



## ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL PARA APLICAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO NO LATOSSOLO VERMELHO

<sup>1</sup>Jenifer Fernanda Ribeiro Da Silva; <sup>2</sup> Lais Fernanda Juchem do Nascimento

<sup>1</sup>Acadêmica de 5º ano de Engenharia Civil da Unipar;

<sup>2</sup>Docente de Engenharia Civil da Unipar;

### Resumo

Os problemas causados pelas chuvas nas grandes cidades são decorrentes das ações humanas na ocupação e uso do solo, que afeta diretamente a quantidade e a qualidade do escoamento superficial. A impermeabilização em áreas urbanas resulta em inundações frequentes devido aos altos picos de vazão. O uso de pavimentos permeáveis nessas áreas urbanas pode reduzir o escoamento superficial e aumentar a recarga das águas subterrâneas. Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicabilidade do concreto permeável pelos seus aspectos físicos e mecânicos para a pavimentação e como é seu comportamento em contato com o latossolo vermelho. Foram realizados ensaios de granulometria, agregado graúdo, para o concreto (traços 1:3 e 1:4), índice de vazios, resistência à compressão, permeabilidade, e um protótipo. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de concreto e solos da Universidade Paranaense - Unipar de Guaíra/PR. Nos resultados obtidos, o coeficiente de permeabilidade do traço analisado é de 0,158 m/s, valor superior ao determinado pela NBR 16416/2015, o protótipo, é impermeável quando em contato com o latossolo, mas a água infiltra-se devagar. A resistência à compressão do traço 1:3 apresentou valores, com média de 20,85 MPa, já o traço 1:4 apresentou valores inferiores com média de 10,35 MPa. Diante do exposto ele pode ser implementado em estacionamentos e calçadas, pois ele evita as poças de água em dias de chuva por ser capaz de absorver esta água.

**Palavras-chave:** Concreto Permeável; Escoamento; Latossolo; Permeabilidade.

### Abstract

The problems caused by rainfall in large cities are due to human actions in land occupation and use, which directly affect the quantity and quality of runoff. Sealing in urban areas results in frequent flooding due to high peak flows. The use of permeable sidewalk in these urban areas can reduce surface runoff and increase groundwater recharge. This work aims to analyze the applicability of permeable concrete for its physical and mechanical aspects for paving and how and its behavior in contact with red latosol. Tests of granulometry, coarse aggregate, concrete (1:3 and 1:4 mixes), void index, compressive strength, permeability, and a prototype were performed. The procedures were carried out at the Concrete and Soil Laboratory of the Paranaense University - Unipar of Guaíra/PR. In the results obtained, the permeability coefficient of the analyzed mixture is 0,158 m/s, a value higher than that determined by NBR 16416:2015, the prototype, is impermeable when in contact with the latosol, but the water infiltrates slowly. The compressive strength of the 1:3 mixture showed values with an average of 20,85 MPa, while the 1:4 mixture showed lower values with an average of 10,35 MPa. Given the above, it can be implemented in parking lots and sidewalks, because it avoids puddles on rainy days by being able to absorb this water.

**Keywords:** Permeable Concrete; Runoff; Latosol; Permeability.



## **1 Introdução**

A urbanização se destaca, entre as atividades humanas de maior impacto ambiental, resultando em mudanças no uso e ocupação do solo. As cidades ao longo dos anos foram se desenvolvendo devido ao seu rápido crescimento populacional, não apenas a cobertura vegetal original foi removida, mas também foi aumentando a impermeabilização urbana com os tipos de pavimentação utilizadas (MALLMANN, 2017).

Com isso, houve consequências como perdas econômicas e sociais para a população com o agravamento das cheias e como também outros danos. Como por exemplo na infraestrutura e habitações: a degradação do ambiente natural, desvalorização do ambiente construído, propagação de doenças de veiculação hídrica, empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outras (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Para Butler (2004) surge então a necessidade de sistemas de drenagem em áreas urbanas desenvolvidas devido à interação entre as atividades humanas e o ciclo hidrológico natural. Ocorre de duas maneiras: retirando água do ciclo hidrológico para abastecimento da população, e em áreas onde a superfície é impermeável, a água da chuva é desviada de sua localização natural por meio de escoamento superficial elevado, interrompendo o ciclo hidrológico. Diferente do concreto convencional, o concreto permeável é regido por duas propriedades: resistência e permeabilidade, a primeira permitindo a utilização de material ou não de acordo com sua capacidade de resistência, e a segunda permitindo que a água penetre em sua estrutura porosa (CHANDRAPA; BILIGRI, 2016).

Segundo Silva (2019), o concreto permeável possui benefícios ambientais e proporciona maior conforto e segurança. Nos estacionamentos que também se caracterizam pelo trânsito pedestres, a sua utilização oferece maior conforto ao utilizador, pois eliminam-se poças e profundidades de água em dias de chuva. Além disso, quando a estrada está com gelo ou neve, a superfície da estrada é mais segura porque o veículo adere melhor à superfície da estrada e a rugosidade da superfície da estrada é maior.

Portanto, para o assunto abordado, deve-se buscar técnicas construtivas que trabalhem com a redução de áreas impermeáveis, a utilização de pavimentos permeáveis pode ser uma solução para as inundações urbanas devido à sua alta capacidade de infiltração, bem como o adequado preparo da superfície resulta em uma alta capacidade de retenção de água, reduzindo assim o pico de volume de inundação (SOUSA, BAHIENSE 2013).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é verificar a aplicabilidade do concreto permeável pelos seus aspectos físicos e mecânicos para a pavimentação, respectivamente, analisando a sua resistência, permeabilidade, e como é o seu comportamento em contato direto com o latossolo vermelho.

## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Pavimentação permeável**

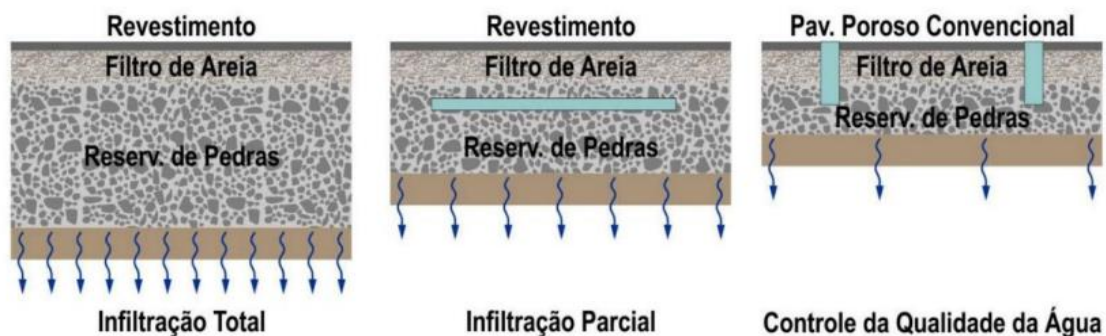
Para os autores Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2013), o pavimento poroso ou permeável surgiu, como uma alternativa para que o solo desenvolvesse a capacidade de infiltração, melhorar a drenagem da pista evitando o acúmulo de poças d'água diminuindo os ruídos que em comparado aos convencionais diminuiu significativamente a poluição sonora. Gal (2013), afirma que nos pavimentos permeáveis estão incluídos o asfalto e concreto porosos, blocos vazados e vários outros sistemas construtivos, que podem ser utilizados em áreas urbanas, como calçadas, estacionamentos, praças, parques e áreas

externas, como vias locais e tipos de acessos. De maneira mais específica, Gonçalves *et al.* (2014) descreve que o pavimento permeável é uma alternativa de dispositivo de infiltração, que se destaca devido suas propriedades que facilitam a passagem de água e ar, ou seja, o escoamento se desvia através da camada superficial permeável.

Esta camada possui espessura de 5 a 10 cm, e contém espaços livres na sua estrutura atuando como condutores rápidos da água, escoo por um filtro de agregados em torno de 1,25 cm de diâmetro e 2,5 cm de espessura, e após isso desloca-se para um reservatório de pedras profundo e que possui agregados maiores de 3,8 cm a 7,6 cm de diâmetro. Segundo Danciguer *et al.* (2016), os pavimentos permeáveis possuem características funcionais que dependem do poder de infiltração de água no solo e de armazenamento do reservatório possuem classificações. Primeiramente, infiltração total quando as águas pluviais são liberadas para abastecer os lençóis freáticos, se estiver a mesma próximo a 1,20 m de profundidade para que seja eficiente.

