

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATEUS BLANSKI

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE MODELOS EXPERIMENTAIS PARA PESQUISA EM
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**

GUARAPUAVA

2021

MATEUS BLANSKI

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE MODELOS EXPERIMENTAIS PARA PESQUISA EM
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**

**SYSTEMATIC REVIEW OF EXPERIMENTAL MODELS FOR RESEARCH IN
PERMEABLE FLOORS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Joice Cristini Kuritza.

GUARAPUAVA

2021



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

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

MATEUS BLANSKI

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE MODELOS EXPERIMENTAIS PARA PESQUISA EM
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**

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).

Data de aprovação: 07/dezembro/2021

Joice Cristini Kuritza

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mariane Kempka

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Doutor em Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha orientadora, a Prof.^a Dr.^a Joice Cristini Kuritza, pela orientação no decorrer da construção dessa monografia.

Agradeço aos meus pais, Sandro Aparecido Blanski e Silvia Regina Pabis Blanski por me incentivarem a conquistar meus objetivos.

A todos meus amigos, especialmente para a Isabella Fillus, a Melissa Moreira e o Eduardo Ricieri Fiorentin, que me ajudaram desde o início da faculdade, sem a ajuda de vocês eu não teria chego a este momento.

Agradeço a minha orientadora novamente, a Prof.^a Dr.^a Joice Cristini Kuritza, pelos conselhos. Agradeço também a todos os professores e companheiros de turma que participaram da minha trajetória acadêmica.

Agradeço, finalmente, aos meus padrinhos, Rodrigo Zimmer e Danyelle Blanski Zimmer, por todo o suporte fornecido nessa jornada.

RESUMO

Com a evolução na urbanização, o crescimento acelerado das cidades e a mudança no uso e ocupação no solo, ocorrem alterações negativas nas características naturais dos recursos hídricos. O aumento da densidade populacional nos centros urbanos ocasiona vasta impermeabilização do solo e, conseqüentemente, alteração do ciclo hidrológico natural, que acarreta no aumento de inundações, principalmente nas grandes cidades. A drenagem urbana tradicional, com o uso de superfícies impermeabilizadas e o sistema de distribuição de escoamento superficial para as galerias de drenagem é um dos principais motivos para os problemas de alagamento e falta de controle do escoamento. Sendo assim, houve a necessidade do surgimento de medidas de controle de inundações, que se destaca o pavimento permeável, como medida de controle na fonte. Sabendo disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática na literatura de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis, buscando comparar os resultados encontrados na literatura internacional e identificar as principais características dos pavimentos. Com isso, foi encontrado que a porosidade e a relação água/cimento dos pavimentos tem grande influência nas características estruturais e hidráulicas, além de concluir que projetos de pavimentos permeáveis modificados devem ser testados e validados no Brasil, perante a suas vantagens frente ao pavimento comum e ao pavimento permeável tradicional.

Palavras-chave: pavimento permeável; drenagem urbana; permeabilidade.

ABSTRACT

With the evolution of urbanization, the accelerated growth of cities and the change in land use and occupation, negative changes occur in the natural characteristics of water resources. The increase in population density in urban centers causes vast soil sealing and, consequently, changes in the natural hydrological cycle, which leads to increased flooding, especially in large cities. Traditional urban drainage, with the use of waterproof surfaces and the surface runoff distribution system for drainage galleries, is one of the main reasons for the problems of flooding and lack of runoff control. Therefore, there was a need for the emergence of flood control measures, in which the permeable pavement stands out, as a control measure at the source. Knowing this, the present work aims to carry out a systematic review in the literature of experimental models for research on permeable pavements, seeking to compare the results found in the international literature and identify the main characteristics of the pavements. Thus, it was found that the porosity and water/cement ratio of the pavements has a big influence on the structural and hydraulic characteristics, in addition to concluding that modified permeable pavement projects must be tested and validated in Brazil, given their advantages over the common pavement and the traditional permeable pavement.

Keywords: permeable floor; urban drainage; permeability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Crescimento populacional no Brasil	12
Figura 2 – Classificação de pavimentos permeáveis (i) e (ii).	18
Figura 3 – Classificação de pavimentos permeáveis (iii).	18
Figura 4 – Modelos experimentais de pavimentos simulados por Araújo et al. (2000).	24
Figura 5 – Escoamento superficial resultante das simulações nas superfícies ensaiadas por Araújo et al. (2000).	27
Figura 6 – Detalhe do quadro metálico de Moura (2005).	29
Figura 7 – Detalhe da superfície gramada e do chão batido, respectivamente, de Moura (2005).	30
Figura 8 – Detalhe da superfície de blocos maciços e vazados, respectivamente, de Moura (2005).	30
Figura 9 – Detalhe do simulador de chuva de Moura (2005).	31
Figura 10 – Detalhe do funcionamento do simulador de chuva de Moura (2005).	31
Figura 11 – Estacionamento com Pavimentos Permeáveis de Acioli (2005).	33
Figura 12 – Seção transversal do modelo de pavimento permeável de Acioli (2005).	34
Figura 13 – Esquema do simulador de chuvas de Silva (2006).	36
Figura 14 – Simulador de chuvas de Silva (2006).	36
Figura 15 – Quadro Metálico delimitador das superfícies de Silva (2006).	38
Figura 16 – Superfícies de blocos maciços e vazados, respectivamente, de Silva (2006).	38
Figura 17 – Superfícies de solo exposto e com grama, respectivamente, de Silva (2006).	38
Figura 18 – Reservatório e equipamento de medição de Silva (2006).	39
Figura 19 – Reservatório e equipamento de medição no nível de aplicação de Silva (2006).	40
Figura 20 – Hidrograma $I=108\text{mm/h}$ e $Tr=0,5$ anos – sem colmatação de Silva (2006).	40
Figura 21 – Hidrograma $I=105\text{mm/h}$ e $Tr=0,5$ anos – com colmatação de Silva (2006).	41
Figura 22 – Modelo para execução dos pavimentos de Mallmann (2017).	42
Figura 23 – Simulador de chuvas de Mallmann (2017).	43
Figura 24 – Co ocorrências de palavras chave - VOSviewer.	48
Figura 25 – Cocitações de autores - VOSviewer.	48
Figura 26 – Coautoria de autores - VOSviewer.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Resultados das simulações nas superfícies ensaiadas por Araújo et al. (2000).....	27
Tabela 2 – Resumo dos resultados encontrados por Moura (2005).....	32
Tabela 3 – Valores para os coeficientes de escoamento para cada evento de Acioli (2005).....	35
Tabela 4 – Coeficiente de Escoamento para as superfícies de blocos de concreto com juntas alargadas com material rejunte sem lavagem de Mallmann (2017).....	44
Tabela 5 – Coeficiente de Escoamento para as superfícies de Mallmann (2017).....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características de revestimentos recomendadas pela ABNT NBR 16416:2015	23
Quadro 2 – Resumo de pavimentos executados por Silva (2006).	37
Quadro 3 – Resumo do N° de artigos encontrados para as buscas feitas.	45
Quadro 4 – Resumo das informações dos artigos selecionados.....	46
Quadro 5 – Revisão Sistemática – Objetivos	51
Quadro 6 – Revisão Sistemática – Materiais.....	52
Quadro 7 – Revisão Sistemática – Metodologias.....	54
Quadro 8 – Revisão Sistemática – Resultados - Mecânicos	55
Quadro 9 – Revisão Sistemática – Resultados - Hidráulicos	56
Quadro 10 – Revisão Sistemática – Resultados - Termodinâmicos.....	57
Quadro 11 – Revisão Sistemática – Resultados - Poluentes	57
Quadro 12 – Revisão Sistemática – Resultados - Durabilidade	58
Quadro 13 – Revisão Sistemática – Conclusões	58
Quadro 14 – Revisão Sistemática – Sugestões	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO.....	11
2.1.1 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO	12
3.2 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	13
3.3 INUNDAÇÕES	14
3.4 MEDIDAS DE CONTROLE.....	15
3.5 ILHAS DE CALOR	16
3.6 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	16
3.6.1 Tipologia	17
3.6.2 Vantagens e Desvantagens.....	19
3.6.3 Análise de Viabilidade - Solo	19
3.6.4 Execução	20
3.6.5 Operação, Manutenção e Durabilidade	21
3.6.6 Requisitos mínimos – ABNT NBR.....	22
3.7 MODELOS EXPERIMENTAIS DA LITERATURA NACIONAL.....	23
3.7.1 Araújo et al. (2000)	23
3.7.2 Moura (2005)	28
3.7.3 Acioli (2005).....	33
3.7.4 Silva (2006).....	35
3.7.5 Mallmann (2017).....	41
4 METODOLOGIA	45
5 RESULTADOS	50
5.1 REVISÃO SISTEMÁTICA	50
6 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

