833	11,4		0,3	3,00	36
5,00	0,083	55,00	0,917	11,1		0,3	3,00	36
5,00	0,083	60,00	1,000	11		0,1	1,00	12
10,00	0,167	70,00	1,167	10,5		0,5	5,00	30
10,00	0,167	80,00	1,333	10		0,5	5,00	30
10,00	0,167	90,00	1,500	9,5		0,5	5,00	30

Experimento 5

Dia:	01/11/2021	Local:	Rua Hospital	Início:	16:32			
				Término:	18:06			
				Temperatura (°C):	29			
Tempo acumulado (min.)	Tempo (horas)	Tempo (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura Adicionada (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,00	0,000	0,00	0,000	15,5		0	0	0
5,00	0,083	5,00	0,083	14,8		0,70	7,00	84,00
5,00	0,083	10,00	0,167	14,4		0,40	4,00	48,00
5,00	0,083	15,00	0,250	14,1		0,30	3,00	36,00
5,00	0,083	20,00	0,333	13,7		0,40	4,00	48,00
5,00	0,083	25,00	0,417	13,5		0,20	2,00	24,00
5,00	0,083	30,00	0,500	13,2		0,30	3,00	36,00
5,00	0,083	35,00	0,583	12,9		0,30	3,00	36,00
5,00	0,083	40,00	0,667	12,6		0,30	3,00	36,00
5,00	0,083	45,00	0,750	12,4		0,20	2,00	24,00
5,00	0,083	50,00	0,833	12,1		0,30	3,00	36,00
5,00	0,083	55,00	0,917	11,9		0,20	2,00	24,00
5,00	0,083	60,00	1,000	11,6		0,30	3,00	36,00
10,00	0,167	70,00	1,167	11		0,60	6,00	36,00
10,00	0,167	80,00	1,333	10,6		0,40	4,00	24,00
10,00	0,167	90,00	1,500	10,1		0,50	5,00	30,00

Experimento 6

Dia:	02/11/2021	Local:	Rua 1º de Maio	Início:	17:10			
				Término:	18:01			
				Temperatura (°C):	27			
Tempo acumulado (min.)	Tempo (horas)	Tempo (min.)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Altura Adicionada (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/h)
0,00	0,000	0,000	0,000	15,6		0,00	0,00	0,00
5,00	0,083	5,0	0,083	14,8		0,80	8,00	96,00
5,00	0,083	10,0	0,167	14,4		0,40	4,00	48,00
6,00	0,100	16,0	0,267	14,1		0,30	3,00	30,00
9,00	0,150	25,0	0,417	13,7		0,40	4,00	26,67
10,00	0,167	35,0	0,583	13,5		0,20	2,00	12,00
10,00	0,167	45,0	0,750	13,2		0,30	3,00	18,00
10,00	0,167	55,0	0,917	12,9		0,30	3,00	18,00
10,00	0,167	65,0	1,083	12,6		0,30	3,00	18,00
10,00	0,167	75,0	1,250	12,4		0,20	2,00	12,00
10,00	0,167	85,0	1,417	12,1		0,30	3,00	18,00