Também infiltração parcial quando parte da água entra no solo e parte escoo pelas tubulações do sistema auxiliar de drenagem, e é indicada apenas para áreas que possuem baixas taxas de permeabilidade. E por fim Infiltração para o controle da qualidade da água quando é totalmente drenada, ou seja, quando não tem infiltração no solo devido a utilização de técnicas impermeáveis como por exemplo a geomembrana. Para melhor verificação os dados da Figura 01 estão identificadas as três tipologias de pavimento infiltrantes.

Figura 01: Os três sistemas de pavimento permeável com infiltração.



Fonte: Adaptado de Pinto (2011).

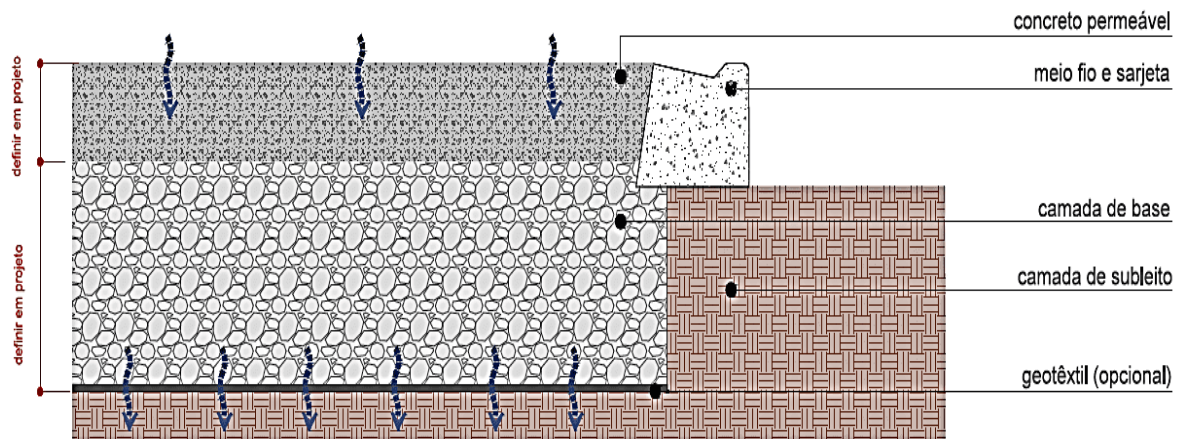
Segundo Bernucci (2008), uma das vantagens da utilização do pavimento permeável é a melhoria na segurança das vias, devido à diminuição na ocorrência de poças proporcionando uma melhoria na aderência. Além disso, respectivamente as infiltrações têm um ganho ambiental, pois possuem a possibilidade de recargas de reservas subterrâneas. Ainda, possuem uma melhoria na qualidade das águas por causa da ação de filtração no corpo do pavimento.

Assim, mitigando enxurradas e enchentes, reutilizando a água da chuva, reduzindo o impacto e o custo da infraestrutura para o tratamento de águas pluvial. Por fim, recuperando a capacidade de filtração do solo, realimentação do aquífero subterrâneo, redução do escoamento superficial, impedir que impurezas e metais atinjam o lençol freático e benefícios na área urbana.

### 2.1.1 Camadas do pavimento permeável

Conforme mostrado na Figura 02 abaixo os cinco tipos de camadas são descritos pelos autores como sendo:

Figura 02: Camadas da pavimentação permeável.



Fonte: ABCP (2013).

Para Silveira (2013), o concreto ou asfalto poroso possui uma espessura de 65 mm a 100 mm apresentando mais ou menos 16% de vazios para garantir a infiltração da água.

Tomaz (2009) e Silveira (2003), afirmam que o filtro granular tem sua espessura de 25mm a 50mm com material drenante, e tem como finalidade regularizar e estabilizar a camada de asfalto ou concreto, já a base de pedra é composta por agregado graúdo com dimensão uniforme de diâmetros, de 40mm a 75mm. Usualmente adota-se uma altura mínima de 0,25m.

Virgillis (2009), explica que a geotêxtil é uma manta não tecida de filamentos de polipropileno que permite a livre passagem de águas de infiltração para o meio drenante ou camada adjacente.

Por último, Silveira (2013) argumenta que solo nativo está relacionado a infiltração e a resistência, responsável por absorver a água infiltrada e pela resistência mecânica aos esforços causados por cargas aplicadas à superfície do pavimento.

## 2.2 Concreto Permeável versus concreto convencional

Segundo Jhan (2016), o concreto permeável é um tipo especial de concreto caracterizado pela ausência parcial ou total de finos, alto teor de índice vazios e alta permeabilidade, resultando em uma boa capacidade de infiltração.

Segundo *American Concrete Institute* – (ACI 522/2010), define o concreto permeável como uma estrutura no qual possui vazios interconectados entre si permitindo que a água passe através da superfície, e deve apresentar de 15 a 35 % de vazios em seu estado fresco. Segundo Batezini (2013) as principais características gerais do concreto são mostradas a seguir na Quadro 01:



Quadro 01: Características do concreto em geral.

<b>Permeabilidade</b>	Está ligada a característica mais importante do concreto permeável, e refere-se a taxa de infiltração da água em sua estrutura. Seus estudos são feitos através de um permeâmetro ou usando a NBR 16416/2015
<b>Redução de ruído</b>	O pavimento permeável está relacionado com a sua estrutura aberta, a fim de promover uma diferença no tempo de chegada e de reflexão das ondas sonoras advindas do tráfego de veículo, o revestimento absorve parte do ruído a partir deste.
<b>Resistência à compressão</b>	O concreto permeável pode possuir resistências de 3,5 MPa à flexão e superiores à 30 MPa à compressão, ao qual não é recomendado para grandes cargas transmitidas pelo tráfego, mas sim para tráfegos leves.
<b>Textura</b>	Por possui uma pequena quantidade de agregados miúdos em sua dosagem, o concreto permeável tem uma textura muito rugosa, que aumenta o seu coeficiente de atrito, e diminui os riscos de aquaplanagem.
<b>Massa específica</b>	Em seu estado fresco varia em função da dosagem que foi adotada, podendo variar entre 1300 e 2000 kg/m <sup>3</sup> .
<b>Índice de Vazios</b>	São adimensionais e se determina pela razão entre o volume de vazios pelo volume ocupado pelas partículas sólidas.

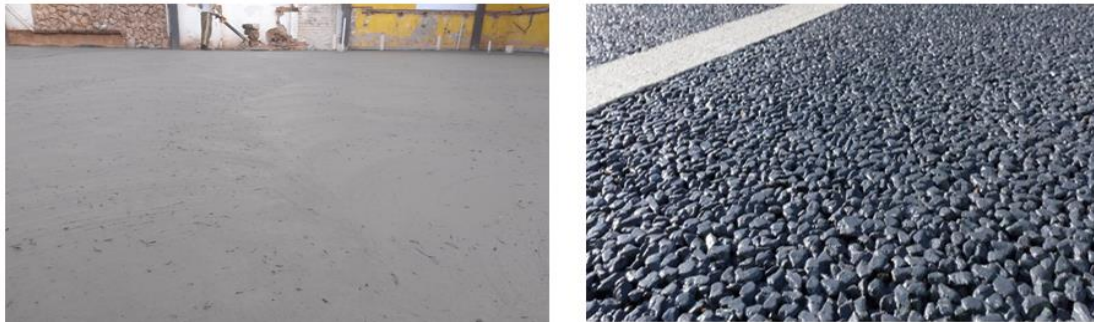
Fonte: Batezini (2013).

Tartuce (1990), define a permeabilidade como sendo a passagem de água através do material que pode ser por filtração sob pressão, por difusão através dos condutos capilares e por capilaridades.