O processo de industrialização do Brasil no século XX intensificou a urbanização no País, promovendo um aumento da densidade populacional nas cidades e o surgimento de grandes centros urbanos, o que ocasionou uma mudança no uso e ocupação do solo (MOURA, 2005).

O solo em seu estado natural, sem compactação e coberto por vegetação, possui uma grande capacidade de infiltração e baixo escoamento da água, entretanto, com a urbanização, o solo fica impermeabilizado através da construção de casas, edifícios e, principalmente, pavimentos. Devido à vasta utilização de pavimentos totalmente impermeabilizados, como pavimentos asfálticos e de concreto tradicional, houve um grande aumento no escoamento superficial e, logo, os sistemas de drenagem urbana começaram a apresentar problemas (MOURA, 2005).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) exemplificam essa problemática, pois mostram que no Brasil, entre os anos de 2008 e 2012, 37,1% dos municípios do país apresentaram problemas com inundações urbanas. Já dentre as cidades com mais de 500 mil habitantes, 97,4% registraram alagamentos.

Segundo Tucci (2007), o princípio da drenagem urbana tradicional, que consiste em escoar a água da chuva o mais rápido possível para jusante, é errôneo, insustentável e tem levado a cada vez mais inundações, já que esse conceito só transfere o problema para jusante e não o resolve.

Com a finalidade de realizar uma gestão sustentável da drenagem urbana, surgiram diversos dispositivos que procuram se assemelhar às características naturais de retenção e escoamento do solo natural, entre eles, o pavimento permeável (TUCCI, 2007).

Cabe explicitar que pavimento permeável é um dispositivo de infiltração que promove o desvio do escoamento pela superfície permeável até um reservatório, para que ocorra o processo de infiltração no solo ou evaporação (URBONAS E STAHRÉ, 1993). Sabendo da importância das características dos pavimentos permeáveis para um controle eficiente das águas pluviais, são necessárias pesquisas com a intenção de aprimorar e dominar os pavimentos permeáveis através de experimentos e novas criações (SANTOS, 2016).

Sendo assim, diversos pesquisadores têm se dedicado na última década a esse tema, tanto autores nacionais, quanto internacionais, como Mallmann (2017), Oliveira et al. (2021), Vaz (2021), Coutinho et al. (2016) e Li et al. (2013).

Nesse contexto, o presente trabalho visa desenvolver uma revisão sistemática de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis utilizando artigos internacionais relevantes, buscando identificar as principais características e fatores influenciadores dos pavimentos permeáveis, além de comparar os resultados da literatura internacional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Identificar as principais características de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis.

2.1.1 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

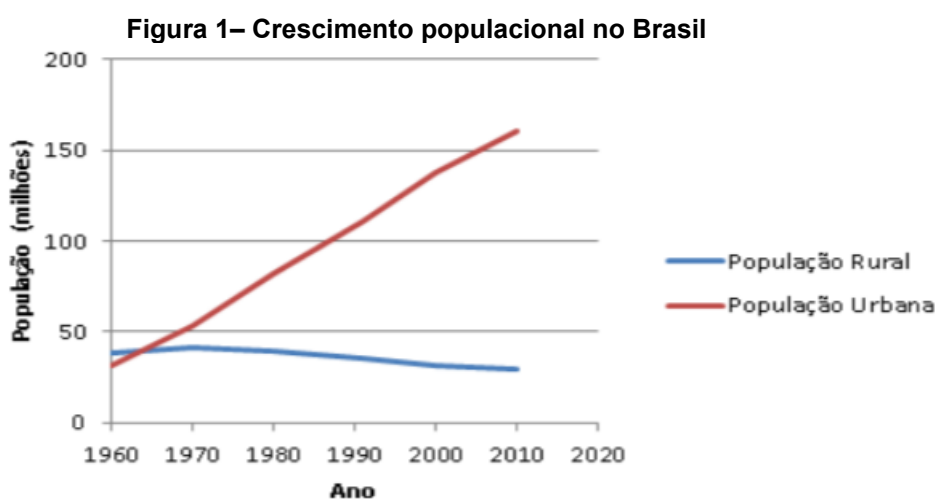
- Realizar uma revisão sistemática na literatura de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis.
- Comparar os resultados encontrados em simulações de pavimentos permeáveis disponíveis na literatura internacional.
- Identificar os principais fatores influenciadores de resultados em testes de modelos experimentais de pavimentos permeáveis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

No Brasil, devido ao seu cenário de desenvolvimento, ainda existe um aumento dos processos de urbanização, que ocasionam impactos ambientais negativos. A drenagem urbana vem tornando-se um grande e complexo desafio, pois envolve aspectos ambientais, sanitários, paisagísticos e técnicos. A dinâmica de expansão urbana, nas últimas décadas, tem produzido grandes impactos negativos, causados, principalmente, pela ausência de infraestrutura e planejamento adequado para essa urbanização (LAMB, 2014).

Segundo Tucci (2007), o crescimento urbano acelerado, aliado ao êxodo rural, geralmente ocasiona um acúmulo de pobreza nas periferias dos centros urbanos e um crescimento populacional sem infraestrutura, gerando agravamento na qualidade de vida e do meio ambiente. A Figura 1 apresenta dados do IBGE a respeito da evolução populacional rural e urbana de 1960 a 2010.



Fonte: Santos (2016)

O ciclo hidrológico natural é composto por algumas: precipita sobre a superfície, parte é interceptada pela cobertura vegetal, podendo daí, transpirar, infiltrar, escoar ou evaporar. A água infiltrada no solo pode evaporar ou penetrar até reservatórios naturais subterrâneos. Já a água que escoar na superfície forma caminhos naturais de escoamento no terreno. A partir do momento que as superfícies

naturais sofrem mudanças, principalmente ocasionadas pelo desenvolvimento urbano, o balanço hídrico é afetado (TUCCI, 2007).