Mehta e Monteiro (2008), afirmam que desta forma o concreto possui essa propriedade por meio da interconexão entre os vazios. Para Oliveira (2021), uma diferença notável que existe entre o concreto permeável e o convencional é referente a sua estanqueidade, porque o concreto permeável é produzido com a finalidade de permitir o fluxo de água entre os seus poros. Já o concreto convencional tem efeito contrário, pois ele não permite a passagem da água.

Segundo Petrucci (1998), as principais causas da porosidade do concreto permeável são: devido a combinação química, o valor absoluto do cimento e da água diminuem; durante a mistura do concreto, incorpora-se ar à massa; é sempre necessário usar uma maior quantidade de água do que a essencial para hidratar o aglomerante, e essa água, ao evaporar-se, deixa vazios. A conexão desses vazios no concreto que o torna permeável. Conforme mostrado na Figura 03 (a) e (b):

Figura 03: (a) Concreto convencional; (b) Concreto permeável.



Fonte: (a) Engenharia de Superfície (2022); (b) Motta (2015).

Segundo Silva *et al* (2020), A composição do concreto permeável é semelhante à do concreto convencional, a diferença é que o primeiro não possui ou possui uma pequena quantidade de agregado miúdo na mistura, ou seja, sua mistura é composta de pasta de cimento, água e agregado graúdo.

Para Oliveira (2021), a presença de agregado miúdo reduz a permeabilidade do concreto, mas aumenta a sua resistência à medida que os vazios entre o agregado graúdo e o cimento são preenchidos. Portanto, é necessário fazer a dosagem racionalmente de cada material. Conforme o Quadro 02, estão descritas as diferenças características do concreto convencional e permeável.

Quadro 02 : Concreto convencional e concreto permeável características.

<b>Tipo</b>	<b>Resistência a compressão (MPa)</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Aditivos</b>
<b>Convencional</b>	20 a 60	De 30 a 50% do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
<b>Permeável</b>	3 a 30	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita 0 e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: Adaptado de Monteiro (2010).

Para Monteiro (2010), o baixo fator água-cimento é menor que do concreto convencional, e necessita de mais atenção para às características do agregado devido a exsudação interna, que também enfraquece a área de interface entre a pasta e o agregado.

## 2.3 Drenagem Urbana e urbanização

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006), afirma que um sistema de drenagem do pavimento de uma rodovia são dispositivos que tem por objetivo conduzir, ou desviar a água de sua plataforma. Os dispositivos de drenagem fundamentais de um pavimento listados no Manual da Pavimentação do DNIT são: as sarjetas de corte, meio fio e/ou banquetas de aterros, drenos profundos e camada drenante.

Conforme Alessi, Kokot e Gomes (2006), no final do século XX o Brasil, contribuiu com o aumento de inundações, devido a deficiência no sistema de drenagem urbana, falhas na

mobilidade urbana e com infraestrutura comprometida entre outros. Assim as causas consecutivas do mau escoamento superficial, acontecem por causa de projetos e planejamento inadequados de drenagem, falta de disciplina na ocupação urbana, aumento das áreas impermeáveis das cidades e o aumento da capacidade do escoamento da drenagem por condutos e canais. Segundo Tucci (2013), em virtude da falha na drenagem urbana, existem impactos ambientais negativos que facilitam a ocorrência de enchentes.

A qualidade da água dos mananciais fica comprometida devido ao aumento da poluição, porque quando chove, a poluição do ar e das ruas precipita-se junto com a água, aumentando a quantidade de resíduos sólidos presentes nas águas, contaminando os mananciais pelo esgoto. Na Figura 04 segue um exemplo de alagamento na cidade de Guaíra – PR.

Figura 04: Rua alagada na cidade de Guaíra-Pr.



Fonte: Junior (2021).

## 2.4 Escoamento superficial do Latossolo Vermelho

Segundo Kellogg (1949), o conceito original de Latossolo considerava as propriedades do solo intimamente relacionadas ao intemperismo intenso e lixiviação, resultando em baixa atividade de argila. Capacidade de troca cátions, relações moleculares sílica/alumínio e sílica/ferro e alumínio. Além disso, o solo conhecido como Latossolos, além de serem muito profundos, coloração e tonalidade relativamente uniformes avermelhada e/ou amarelada, apresentará uma distribuição mais ou menos uniforme da argila ao longo do perfil, alta estabilidade agregada e baixo comparado ao barro e lodo.

Para Lima, Lima e Melo (2012), o Latossolo é o principal tipo de solo encontrado no Paraná, distribuído por 31% do território estadual. A planície litorânea e as áreas mais inclinadas do estado apresentam a menor incidência dessa classe de solos. Possuem alta estabilidade, baixo risco de erosão e além de ser um local favorável para a instalação de aterros sanitários, também possui forte capacidade de suporte de estradas e edificações.

No entanto, os Latossolos do noroeste do Paraná apresentam maior teor de areia e, portanto, apesar de seu relevo plano, são mais suscetíveis à erosão e apresentam maior vulnerabilidade ambiental. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2022) defini os Latossolos vermelhos como aqueles que apresentam cores vermelhas acentuadas devido aos teores mais elevados e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem encharcados, além de uniformidade de cor, textura e características estruturais em profundidade.

Segundo os autores Souza e Alves (2003), a permeabilidade do solo depende, da quantidade, tamanho dos poros e continuidade, e a compactação e descontinuidade dos poros são os responsáveis pela diminuição da permeabilidade do solo à água. Os

Latosolos vermelhos podem ser classificados no terceiro nível de categorização do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS, conforme descrito no Quadro 03:

Quadro 03: Características e tipos de solo.

Tipos de solos	Características
Perféricos	possuem altos teores de ferro, baixos nutrientes no solo
Acriféricos	possuem altos teores de ferro baixo nutrientes nos solos.
Ácricos	possui baixa quantidade de nutrientes
Aluminoféricos	possuem solo de baixa fertilidade, toxidade de alumínio e alto teor de ferro
Distroféricos	possuem solo de baixa fertilidade e alto teor de ferro
Distróficos	possuem solo de baixa fertilidade
Eutroféricos	possuem solo de alta fertilidade e alto teor de ferro
Eutrofícos	possuem solo de alta fertilidade

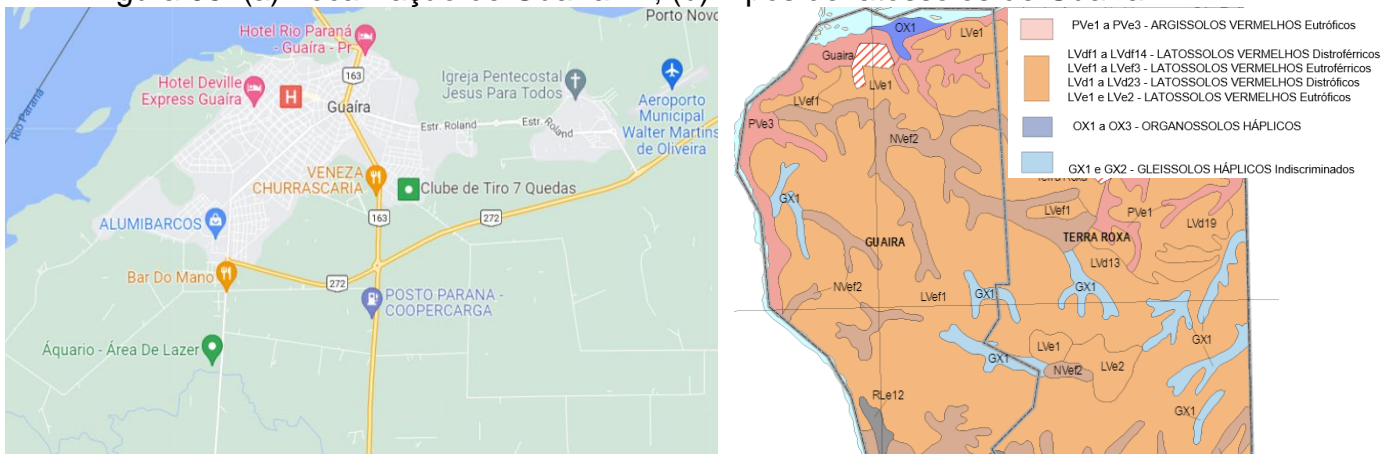
Fonte: Embrapa (2022).