A urbanização mal planejada acarreta em diversos problemas, entre eles, os associados à drenagem urbana, decorrentes de sistemas subdimensionados e/ou obstruídos. A urbanização tem grande impacto sobre o sistema de drenagem urbana, mas está normalmente associado a processos que ocorrem em conjunto com a urbanização, são eles: os processos do crescimento populacional desordenado, à ausência de uma estratégia de ocupação do solo e ao deficiente planejamento urbano (LAMB, 2014).

Segundo Mendonça (2004) o acúmulo de população em grandes metrópoles favorece o aumento da poluição e da frequência das inundações devido à impermeabilização do solo e a canalização de rios. Já Tucci (2003) complementa que, juntamente com o crescimento da cidade, ocorrem consequências indesejadas para o sistema de drenagem urbana, como: redução da evapotranspiração, do escoamento subterrâneo e do rebaixamento do lençol freático, e o aumento da produção de sedimentos, devido à desproteção das superfícies.

3.2 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

O aumento da impermeabilização da superfície é um dos principais impactos da urbanização sobre o meio ambiente, pois o fluxo natural das bacias hidrológicas muda, e o aumento das chuvas superficiais aumenta o pico de vazão dos corpos d'água. Como resultado, a qualidade da água se deteriora, características naturais do solo são alteradas e as enchentes aumentam. (POLASTRE; SANTOS, 2006).

O problema da impermeabilização de superfícies anteriormente naturais é que grande parcela da água é escoada superficialmente, já que ocorre uma redução na interceptação, infiltração e evaporação. Além de que a canalização do escoamento nas redes de drenagem ocasiona o aumento da velocidade da água na bacia (GOLDENFUM, 2013). Hölitz (2011) complementa que a impermeabilização do solo faz com que ele perca as suas propriedades naturais de infiltração, logo, onde antes as águas percolavam naturalmente, surgem superfícies impermeáveis, diminuindo a infiltração no solo e favorecendo a ocorrência de inundações.

Com o processo de urbanização e a impermeabilização do solo, houve um grande aumento no escoamento superficial e, logo, os sistemas de drenagem urbana começaram a apresentar problemas (MOURA, 2005).

O desenvolvimento contínuo da urbanização tem levado à obsolescência gradual dos sistemas de drenagem, e muitos problemas com a impermeabilização do solo têm consequências graves, como inundações cada vez mais frequentes nas áreas urbanas. Esses fenômenos ocorrem quando a chuva é intensa e constante, faz com que o corpo d'água aumente e transborde quando não há escoamento suficiente. (LAMB, 2014).

3.3 INUNDAÇÕES

Inundação pode ser definida pelo transbordamento das águas, podendo ser dividida em dois tipos: as inundações ribeirinhas e as inundações associadas à urbanização. Inundações ribeirinhas são as inundações naturais que ocorrem de acordo com fenômenos da natureza, como a variação do nível dos rios durante os períodos secos e chuvosos. Já as inundações associadas à urbanização estão relacionadas ao sistema de drenagem urbana e são as que acontecem devido à interferência do ser humano no meio ambiente. Dentre essas interferências está a impermeabilização do solo, que causa um aumento nas vazões máximas (TUCCI, 2007).

Segundo Lamb (2014), as inundações ficam cada dia mais comuns e dificultam o cotidiano dos moradores, deixando vias intransitáveis e inundando diversas casas e estabelecimentos durante os eventos de chuva. Maiores picos de vazão e volumes, assoreamento de canais e galerias, entupimento de bueiros, degradação da qualidade da água, doenças de veiculação hídrica e perdas e prejuízos às populações são os principais efeitos causados pelas enchentes.

É sugerido pelos princípios sustentáveis de drenagem urbana que novos desenvolvimentos não devem aumentar a vazão de pico das condições naturais, nem realizar a transferência dos impactos para jusante e que o planejamento da bacia deve acrescentar um controle do volume (TUCCI, 2007).

3.4 MEDIDAS DE CONTROLE

O sistema tradicional de drenagem urbana, amplamente utilizado no Brasil desde o surgimento das grandes cidades, segundo Tucci (2007), tem o princípio da retirada rápida da água da superfície, direcionando o escoamento gerado pelas áreas impermeabilizadas para distante do meio urbano (jusante) e se mostrou insustentável. Essa insustentabilidade ocorre devido à impermeabilização incontrolada das áreas urbanas, surgindo a necessidade de um novo dimensionamento do sistema, já que o anterior não tem capacidade de suprir a demanda (SOUZA, 2002).

Sabendo da inviabilidade de revisões frequentes nos dimensionamentos dos sistemas urbanos, aparece a drenagem urbana sustentável, que consiste em alguns princípios que buscam controlar o balanço hídrico (TUCCI E GENZ, 1995).

Com a drenagem urbana sustentável, surgiram as medidas sustentáveis de drenagem urbana, ou medidas de controle de inundações, e elas podem ser divididas em medidas estruturais e não-estruturais (TUCCI, 2007).

Segundo Tucci (2007) as medidas não-estruturais são aquelas que, sem a execução de obras, buscam amenizar os impactos de enchentes, através de prevenção e convivência. Para medidas de convivência, pode-se citar o uso sistemas de detecção e alerta prévia de inundações, que possibilita a evacuação antecipada e diminuição de danos, e adaptações de estruturas existentes, como vedação nas aberturas. Já nas medidas de prevenção podem ser inclusas a fiscalização severa de ocupação nas áreas de risco de inundações, juntamente com a regulamentação das ocupações dessas áreas.

As medidas estruturais são, de acordo com Tucci (2003), classificadas em: na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem. Medidas na fonte são aquelas que atuam sobre o lote, praças e passeios. Enquanto medidas na microdrenagem são aquelas que atuam sobre um ou mais loteamentos. Já medidas na macrodrenagem são aquelas que afetam rios e riachos. Tucci (2003) ainda comenta que o controle na fonte é mais indicado pelo conceito sustentável de drenagem e que a sua principal medida é o aumento de áreas de infiltração.

Tucci (2007) também cita as medidas de controle de baixo impacto, que fazem parte das medidas estruturais de controle na fonte e podem ser entendidas como a integração da infraestrutura com a preservação do balanço hídrico. Estruturas de controle na fonte são responsáveis pela preservação das condições naturais de

infiltração e escoamento nos locais, sendo muito comum o uso de dispositivos de infiltração.

Esses dispositivos tem como principal objetivo manter as condições hidrológicas do ambiente, utilizando os processos de infiltração, interceptação e amortecimento para manter ou retornar às condições naturais. Tecnologias recentes tem a capacidade de reduzir os volumes escoados ou colaborar na retenção dos poluentes presentes nas enxurradas (HÖLTZ, 2011).

3.5 ILHAS DE CALOR

O sofrimento da humanidade com diversos fenômenos climáticos vem trazendo grande preocupação para a sociedade, dentre os fenômenos preocupantes, existe as ilhas de calor, que tem como característica o aumento da temperatura, afetando os grandes centros urbanos (COLTRI, 2006).

Ilhas de calor são formadas em grandes centros urbanos, devido à quantidade de materiais de construção comuns que absorvem e retêm mais calor do sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Esse aquecimento ocorre devido, principalmente, à capacidade impermeabilizante dos materiais, já que a vegetação costuma manter a temperatura da superfície igual ou inferior à temperatura do ar (GARTLAND, 2018).

Segundo Gartland (2008), algumas soluções para as ilhas de calor podem ser citadas, como: aumentar o plantio de árvores, aumentar as coberturas verdes e diminuir a poluição. O pavimento permeável também pode ser citado como uma alternativa viável, com suas características de infiltração de água no solo e pela versatilidade de uso (ALEGRIA, 2011).

3.6 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

A pavimentação tradicional sempre teve como seu princípio a máxima impermeabilização das camadas, já que a água ocasionaria uma degradação das camadas do pavimento, a perda da capacidade de carga do solo com o aumento da umidade e a degradação do revestimento, que fissuraria devido à pressão da água (ACIOLI, 2005).

O pavimento permeável é um dispositivo de infiltração que promove o desvio do escoamento pela superfície permeável até um reservatório de pedras sob a superfície, para que ocorra o processo natural de infiltração no solo ou evaporação (URBONAS E STAHERE, 1993). Tucci e Genz (1995) comentam também que o pavimento permeável é utilizado principalmente em passeios, estacionamentos e vias de baixo tráfego, além de podem ser utilizados facilmente em ambientes urbanizados.

Segundo Araújo et al. (2000), o escoamento infiltra no revestimento superficial de pavimento permeável, passa pelas camadas de agregados, sendo filtrada por elas e segue para o reservatório de pedras, onde pode ser infiltrado para o subsolo ou transportado por tubos para outro destino.

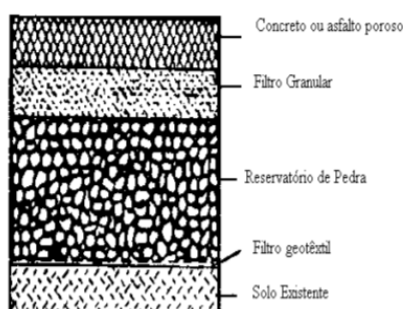
3.6.1 Tipologia

Segundo Urbonas e Stahre (1993), os pavimentos permeáveis podem ser classificados em três tipos, são eles:

- i. Pavimento de concreto poroso;
- ii. Pavimento de asfalto poroso;
- iii. Pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular.

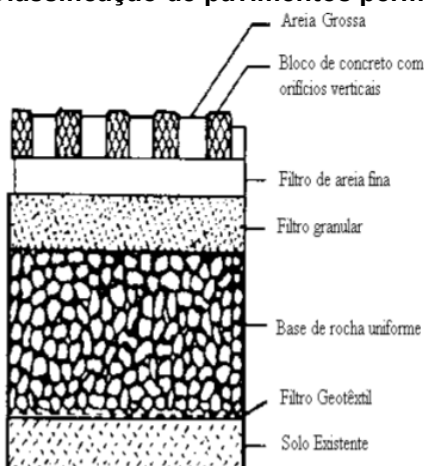
Essa classificação é representada pela Figura 2 e 3.

Figura 2 – Classificação de pavimentos permeáveis (i) e (ii).



Fonte: adaptado de Urbanas e Stahre (1993)

Figura 3 – Classificação de pavimentos permeáveis (iii).



Fonte: adaptado de Urbanas e Stahre (1993)

Araújo et al. (2000) ainda comentam que os pavimentos de concreto e asfalto poroso se assemelham muito com os pavimentos convencionais, a diferença é que ocorre uma retirada da fração da areia fina da composição dos agregados do pavimento, por outro lado, os pavimentos de bloco de concreto vazados são feitos de maneira que, os blocos são dispostos sobre uma camada de base granular, preenchendo os vazios com areia fina, além de colocar filtros geotêxtis sob essa camada de areia fina, impedindo sua passagem para abaixo.

Em relação à infiltração, um projeto de pavimento permeável pode ser classificado em três diferentes tipos, segundo a ABNT NBR 16416:2015, são eles:

- i. Infiltração total;
- ii. Infiltração parcial;
- iii. Sem infiltração.

No modelo de infiltração total, o destino da água após sua saída do reservatório é a infiltração total no subleito. Já no modelo de infiltração parcial, parte da água consegue infiltrar pelo subleito, enquanto a outra fica armazenada na base granular e é removida por dreno situado entre o subleito e o reservatório. Por fim, no modelo sem infiltração a água fica totalmente armazenada na base permeável, sem ocorrer infiltração e é removida, também, por dreno (SCHUELER, 1987).

3.6.2 Vantagens e Desvantagens

Segundo Pinto (2011), os pavimentos permeáveis possuem algumas vantagens e desvantagens em relação ao pavimento tradicional.

Vantagens:

- i. Permite a recarga do lençol freático;
- ii. Melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo encaminhadas para o sistema de drenagem;
- iii. Reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado;
- iv. Controle da erosão do solo.

Desvantagens:

- i. Possibilidade de contaminação do lençol freático;
- ii. Necessidade de inspeções regulares para execução da obra com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;
- iii. Manutenção periódica com lavagem à vácuo;
- iv. Nos casos de entupimento, tanto da camada superficial quanto da estrutura do reservatório, faz-se necessária a reabilitação do pavimento.

3.6.3 Análise de Viabilidade - Solo

O estudo de viabilidade auxilia a determinar qual material é melhor aproveitado em cada caso, no caso dos pavimentos permeáveis pode-se dizer se esse

tipo de pavimento é viável para aquela região e tipo de solo, além de auxiliar na escolha da estrutura do pavimento.

Sabendo que os pavimentos permeáveis só são viáveis quando o solo possui uma taxa de infiltração superior a 7mm/h e que o nível do lençol freático ou o a cota da camada impermeável deve estar, no mínimo, a 1,2 metros da base do pavimento, faz-se necessário um estudo de solo no local de implantação do pavimento (ARAÚJO et al., 2000).

3.6.4 Execução

De acordo com Alencar (2013), a execução do pavimento permeável se assemelha muito ao pavimento convencional e pode ser brevemente explicada através de seis etapas, sabendo que o processo de execução de pavimentos permeáveis é muito semelhante, descritas para o pavimento permeável do tipo bloco de concreto:

- i. Preparação do subleito: Deve ser realizada a limpeza superficial, mantendo a inexistência de qualquer tipo de matéria orgânica. As costas e declividades de projeto devem ser atendidas, assim como os respectivos direcionamentos de tubulações de drenagem, caso seja necessário. O subleito pode ser constituído de solo já existente ou de empréstimo, devendo apresentar um Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 2 e expansão inferior a 2%.
- ii. Posicionamento da manta geotêxtil: Quando for necessário seu uso, a manta tem a função de impedir o carreamento dos finos para camadas subjacentes, com seu posicionamento acima do subleito. Para solos com CBR maior que 5, devem existir sobras laterais de 0,3m. Para CBR inferior a 5, a sobre deverá ser de 0,6m.
- iii. Execução camadas de base e sub-base: A sub-base é espalhada em camadas de 100 mm a 150 mm e compactada usando uma placa vibratória ou um rolo compactador. A base possui uma espessura de 100 mm e pode ser executada em uma camada e compactada, também, utilizando placa vibratória ou rolo compactador.