### 3 Metodologia

Esta pesquisa científica consiste na realização de estudos para determinar o comportamento do concreto permeável por meio de ensaios. Todos os experimentos e dosagens foram realizados na Universidade Paranaense – UNIPAR da cidade de Guaíra-Pr, que disponibilizou o laboratório de concreto e solos de engenharia para este trabalho.

Guaíra é um município localizado no Paraná, possui um clima quente e suas temperaturas variam de 16 °C a 32 °C, conforme mostrada na Figura 05 (a). A cidade possui uma diversificação de latossolos vermelhos sendo predominante os Distroféricos, distróficos, eutroféricos e eutrofícos e por isso sua permeabilidade varia e depende do tipo de latossolo, conforme mostrado na Figura 05 (b).

Figura 05: (a) Localização de Guaíra-Pr; (b) Tipos de latossolos de Guaíra-Pr.



Fonte: (a) Google Maps, (2022); (b) Adaptado pela autora de Embrapa solos, (2007).

Em um primeiro momento para a referência bibliográfica foram usados: Dissertações, teses, monografias e livros e normas encontradas na plataforma Google Acadêmico. A seguir a Figura 06 referentes ao material utilizado e os métodos que serão especificados nos próximos capítulos:



Figura 06: Resumo da pesquisa científica.



Fonte: Autora (2022).

### 3.1 Materiais

Para atingir os objetivos propostos e testar as hipóteses experimentais formuladas, foi realizado um estudo laboratorial, foram utilizados 40 corpos de prova cilíndricos com traços: 1:3, 1:4 (cimento e brita 0). Destes, foram moldados 36 para serem ensaiados a compressão, e 4 para o índice de vazios. Ainda foi confeccionada 1 placa de concreto com dimensão de 75x75x8 cm que foi escolhido conforme o Quadro 06, para o ensaio de permeabilidade que também foi utilizada, para a confecção do pavimento simulando a pavimentação no latossolo vermelho. Para relação água/cimento que foi utilizada nos traços é de 0,34. A escolha dos traços se deu de estudos de dosagem encontrados em referência no trabalho do Silva, Monteiro (2017).

Quadro 04: Materiais Utilizados.

Agregado graúdo	Aglomerante	Água de amassamento	Latossolo
Brita 0	CPV ARI	Água potável	Latossolo Vermelho

Fonte: Autora (2022).

Os demais equipamentos utilizados são: betoneira, molde cilíndricos e molde prismático, recipientes, peneira de brita, balança hidrostática, massa de calafetar, prensa hidráulica, estufa, agitador mecânico de peneiras, anel de infiltração (Figura 07).

Figura 07: Anel de infiltração.

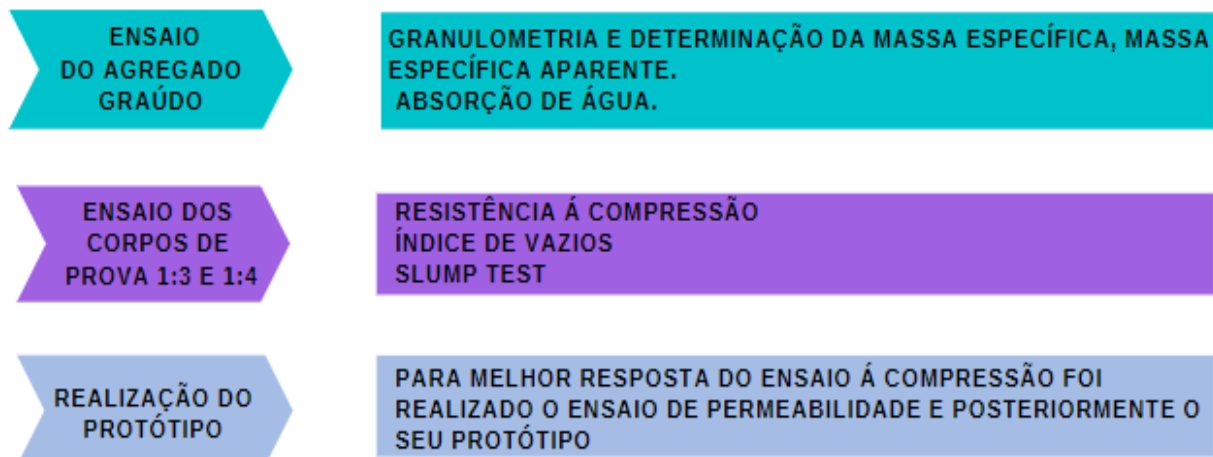


Fonte: Silva (2019).

### 3.2 Métodos

Para um melhor entendimento foi descrito na Figura 08 os ensaios que foram realizados.

Figura 08: Descrição dos ensaios a serem realizados.



Fonte: Autora (2022).

#### 3.2.1 Ensaio do agregado graúdo (brita 0)

Para este ensaio a norma de referência usada é a NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica. O ensaio foi feito com a amostra do agregado com 2 kg para realizar os testes. Em seguida, foram separadas as peneiras das bitolas de 4,75 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm e 25 mm, elas formaram um único conjunto de peneiras com abertura da malha em ordem decrescente da base para o topo. Na Tabela 01 mostra-se a série das peneiras:

Tabela 01: Série das peneiras.

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR NM 248 (2003).

Após foi realizado o processo de agitação no agitador mecânico, após a separação dos tamanhos de grãos o material retido em cada peneira para pesagem. Os dados obtidos foram: Porcentagem média retida em cada peneira, porcentagem média de retida acumulada em cada peneira, tamanho máximo característico, curva granulométrica, e módulo de finura. Conforme mostrado nas Figuras 09 abaixo:

Figura 09: (a) Peneiras; (b) Materiais retidos; (c) Balança; (d) Pesagem do material.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Também para este ensaio a norma de referência que foi usada é a NBR NM 53/2009 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Foram utilizadas 2 kg das amostras, peneiradas e lavadas com água para retirar o pó, em seguida foram colocadas na estufa com temperatura de 100+/-5 por um 24h, após foi determinada e registrada a massa da amostra. Após foi retirada as amostras, que foram esfriados por 1 hora e pesados na balança, em seguida foi imergida as amostras em água com a temperatura ambiente por 24 h. Logo após foi determinada e registrada a massa com auxílio de balança hidrostática, foi retirada a amostra da água e enxugada com pano úmido. Em seguida foi pesado a amostra colocada em um cesto metálico imersa na água com auxílio de balança hidrostática. Após foi colocada a amostra em estufa com temperatura de 100+/-5 por um 24h. Conforme mostrado nas Figuras 10, 11 e 12 abaixo:

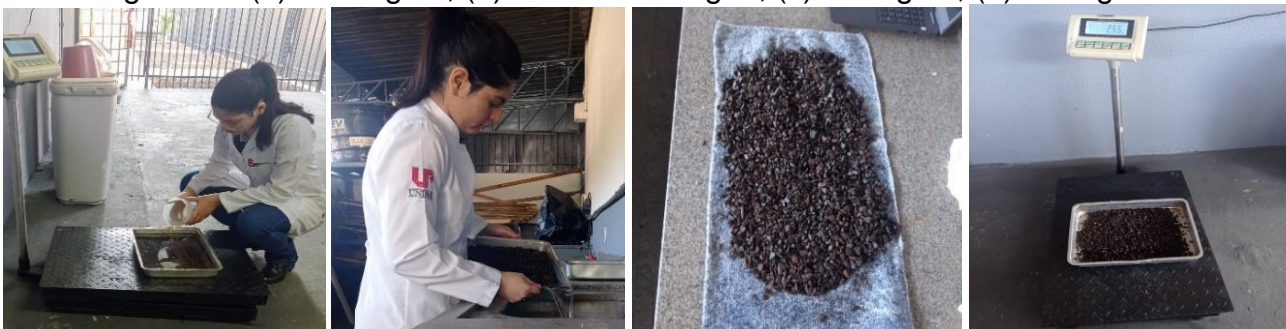


Figura 10: (a) Pesagem; (b) Brita 0; (c) Molhagem e peneiramento; (d) Secagem.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Figura 11: (a) Molhagem; (b) Retirada de água; (c) Secagem; (d) Pesagem.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Figura 12: (a) Cesta metálica; (b) Pesagem da amostra imersa; (c) Secagem; (d) Amostra seca.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

### 3.2.2 Ensaio de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto permeável para o traço 1:3 e o traço 1:4

Para este ensaio a norma de referência usada é a NBR 9778/2005 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Foram colocadas as amostras na estufa com temperatura de  $105 \pm 5$  por um 72h. Em seguida foi determinada e registrada a massa da amostra. Após para a massa saturada foi imersa as amostras em água com a temperatura de  $23 \pm 2$  por 72 h. Depois foi determinada e registrada a massa com auxílio de balança hidrostática da amostra imersa na água, foi retirada a amostra da água e enxugada com pano úmido, determinando sua massa saturada. Por fim foram feitos os cálculos para determinação da absorção, índice de vazios e massa específica. Conforme mostrado nas figuras 13 e 14:



Figura 13: (a) Corpos de prova; (b) Secagem; (c) Amostras secas; (d) Pesagem.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Figura 14: (a) Molhagem; (b) Imerso na água; (c) Pesagem.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Para calcular a absorção foi usada a equação 01 mostrada abaixo:

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

msat = Massa da amostra saturada após a imersão e fervura kg/m<sup>3</sup>

ms = Massa da amostra seca kg/m<sup>3</sup>

Para o índice de vazios foi usada a equação 02 mostrada abaixo:

$$I_v = \frac{msat - ms}{msat - ml} \times 100 \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

ml = massa da amostra saturada após fervura kg/m<sup>3</sup>

### 3.2.3 Ensaio de Resistência à compressão do concreto permeável para o traço 1:3 e o traço 1:4

Para este ensaio a norma de referência usada é a NBR 5739/2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Foram utilizados os corpos de prova de 100x200 mm com dosagens em massa de 1:3, 1:4 com fator água/cimento de 0,34. Conforme a tabela 02 abaixo:

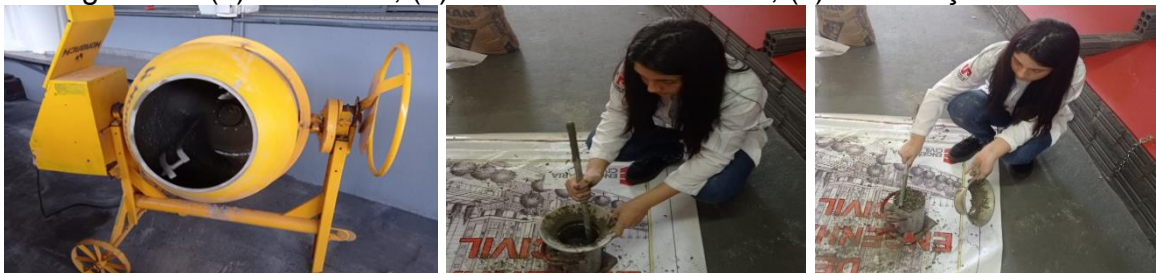
Tabela 02: Traços usados na produção do concreto.

Traço	Brita 0 (kg)	Cimento(kg)	Água(l)	A/C
1:3	62	20,7	7,03	0,34
1:4	76	19	6,5	0,34

Fonte: (a) Autora (2022).

Foram utilizados a brita 0, o cimento CPV ARI, e a água potável finalizando assim a seleção de materiais para a produção do concreto poroso. Para a mistura do agregado graúdo, aglomerante e da água, foi feita com o auxílio da betoneira. O processo de adensamento dos corpos de prova foi feito de forma manual, com a utilização de haste de adensamento com a aplicação de 25 golpes em cada uma das duas camadas conforme a NBR 5738/2015 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e colocados em cura por 28 dias. Conforme mostrado nas Figuras 15, 16 e 17 abaixo:

Figura 15: (a) Betoneira; (b) Adensamento manual; (c) Finalização adensamento.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Figura 16: (a) Moldagem; (b) Desmoldagem; (c) Cura.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Figura 17: (a) Prensa hidráulica; (b) Corpo de prova Rompido; (c) Corpo de prova Rompido.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Nesta ruptura a resistência é calculada a partir pela equação 03 mostrada:

$$f_c = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão MPa

F= força máxima alcançada N

d = diâmetro do corpo de prova mm

### 3.2.4 Slump Test

Para este ensaio a norma usada é a NBR 16889/2020, Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Foi colocado sobre um molde tronco-cônico com dimensões diâmetro 20x10 cm e altura de 30 cm e sua base maior voltada para baixo. Que foi executado em três camadas com 25 golpes em cada camada, usando uma haste. Após 10 segundos o molde foi removido, e a sua menor base fica voltada para o chão, para aferir o abatimento.

Figura 18: (a) Preparação do concreto; (b) Mistura na betoneira; (c) Slump Test.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

### 3.2.5 Ensaio de Permeabilidade do concreto permeável para o traço 1:3

Para este ensaio a norma usada é a NBR 16416/2015, Pavimentos Permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. O coeficiente de permeabilidade pode ser obtido através do mesmo ensaio realizado para solos. Antes de iniciar o ensaio foi feito o preparo da placa com dimensão de 75x75x8 cm usando o traço 1:3. Conforme mostrado na Quadro 05 abaixo:

Quadro 05: Traço usado na produção da placa de concreto.

Traço	Brita 0 (kg)	Cimento(kg)	Água(l)	A/C
1:3	54	18	3,80	0,34

Fonte: (a) Autora (2022).



Quadro 06: Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável com a espessura escolhida para este trabalho.

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima - mm	Resistência mecânica característica - MPa	Método de ensaio
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	≥35,0 <sup>a</sup>	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peças de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥20,0 <sup>a</sup>	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥20,0 <sup>b</sup>	
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	≥1,0 <sup>c</sup>	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	≥20,0 <sup>c</sup>	

Fonte: NBR 16416 (2015).

Após sua produção o concreto foi colocado no molde de madeira sobre superfície plana, preparado com desmoldante. Foi iniciado o processo de adensamento onde as duas camadas foram golpeadas 50 vezes. Após este processo ficou por 24 horas em processo de cura, conforme mostrado na Figura 19 abaixo:

Figura 19: (a) Preparação do cimento; (b) Colocação e compactação; (c) Compactação e finalização; (d) Cura.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Deste modo, para este teste, foi usado um anel de infiltração com 40 mm de diâmetro, com duas marcações de 10 e 15 mm. Foi feita a pré molhagem da camada da amostra com 3,6 kg de água para determinar a massa adequada para o ensaio. Em seguida foi colocado um anel de infiltração em cima das amostras e despejado água neste anel de infiltração vedado com a massa de calafetar, com uma vazão cujo nível de água indique entre as marcações de 10 e 15mm. Após foi marcado o intervalo de tempo a partir



do momento em que água atingir o revestimento, e o cronômetro foi parado quando não houver mais água na superfície do pavimento. Em seguida foi repetido o procedimento usando 1,8 kg de água. Conforme mostrado nas Figuras 20 e 21:

Figura 20: (a) Água; (b) Pré Molhagem; (c) Primeira molhagem com 1,8 kg.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Figura 21: (a) Molhagem com 1,8 kg; (b) Anel de infiltração (c) Molhagem final.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Na Tabela 03 mostra-se a quantidade de massa a ser usada no ensaio.

Tabela 03: Determinação da massa de água para o ensaio.

Tempo de pré-molhagem em s	Massa da água para o ensaio em kg
≤30	1,8 ± 0,005
>30	3,6 ± 0,05

Fonte: NBR 16416 (2015).

O coeficiente de permeabilidade (K) é calculado usando a Lei de Darcy conforme a Equação 04 abaixo:

$$K = \frac{Cxm}{d^2 x t} \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

K= Coeficiente de permeabilidade (mm/h)

m = massa da água infiltrada (kg)

d = diâmetro interno do cilindro (mm)

t = tempo para realização do ensaio (s)

C= fator de conversão de unidade do sistema internacional, seu valor é 4583666000.