- iv. Assentamento das peças de concreto: Deve ser inseridas contenções laterais, podendo ser estruturas rígidas ou de dispositivos fixados na base do pavimento, que garantam a estabilidade horizontal do sistema. A camada de assentamento deve ter espessura de 50mm após a compactação e deve ser feito o nivelamento material de assentamento com o uso de régua metálica ou por modo mecanizado. Os espaços deixados nessa fase devem ser preenchidos com material de assentamento. As peças de concreto devem ser colocadas de maneira manual ou mecanizada. A primeira fiada deve ser assentada de acordo com o projeto, respeitando o esquadro e o alinhamento, além de não poder ser arrastada sobre a camada de assentamento. Manter as linhas guia na frente da área de assentamento das peças, verificando regularmente o alinhamento longitudinal e transversal e efetuar os ajustes de alinhamento das peças, quando necessário, mantendo a espessura das juntas uniforme.
- v. Rejuntamento: O rejunte deve ser aplicado com as peças já assentadas, realizando o espalhamento a seco do material, de maneira que fique uma camada fina e uniforme de rejunte acima do revestimento, em seguida o mesmo deve ser varrido até que as juntas entre as peças e com a contenção lateral, sejam preenchidas a 5mm do topo das peças de concreto.
- vi. Compactação: A compactação deve ser feita por meio de placas vibratórias que proporcionem a acomodação necessária das peças.

3.6.5 Operação, Manutenção e Durabilidade

O pavimento permeável tem sua operação e manutenção muito similar à do pavimento convencional, porém apresentando algumas diferenças, principalmente devido à alta capacidade de infiltração, que faz o pavimento necessitar de maiores cuidados (ACIOLI, 2005).

É estabelecido na ABNT NBR 16416:2015, que o pavimento deve sofrer intervenções quando houver condições de comprometimento de desempenho e que os reparos podem ser realizados com os mesmos materiais do pavimento existente.

EPA (1999) também cita que não é vedado o uso de pavimento convencional para correção de patologias, contanto que não seja necessário o reparo de mais de 10% da área com pavimentada.

EPA (1999) ainda reafirma a importância da inspeção nos meses seguintes da instalação e a continuidade de manutenções anuais, sempre realizadas após grandes tempestades, que normalmente acarretam pontos de entupimento na pista.

Schueler (1992) cita os fatores críticos para a durabilidade dos pavimentos permeáveis, são eles:

- i. Rotina de Limpeza;
- ii. Restrições ao acesso de veículos pesados;
- iii. Inspeção na execução e manutenção;
- iv. Tratamento antecipado do escoamento de outros locais;
- v. Controle de sedimentos durante a construção.

Ao longo da utilização dos pavimentos permeáveis, ocorre a obstrução dos seus poros por sedimentos, através, principalmente, das águas pluviais. Esse fenômeno é denominado de colmatção e é responsável pela diminuição da permeabilidade do pavimento ao longo do tempo, comprometendo sua funcionalidade (BENJAMIN et al, 2003).

A vida útil do pavimento permeável está totalmente ligada à sua capacidade de infiltração e, conseqüentemente, ao processo de colmatção que pode ocasionar a perda de funcionalidade da estrutura (ACIOLI, 2005). A colmatção dos poros do pavimento parece estar ligada à sucessivos ciclos de umidificação e secagem segundo Raimbault et al. (2002). Além disso, eles também sugerem que a frequente remoção da capa superior de colmatante, antes de seu endurecimento e entupimento de poros, pode ser a forma mais eficiente de evitar esse problema.

3.6.6 Requisitos mínimos – ABNT NBR

A ABNT NBR 16416:2015 sugere alguns requisitos dos materiais para a utilização nos pavimentos permeáveis de Concreto, já para pavimentos com superfície feitos de outro material, a norma brasileira não deixa recomendações.

Para as características superficiais dos pavimentos, a ABNT NBR 16416:2015 sugere um coeficiente de permeabilidade maior que $10^{-3}m/s$. Já para a resistência do material superficial, é realizado uma divisão de acordo com a característica do pavimento e o método de análise de resistência, observado pelo quadro 1.

Quadro 1 – Características de revestimentos recomendadas pela ABNT NBR 16416:2015

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (Mpa)	Método de ensaio	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60	≥35	ABNT NBR 9781 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	
	Tráfego Leve	80			
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥20		
	Tráfego Leve	80			
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥2		ABNT NBR 15805 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO
	Tráfego Leve	80			
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60	≥1	ABNT NBR 12142 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	
	Tráfego Leve	100	≥2		

Fonte: adaptado de ABNT NBR 16416:2015

3.7 MODELOS EXPERIMENTAIS DA LITERATURA NACIONAL

Com a crescente demanda de aprofundamento nas pesquisas em pavimentos permeáveis, múltiplos trabalhos experimentais têm surgido com foco no aperfeiçoamento de técnicas de controle na fonte. (ACIOLI, 2005)

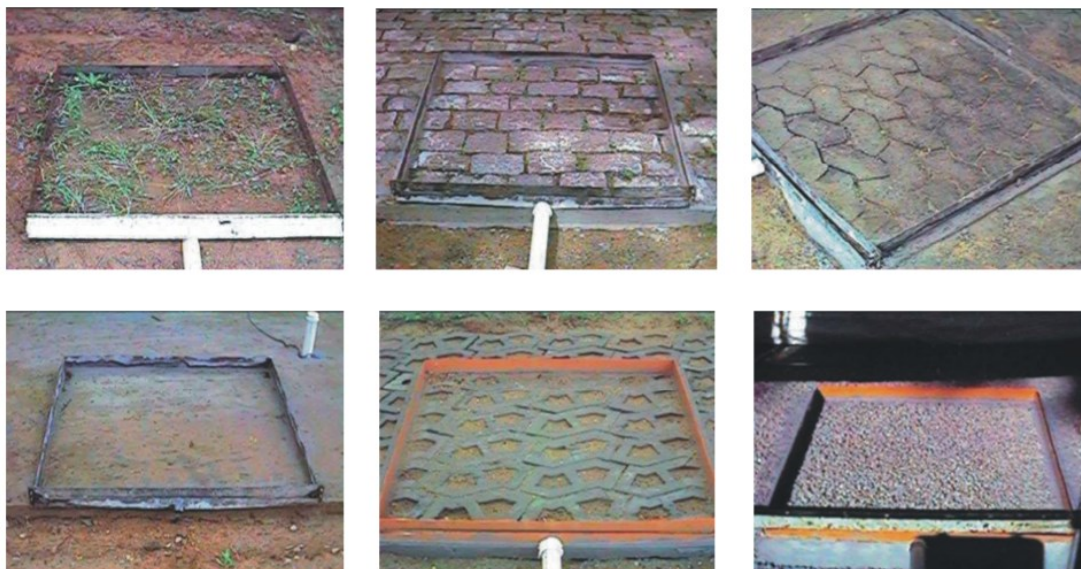
Sabendo disso, alguns estudos científicos podem ser citados com a finalidade de utiliza-los como parâmetros de bibliografia.