No quadro 07, abaixo mostra-se os coeficientes de permeabilidade do solo segundo a lei de Darcy:

Quadro 07: Coeficiente de permeabilidade do solo.

	K		Material	Característica de escoamento
	cm/seg	m/dia		
$10^{-2}$	1 a 100	864 a 86400	Pedregulho limpo	Aquíferos bons
$10^{-3}$	0,001 a 1	0,86 a 864	Areias limpas, misturas de areia limpas e pedregulho	
$10^{-7}$	$10^{-7}$ a $10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-5}$ a 0,86	Areias muito finas, siltes, misturas de areia, silte e argila, argilas estratificadas	Aquíferos pobres
$10^{-9}$	$10^{-9}$ a $10^{-7}$	$8,64 \times 10^{-7}$ a $8,64 \times 10^{-5}$	Argilas não alteradas	Impermeáveis

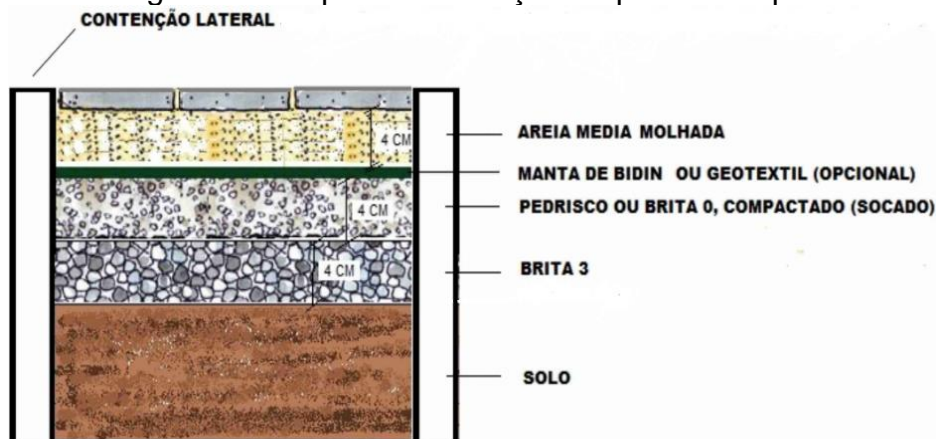
Fonte: Marinho (2020).

### 3.2.6 Confeção de um pavimento permeável com o traço 1:3

Foi feito o protótipo da pavimentação permeável, pois o latossolo vermelho tende a não ter uma boa infiltração, este protótipo foi confeccionado no laboratório de concreto e solos de engenharia da Universidade Paranaense – UNIPAR.

A 1ª camada: Composta pelo latossolo vermelho com espessura de 4cm, 2ª camada: Composta de brita 3 com espessura de 4cm, 3ª camada: Composta de pedrisco compactado com espessura de 4cm, 4ª camada: Composta de areia média úmida com espessura de 4cm, 5ª camada: Foi utilizada a placa de concreto rejuntada. Conforme mostrado abaixo nas Figuras 22, 23, 24 a seguir:

Figura 22: Etapas de execução do pavimento permeável.



Fonte: Argamar (2020).

Figura 23: (a) Terra; (b) Brita 3; (c) Brita 0; (d) Areia.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022); (d) Autora (2022).

Figura 24: (a) Montagem camadas; (b) Protótipo finalizado; (c) Camadas.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

Para medir a infiltração foi realizado conforme a ASTM C1701/2017. Que foi feito com um anel de infiltração de 40 cm vedado na superfície do pavimento onde foi adicionado a água, que foi medido o tempo com o cronômetro. Conforme mostrado abaixo nas Figuras 25, 26 a seguir:

Figura 25: (a) Pré molhagem; (b) Primeira molhagem; (c) Água infiltrando no protótipo.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).



Figura 26: (a) Segunda molhagem; (b) Camadas com água infiltrada; (c) Final do ensaio.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

A equação usada para o cálculo foi a Equação 04. Também foi utilizado o sistema de infiltração total, onde a única forma da água sair do reservatório das placas é através da infiltração para o subsolo.

### 3.2.7 Análise estatística e organização de dados

Para a verificação das médias encontradas para os dois tipos de traço 1:3 e 1:4, além das idades de rompimento 15 dias e 28 dias, respectivamente, realizou-se o teste de comparação de médias Tukey com um grau de confiabilidade de 95 %. Para isso, utilizou-se o programa estatístico Sisvar. No qual, determinou-se se as médias eram estatisticamente semelhantes ou não.

## 4 Resultado e Discussão

### 4.1 Granulometria e Agregado graúdo (brita 0)

Os resultados que foram obtidos para a amostra de brita 0 utilizada no ensaio estão descritos no Quadro 08 abaixo:

Quadro 08: Resultados do ensaio de granulometria brita 0.

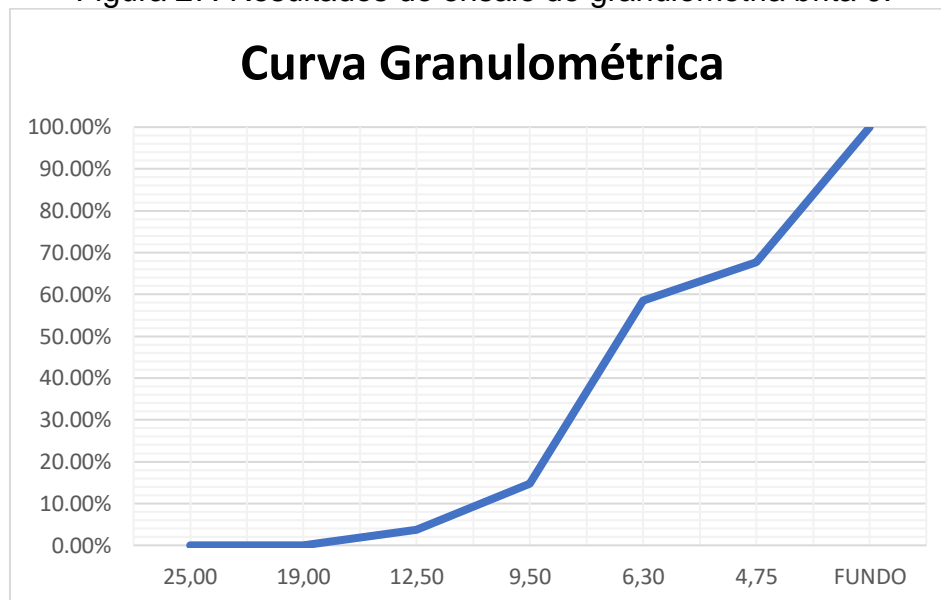
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Percentual Retida (%)	Percentual Retida acumulada (%)	Percentual Passante (%)	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
25	0,00	0,00	0,00	100,00	12,5	0,82
19	0,00	0,00	0,00	100,00		
12,50	72,20	3,70	3,70	96,30		
9,50	214,20	10,98	14,69	85,31		
6,30	855,20	43,86	58,54	41,46		
4,75	179,20	9,19	67,73	32,27		
Fundo	629,20	32,27	100,00	0,00		
Total	1950	-	-	-		

Fonte: Autora (2022).



Para o diâmetro máximo característico da brita encontrou-se o valor de 12,5mm e para o módulo de finura 0,82 que estão conforme a norma NBR NM 248/2003, e teve maior retenção nas peneiras 6,30 e 4,75 mm. Com base nos dados da porcentagem acumulada obteve-se a curva granulométrica conforme a Figura 27 abaixo:

Figura 27: Resultados do ensaio de granulometria brita 0.



Fonte: Autora (2022).

Já para o ensaio do agregado graúdo os resultados que foram obtidos estão descritos conforme o Quadro 09 abaixo:

Quadro 09: Resultados do ensaio do agregado brita 0.

Massa seca (kg/m <sup>3</sup> )	Massa saturada (kg/m <sup>3</sup> )	Massa aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção (%)
1537	1000	1857	54

Fonte: Autora (2022).

Os valores de massas encontrados variaram entre 1.000 e 1.857 kg/m<sup>3</sup>. Os resultados obtidos da massa seca e aparente ficaram entre os valores esperados de 1300 a 2000 kg/m<sup>3</sup>, conforme constado na revisão bibliográfica.