3.7.1 Araújo et al. (2000)

Araújo et al. (2000) realiza uma simulação de chuvas, na IPH da UFRGS, sobre 6 tipos diferentes de superfícies que podem ser encontradas no perímetro urbano, entre eles: solo compactado, pavimento de concreto convencional de cimento, pedras regulares de granito com juntas de areia, pedras de concreto industrializado tipo “pavi S” com juntas de areia, blocos de concreto com orifícios preenchidos por areia e pavimento de concreto poroso, onde os dois últimos são classificados como

pavimentos permeáveis. Os modelos executados são apresentados pela Figura 4. Nesse caso, não foram verificadas quais seriam os efeitos de mudança de inclinação, sabendo que a mesma, pode afetar negativamente a infiltração nas superfícies.

Figura 4 – Modelos experimentais de pavimentos simulados por Araújo et al. (2000).



Fonte: Araújo et al. (2000)

Para a simulação de chuvas foi utilizado um aparelho de simulação concebido por Asseline e Valentin (1978), que possui capacidade para simular chuvas de variadas intensidades em uma parcela de 1m² de área. Para isolar a parcela analisada, deve se utilizar um quadro metálico, em todo perímetro da área e usar furos na parte mais baixa do quadro, para que a água possa escoar até uma calha coletora, que é responsável por desviar o fluxo do escoamento até um linígrafo, equipamento responsável por medir o nível de água coletado (ARAÚJO et al., 2000).

Segundo Araújo et al. (2000), para o dimensionamento do reservatório de pedras foi utilizado do estudo de solo para garantir que as exigências seriam atingidas, além disso foram realizados testes de porosidade no material do reservatório (brita 3) e para a determinação da chuva de projeto foi usado a curva IDF da região, considerando o tempo de retorno de 5 anos e uma duração de 10 minutos para os testes, resultando em uma intensidade aproximada de 119mm/h. A partir desses dados foi possível realizar o dimensionamento do reservatório.

O dimensionamento dos pavimentos permeáveis para uso de circulação de pessoas e de veículos leves, que é o caso, necessita somente de um dimensionamento de reservatório de pedras, quando o pavimento escolhido é do tipo

infiltração total ou parcial, que deve ser feito a partir de dados de chuvas da região escolhida e de critérios de projeto.

Segundo Araújo et al. (2000), considerando um sistema de infiltração total sem conexão com rede de drenagem existente, o reservatório de pedras deve ser grande o suficiente para acomodar o volume do escoamento de uma chuva de projeto menos o volume de escoamento que é infiltrado durante a chuva. A equação que define o volume de escoamento superficial gerado pela precipitação é a Equação 1.

$$V_r = (i_p + c - i_e) * t_d \quad \text{Equação 1}$$

onde V_r é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório (em mm), i_p é a intensidade máxima da chuva de projeto (em mm/h), i_e é a taxa de infiltração do solo (em mm/h), t_d é o tempo de duração da chuva (em horas) e c um fator de contribuição de áreas externas, é encontrado através da Equação 2.

$$c = \frac{i_p * A_c}{A_p} \quad \text{Equação 2}$$

onde A_c é área externa de contribuição para o pavimento permeável, A_p é área de pavimento permeável e i_p , como já dito anteriormente, é a intensidade máxima da chuva de projeto.

A profundidade do reservatório de pedras é determinada pela Equação 3.

$$H = \frac{V_r}{f} \quad \text{Equação 3}$$

onde H é a profundidade do reservatório de pedras (em mm), f é a porosidade do material e V_r , assim como na equação 1, é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório (em mm).

A porosidade pode ser determinada pela equação 4.

$$f = \frac{V_L + V_G}{V_T} \quad \text{Equação 4}$$

onde V_L é o volume de líquidos, V_G é o volume de vazios e V_T é o volume total da amostra.

Apesar da amostragem ser realizada em somente 1m² de cada pavimento, foram construídos modelos com diferentes áreas para análise.

A superfície analisada de solo batido, a única que não foi construída para estudo, se caracteriza por ser uma rua antiga, com mais de 40 anos, e possuía vegetação rasteira, além de inclinação média de 2%. Para a superfície de pavimento de concreto convencional, foi executado um pavimento de 3x3 m, com espessura de 10 a 12 cm de camada superficial. Como não é o objetivo do trabalho o estudo focado

no pavimento convencional, fica a cargo do leitor buscar por pesquisas educacionais mais aprofundadas na parte estrutural dos pavimentos comuns. Já para os blocos de concreto sem vãos e as pedras paralelepípedo, foi utilizado uma área experimental previamente construída nas dependências da Universidade (ARAÚJO et al., 2000).

Para a execução dos dois modelos de pavimentos permeáveis, foi utilizado blocos de concreto pré-fabricados vazados e concreto poroso com traço de 1:6 e brita 1. Ambos os modelos têm sua construção da mesma maneira, alterando somente o revestimento superficial e o preenchimento das juntas de revestimento com areia, no caso do bloco de concreto.

Foi executado uma escavação de dimensões 2x2 metros com profundidade suficiente para a camada de filtro granular de 10cm de espessura e para a camada superficial, que é de 10cm para a camada de blocos de concreto e de 15cm para a camada de concreto poroso. Dentro dessa escavação, foi realizada outra com dimensões de 1x1 metros para o reservatório e profundidade encontrada através do dimensionamento do reservatório de pedras. Na base e na superfície superior da abertura de 1x1 m, colocou-se filtros geotêxteis para impedir a mistura do solo com o agregado graúdo do reservatório e a mistura do agregado médio com o agregado graúdo, respectivamente. Lembrando que é interessante a compactação do agregado utilizado no reservatório antes da colocação do filtro superior. Por fim, os blocos de concretos vazados foram assentados sobre o agregado médio, que deve ser utilizado para preencher 10 cm de altura da escavação de 2x2, e os vãos dos blocos devem ser preenchidos com a mesma areia média do filtro granular.

Como dito anteriormente, o mesmo processo foi feito para o pavimento de concreto poroso, com exceção do revestimento superficial que teve um concreto com traço 1:6 para a relação cimento/agregado, 0,38 para relação água/cimento e 2020 Kg/m³ de massa específica, além de possuir uma resistência a compressão de 14 Mpa em 28 dias (ARAÚJO et al., 2000). Araújo et al. (2000) também comenta que o concreto sem finos deve ser pouco adensável e a vibração aplicada por períodos muito curtos, para que a pasta de cimento não escorra para o fundo e que não se recomenda o adensamento com soquetes pois podem resultar massas específicas localizadas elevadas.

Após as simulações, os resultados estão apresentados pela Tabela 1 e Figura 5.

Figura 5 – Escoamento superficial resultante das simulações nas superfícies ensaiadas por Araújo et al. (2000).