#### 4.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica para o concreto para o traço 1:3 e 1:4

Para este ensaio dos corpos de prova os resultados que foram obtidos estão descritos conforme o Quadro 10 abaixo:

Quadro 10: Resultados do ensaio de Índice de vazios.

Amostra	Traço	Massa seca (kg/m <sup>3</sup> )	Massa saturada (kg/m <sup>3</sup> )	Massa aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
01	1:3	3,88	4,05	3,30	4,50	17,60
02	1:3	3,70	3,88	3,15	4,70	17,00
<b>Média</b>	-	-	-	-	<b>4,60</b>	<b>17,30</b>
03	1:4	3,70	3,88	3,15	4,70	17,00
04	1:4	4,13	4,46	3,10	8,00	33,00
<b>Média</b>	-	-	-	-	<b>4,75</b>	<b>25,00</b>

Fonte: Autora (2022).

A absorção dos corpos de provas apresentou uma média de 4,60% para o traço 1:3 e 4,75% de água para o traço 1:4. Esses valores indicam que a quantidade de água é de alto desempenho conforme o Quadro 11. Já o índice de vazios apresenta média conforme o esperado na referência bibliográfica onde mostra que o índice de permeabilidade deve estar entre 15 a 35 % e como notado no quadro 08 estão entre 17,30 a 25 % para os traços 1:3 e 1:4 respectivamente.

Quadro 11: Classificação dos concretos

Propriedade	Qualidade do Concreto	<4,2%	4,2 a 6,3%	>6,3%
		Absorção de água	Concreto duráveis	
	Concreto normais			
	Concreto deficientes			

Fonte: Adaptado de Levy (2001).

### 4.3 Resistência à compressão do concreto permeável para o traço 1:3 e o traço 1:4

Para este ensaio de resistência à compressão os resultados que foram obtidos estão descritos conforme o Quadro 12 abaixo:

Quadro 12: Resultados de resistência à compressão.

Variáveis	Resistência à compressão (MPa)	
	1:3	1:4
Média rompimento 15 dias	20,85 aA	8,35 bB
Média rompimento 28 dias	18,95 aA	10,35 bB
Maior valor encontrado	27,3	12,50

Médias seguidas pela mesma letra minúscula em coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autora (2022).

De acordo com a ACI 522/2010, a resistência à compressão do concreto permeável deve estar entre 3,0 e 30 MPa. Os resultados obtidos foram analisados e verificou-se que a mistura que apresentou melhor resistência foi a do traço de 1:3, com média de 20,85 MPa em 15 dias e 18,95 MPa em 28 dias. Destaca-se também que pelo teste de Tukey a um nível de significância de 95% essas médias foram estatisticamente significativas. Para o traço de 1:4, os menores valores de resistência foram obtidos devido à baixa quantidade de cimento utilizada apresentaram menor valores de resistência à compressão com 8,35 e 10,35 MPa, respectivamente. Quando se compara para o mesmo dia de rompimento e para diferentes tipos de traço, nota-se que estatisticamente as amostras foram discrepantes apontados pelas letras A e B. Por fim a sua resistência é mais do que suficientes para suportar as cargas provenientes do tráfego leve de veículos.

#### 4.4 Slump Test

Assim como os resultados do Slump de Oliveira (2021), o ensaio de tronco de cone deste estudo não foi significativo, pois a amostra desmoronou nas diversas tentativas. Que ocorreu após 10s após retirado o tronco de cone, pois a amostra demonstrou falta de estabilidade. Portanto o concreto não é plástico e coeso para ser avaliado por esse ensaio.

No estudo de Silva *et al* (2020) também houve o desmoronamento, que ocorreu após alguns segundos da retirada do tronco de cone.

Jahn (2016), em seus estudos utilizou outro método que é o ensaio Vebe, ainda assim, os dois métodos são ineficientes para ele, e necessita de estudos de métodos específicos para análise da consistência do concreto permeável. Também ocorreu o mesmo problema no estudo de Monteiro (2010) que diz que o desmoronamento pode ocorrer devido ao baixo consumo de cimento e elevado teor de agregados na mistura. Por fim após o desmoronamento o autor não realizou a verificação do abatimento, assim como neste estudo também não foi realizado. Conforme a Figura 29 abaixo:

Figura 29: (a) Retirada do cone; (b) Cone; (c) Concreto desmoronado.



Fonte: (a) Autora (2022); (b) Autora (2022); (c) Autora (2022).

#### 4.5 Permeabilidade do concreto permeável para o traço 1:3

Para o ensaio de permeabilidade os resultados que foram obtidos estão descritos conforme o Quadro 13 abaixo:



Quadro 13: Resultados da permeabilidade.

Traço	Massa (kg)	Tempo do ensaio (s)	Tempo do ensaio (s)	Coefficiente de permeabilidade (mm/h)	Coefficiente de permeabilidade (m/s)
1:3	3,6	13:05:06	65	158665,36	0,044
	1,8	12:00:23	60	85943,73	0,023
	1,8	11:55:64	115	44840,21	0,012
<b>Média</b>	-	-	-	-	0,158

Fonte: Autora (2022).

A norma determina que o coeficiente de permeabilidade dos pavimentos deve possuir valores superiores a 0,001 m/s a NBR 16416/2015. Portanto verifica-se que o traço de concreto permeável conseguiu estabelecer este requisito, tendo como média  $k = 0,158$  m/s. Isto é, demonstrado que a placa utilizada é viável a sua aplicação para as intempéries e a ação de agentes atmosféricos (PETRUCCI, 1998).

#### 4.6 Confecção do pavimento permeável com o traço 1:3

Para o ensaio de permeabilidade do latossolo vermelho os resultados que foram obtidos estão descritos conforme o Quadro 14 abaixo:

Quadro 15: Resultados do da permeabilidade do latossolo vermelho.

Traço	Massa (kg)	Tempo do ensaio (s)	Tempo do ensaio (s)	Coefficiente de permeabilidade (mm/h)	Coefficiente de permeabilidade (m/s)
1:3	3,6	53:25:85	85	121332,33	0,033
	3,6	58:32:21	92	112100,52	0,031
	3,6	56:25:76	85	121332,33	0,033
<b>Média</b>	-	-	-	-	0,032

Fonte: Autora (2022).

Seguindo também a norma NBR 16416/2015, verifica-se que o latossolo tem como média  $k = 0,032$  m/s sendo classificado como impermeabilidade muito baixa, e quando analisado conforme o Quadro 06, sua característica de escoamento se encaixa em aquíferos bom. Sendo assim a placa demonstrou-se drenante conforme a norma, mas demora muito para a água infiltrar-se, este problema poderia ser resolvido com sistema auxiliar de drenagem, embora isto não foi analisado neste trabalho. E pode ser utilizado para tráfegos leves como calçadas, garagens, pátios, parques, praças, ruas de baixo tráfego, ciclovias e em decks de piscina.

## 5 Conclusão

Portanto, no que se refere à resistência a compressão do concreto o maior valor encontrado que superou os parâmetros de resistência a compressão foi o 27,3 MPa, apresentando uma média de 20,85 MPa.

A NBR 16416/2015, determina que para uso em locais de tráfego leve a resistência mínima à tração na flexão seja de 20 MPa, podendo assim ser usado para essa finalidade. Em relação ao coeficiente de permeabilidade, o traço 1:3 tem uma média de  $k = 0,158$  m/s,



que é maior que os valores indicados na NBR 16416/2015, ao qual é recomendado que sejam superiores a 0,001 m/s, tornando o ele um material de drenante. Quanto ao protótipo tem como média  $k = 0,032$  m/s, a placa é permeável conforme a norma, embora a água infiltrar-se devagar.

Por fim o traço 1:3 pode ser usado para tráfego leve devido a média de 20 MPa e pode ser utilizado para tráfegos leves como calçadas, garagens, pátios, parques, praças, ruas de baixo tráfego, ciclovias e em decks de piscina.