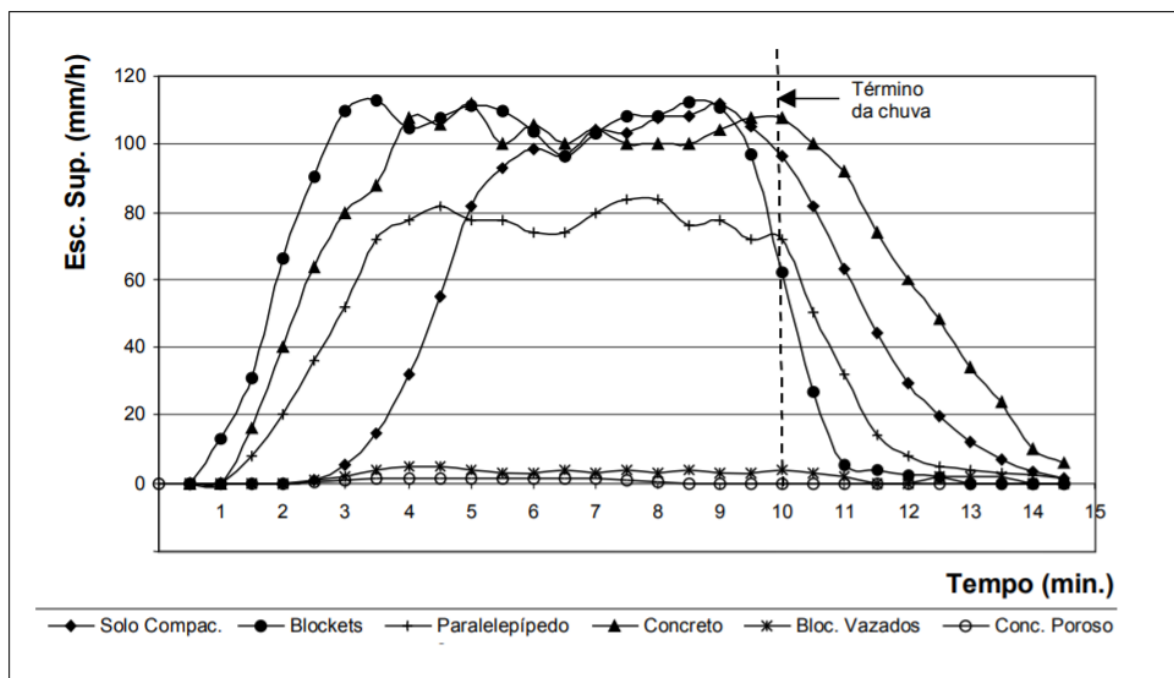


Tabela 1– Resultados das simulações nas superfícies ensaiadas por Araújo et al. (2000).

	Solo Compactado	Concreto	Bloco de Concreto	Paralelepípedo	Concreto Poroso	Blocos Vazados
Intensidade Simulada (mm/h)	112	110	116	110	120	110
Coeficiente de Escoamento	0,66	0,95	0,78	0,6	0,005	0,03

Fonte: adaptado Araújo et al. (2000)

A partir disso, o autor conclui que solos compactados tem praticamente mesmo escoamento que a superfície de paralelepípedos, ou seja, a compactação tem grande contribuição para o aumento do escoamento. Além de apresentar os pavimentos permeáveis como soluções que geram um escoamento praticamente nulo, nas situações analisadas. Em contrapartida, é possível perceber uma relação de quanto menor o escoamento gerado, maior o custo da implantação do pavimento.

3.7.2 Moura (2005)

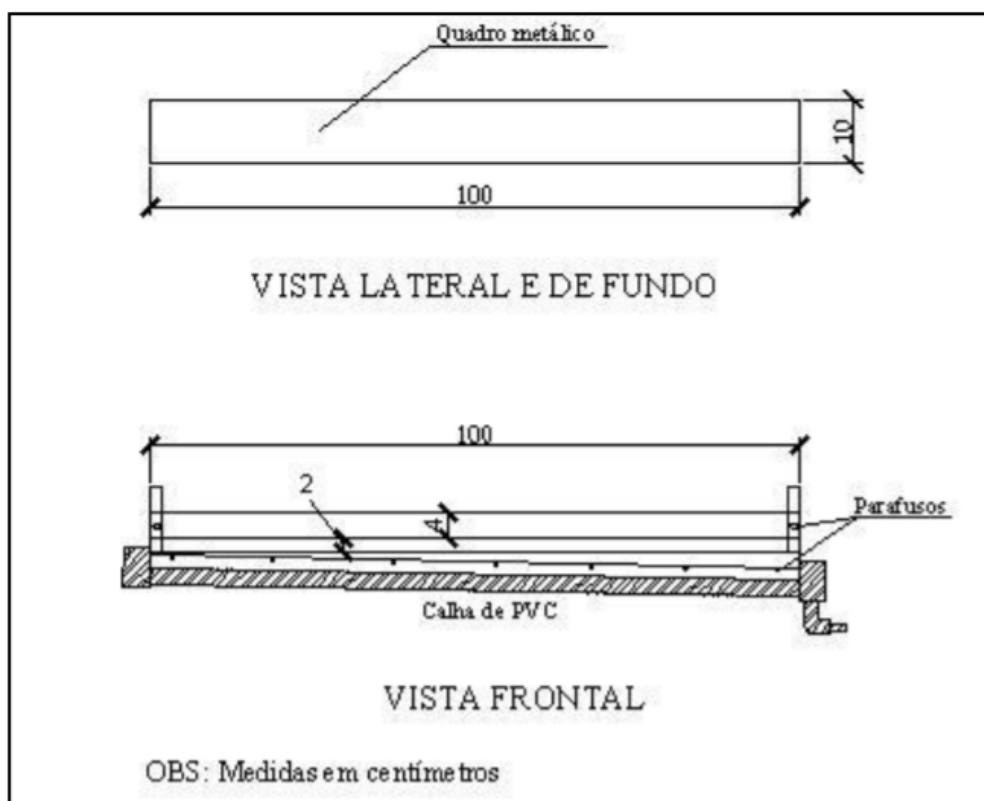
Já Moura (2005), faz uma simulação de chuvas em 10 parcelas experimentais de pavimentos, em um condomínio no município de Sobradinho, Distrito Federal. Os resultados das simulações foram ajustados e aplicados matematicamente para simular o uso desses diferentes pavimentos em um estacionamento na Universidade de Brasília.

As 10 parcelas experimentais foram:

- uma superfície gramada com declividade de 6%;
- uma superfície de chão batido com declividade de 3,5%;
- duas superfícies de blocos maciços sem a compactação da base, sendo uma com declividade de 2% e outra de 7%;
- duas superfícies de blocos maciços com a base compactada, sendo uma com declividade de 2% e outra de 6%;
- duas superfícies de blocos vazados sem a compactação da base, sendo uma com declividade de 2% e outra de 7%;
- duas superfícies de blocos vazados com a compactação da base, sendo uma com declividade de 2% e outra de 6%.

Todos os experimentos foram feitos delimitando uma área de 1m² para cada superfície, delimitação feita através de um quadro metálico, similar com o utilizado por Araújo et al. (2000), como mostra o detalhe na Figura 6.

Figura 6 – Detalhe do quadro metálico de Moura (2005).



Fonte: Moura (2005)

Na parte executiva dos modelos experimentais de Moura (2005), a superfície gramada e de solo batido foi somente instalado o quadro metálico diretamente no terreno, com profundidade de fixação de 5 cm. Já os pavimentos com blocos foram realizados de maneira muito simples, visando a análise das características superficiais dos blocos, somente a escavação de uma área de 1x1 m na superfície, com uma profundidade de 10cm, sendo que os 3 cm mais profundos foram preenchidos com areia, e então, realizado o assentamento dos blocos sobre esta camada. Os blocos vazados foram preenchidos com areia. A diferença para as superfícies compactadas foi que antes de preencher com a camada de areia, o solo foi compactado. Em todas as situações os quadros metálicos foram fixados na superfície com o uso de argamassa de cimento. Como mostra as Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Detalhe da superfície gramada e do chão batido, respectivamente, de Moura (2005).