Diante de todo o processo de urbanização e expansão dos grandes centros urbanos, é necessário observar as questões da gestão de águas pluviais e deve ser considerado o impacto causado no meio ambiente. Sendo assim o concreto permeável é uma solução para os problemas de enchentes nas cidades, sendo utilizado como uma técnica compensatória na drenagem urbana.

## 6 Referências

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. **Da Vinci**. v.3. n.1. p. 156. Curitiba. 2006.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522**: Periódico Pervious Concrete. p. 40 Farmington Hills. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1701 – 17**: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. West Conshohocken: Astm International. p.3. 2017.

ARGAMAR. **Piso drenante, permeável**. 2020. Disponível em: [https://www.argamar.com.br/arquivos/bi/1503922209\\_AssentamentoDrenantejpg.jpg](https://www.argamar.com.br/arquivos/bi/1503922209_AssentamentoDrenantejpg.jpg). Acesso em: 14. Julho. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Projeto Técnico: Pavimento Permeável. Soluções para cidades**. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-permeavel>. Acesso em: 28. Maio. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 53**: Agregados Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. p.21. Rio de Janeiro. 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. p.13. Rio de Janeiro. 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova. p.9. Rio de Janeiro. 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. p.4. Rio de Janeiro. 2018.



\_\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios. p.4. Rio de Janeiro. 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. p.29. Rio de Janeiro. 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 16889:** Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. p. 8. Rio de Janeiro. 2020.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves.** 2013. p.133. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de Passo Fundo. São Paulo. 2013.

BERNUCCI, Liedi *et al.* **Pavimentação Asfáltica:** formação básica para engenheiros. p.504. Rio de Janeiro. Petrobras. 2008.

BUTLER, David; DAVIES, John. **Urban Drainage.** 2. Ed. London: Spon Press, 2004.

CHANDRAPPA, Anush, Konayakanahalli; BILIGIRI, Krishna Prapoorna. **Comprehensive investigation of permeability characteristics of pervious concrete: A hydrodynamic approach.** Construction and Building Materials. [S.l.]. v. 123. p.627-637. 2016.

DANCIGUER, Gabriela *et al.* **Pavimento permeável aplicado em área urbana, como medida de escoamento da água da chuva.** 2016. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/6394/6091>. Acesso em: 29. Março. 2022.

BRASIL. **Departamento nacional de infraestrutura de transportes - DNIT Manual de pavimentação.** p.233. Rio de Janeiro. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Latossolos Vermelhos.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília. 2022. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html). Acesso em: 28. Abril. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná.** Ministério da agricultura e pecuária. Brasília. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/339505/100/MI503.pdf>. Acesso em: 14. Julho. 2022.

ENGENHARIA DE SUPERFICIE. **Onde utilizar o Piso Industrial de Concreto?.** Goiânia. 2022. Disponível em: <https://engenhariadesuperficie.com.br/piso-industrial/piso-industrial-de-concreto/>. Acesso em: 27. Maio. 2022.





GAL, Jozsef. Evolution de La Perméabilité dès Enrobés Drainants. **Revue Générale dès Routes et Aerodromes**. n.702. p. 119. 2013.

GONÇALVES, André *et al.* **Pavimentos Permeáveis e sua influência sobre a drenagem**. 2014. Disponível em: [www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=11805](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=11805). Acesso em: 29. Março. 2022.

JAHN, Lucas Claudir. **Influência do tamanho e teor de agregado nas propriedades do concreto permeável**. 2016. p. 63. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. 2016. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6883/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_19.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6883/1/CM_COECI_2016_1_19.pdf). Acesso em: 02. Novembro. 2022.

JUNIOR, Barbosa. **Moradores de Guaíra registram ruas alagadas pela chuva**. Costa Oeste News Guaíra. 2021. Disponível em: <https://www.costaostenews.com/noticia/46080/moradores-de-guaira-registram-ruas-alagadas-pela-chuva>. Acesso em: 27. Maio. 2022.

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. p.194 Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001. Disponível em: [https://ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese\\_Salomon\\_Mony\\_Levy.pdf](https://ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_Salomon_Mony_Levy.pdf). Acesso em: 05. Novembro. 2022.

LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo; MELO, Vander de Freitas. **Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. 1ª ed. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná p.26. Curitiba. 2012.

MALLMANN, Marcelo Bortolini. **Estudo experimental do escoamento superficial de dois pavimentos permeáveis de concreto em função de chuvas extremas no vale do Taquari/RS**. 2017. p.114. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES. Lajeado. 2017.

GOOGLE. Google Maps. **Localização de Guaíra**. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Gua%C3%ADra+-+PR/@-24.0935965,-54.2686851,13z/data=!4m5!3m4!1s0x94f4a30b587d3fc5:0x65ca801e57ae3e0f!8m2!3d-24.08369!4d-54.2438059>. Acesso em: 14. Julho. 2022.

MARINHO, Felipe. **Lei de Darcy e coeficiente de permeabilidade do solo**. 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/lei-darcy-permeabilidade-solo/>. Acesso em: 24. Agosto. 2022.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo. **Concreto: microestrutura propriedades e materiais**. 3ª Ed. IBRACON. p. 751. São Paulo. 2008.



MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto poroso: Dosagem e Desempenho**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiás. 2010.

MOTTA, Anaís. **Concreto capaz de absorver mais de 3 mil litros de água é criado no Reino Unido: material pode ser alternativa em países propensos a grandes inundações**. São Paulo. 2015. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/concreto-capaz-de-absorver-mais-de-3-mil-litros-de-agua-e-criado-no-reino-unido/>. Acesso em: 27 maio. 2022.

OLIVEIRA, Allan Kewen Câmara de. **Caracterização de concreto permeável para utilização em pavimentação de calçadas na cidade de campina grande-pb**. 2021. p.93. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande. 2021.

PETRUCCI, Eladio. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

PINTO, Liliâne. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Disponível em: <https://ri.cesmac.edu.br/bitstream/tede/409/1/A%20viabilidade%20do%20pavimento%20a%20sf%C3%A1tico%20perme%C3%A1vel%20em%20vias%20urbanas%20quanto%20ao%20aspecto%20sustent%C3%A1vel.pdf>. Acesso em: 14. Julho. 2022.

SILVA, Arthur Aviz Palma. *et al.* Propriedades mecânicas e permeabilidade de concretos permeáveis com aditivo superplastificante. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. 2020. v. 15. n. 2. p. 110-117. 2020. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revistaremap/index.php/REMAP/article/download/767/517>. Acesso em: 02. Novembro. 2022.

SILVA, Douglas Eduardo Gomes Lima da; MONTEIRO, Leandro Omena Gama. **Análise de dosagem para concreto poroso usado para pavimento permeável**. 2017. p.53. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário – CESMAC. Maceió. 2017.

SILVA, Rodrigo Garozi da. **Estudo de concreto permeável como pavimento**. 2019. p.138. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira. 2019.

SILVEIRA, Luiz Antônio Xavier da. **Contribuição para um modelo de seção de revestimento de pavimentos em ambientes noturnos (Caso de Curitiba)**. 2003. p.91. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16079983-Luiz-antonio-xavier-da-silveira-contribuicao-para-um-modelo-de-selecao-de-revestimentos-de-pavimentos-em-ambientes-urbanos-caso-de-curitiba.html>. Acesso em: 23. Novembro. 2022.



SOUSA, Claudemir Máximo de; BAHIENSE, Henrique tira. **A utilização do concreto permeável na drenagem urbana**. 2013. p.45. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Doctum de Educação e Tecnologia. Caratinga. 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1187/1/TCC%20capa%20dura.pdf> . Acesso em: 13. Julho. 2022

SOUZA, Zigomar Menezes; ALVES, Marlene Cristina. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7. p.23. 2003.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Ângela Martins; KABBACH JÚNIOR, Felipe Issa **Drenagem superficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. 1.ed. São Paulo: Oficina de textos. p. 240. São Paulo. 2013.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANETTI, Edio. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. Pini/IBRACON. p.180. São Paulo. 1990.

TOMAZ, Plínio. **Critério unificado para manejo das águas pluviais em áreas urbanas**. 1ª ed. Guarulhos: Plínio Tomaz. 2009.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013.

VIRGILLIS, Afonso Luís Correa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. p. 191. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo. 2013.