Fonte: Moura (2005)

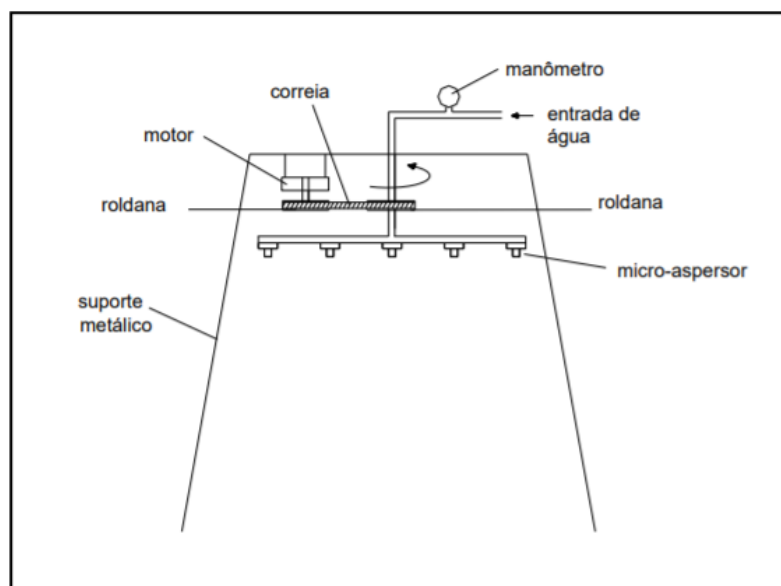
Figura 8 – Detalhe da superfície de blocos maciços e vazados, respectivamente, de Moura (2005).



Fonte: Moura (2005)

O simulador de chuvas utilizado nos experimentos foi desenvolvido por Silva e Campana (2004). Segundo Moura (2005), ele forma a chuva por um movimento rotacional de 22 aspersores, mantendo a uniformidade da chuva. O simulador em questão é destinado para áreas de 1 m² e possibilita fixar as intensidades das precipitações, mantendo-a uniforme em todas as superfícies, além de variar a precipitação entre 50 e 200 mm/h. O simulador pode ser entendido através das Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Detalhe do simulador de chuva de Moura (2005).



Fonte: Silva e Campana (2004)

Figura 10 – Detalhe do funcionamento do simulador de chuva de Moura (2005).



Fonte: Moura (2005)

Os experimentos foram realizados de maneira que, para cada parcela, foram usadas pelo menos duas intensidades diferentes para testes. Primeiramente, todas as superfícies foram testadas avaliando a influência da declividade e do tipo de pavimento para a geração de escoamento superficial, após essas simulações, foram realizadas outras simulações em todos os pavimentos, buscando observar a influência da passagem de veículos, assim como da colmatação por sedimentos. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

O estudo de caso foi feito através da adaptação numérica dos resultados das simulações para a área de construção do estacionamento. Já que o presente trabalho tem foco somente no desenvolvimento do modelo experimental, serão desconsiderados os resultados encontrados pelo autor no estudo de caso.

Tabela 2 – Resumo dos resultados encontrados por Moura (2005).

Superfícies		Inclinação (%)	Precipitação (mm/h)	Infiltração da base (mm/h)		Coeficiente de Escoamento	
Grama		6	120 a 156	88 a 124		0,17 a 0,24	
Chão Batido		3,5	120 a 156	38 a 64		0,52 a 0,63	
				Não colmatada		Colmatada	
				Infiltração da base (mm/h)	Coeficiente de Escoamento	Infiltração da base (mm/h)	Coeficiente de Escoamento
Bloco maciço	Base não compactada	2	84 a 120	66 a 70	0,13 a 0,39	14 a 17	0,81 a 0,82
		7	60 a 120	29 a 31	0,48 a 0,74	7 a 13	0,80 a 0,93
	Base compactada	2	84 a 120	36 a 37	0,53 a 0,69	12 a 13	0,79 a 0,88
		6	84 a 120	48 a 52	0,34 a 0,53	14 a 28	0,71 a 0,83
Bloco vazado	Base não compactada	2	84 a 156	117 a 118	0,0074 a 0,24	49 a 67	0,37 a 0,40
		7	84 a 156	106 a 108	0,096 a 0,10	24 a 52	0,63 a 0,67
	Base compactada	2	84 a 156	80 a 85	0,31 a 0,35	23 a 24	0,63 a 0,76
		6	84 a 156	93 a 96	0,30 a 0,33	17 a 18	0,75 a 0,81

Fonte: adaptado de Moura (2005)

Analisando de maneira geral, o autor aponta que a colmatação e passagem de veículos, em todos os carros, acarretou um aumento no escoamento superficial, além de fazer com que a taxa de infiltração pouco dependesse da inclinação e da compactação. Além disso, a compactação também foi grande influenciador do aumento do escoamento superficial na maioria dos casos, lembrando que a infiltração está diretamente ligada com a umidade inicial do solo e o rearranjo dos grãos, podendo estes serem os principais influenciadores nas inconsistências de alguns resultados.

O autor também enfatiza os bons resultados do pavimento permeável, os blocos vazados, que tiveram uma maior taxa de infiltração que o próprio terreno em estado natural, por outro lado, o chão batido acabou tendo resultados tão ruins quanto os blocos maciços.

3.7.3 Acioli (2005)

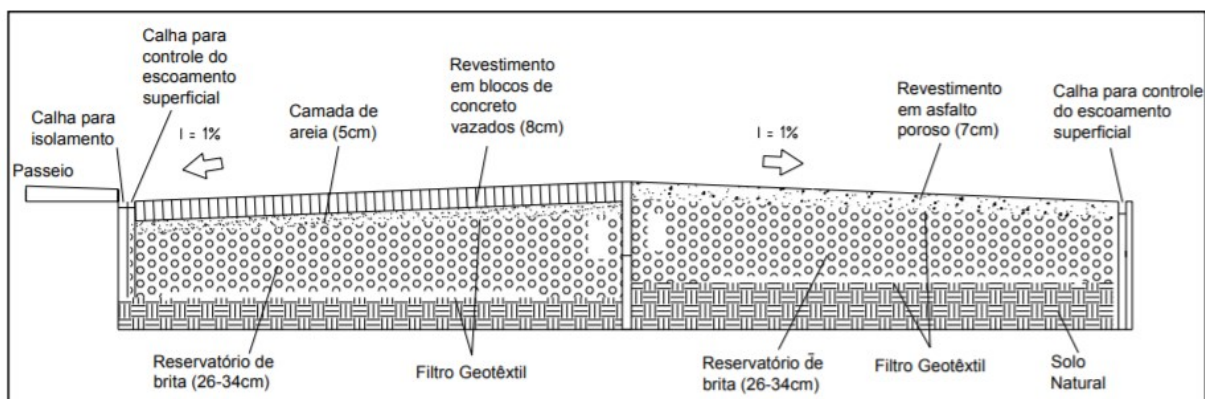
Outro estudo experimental que, apesar de não estar ligado a um modelo experimental, pode ser interessante ressaltar é o de Acioli (2005) que mostra o processo de projeto e execução de um estacionamento nas dependências do IPH/UFRGS, com um total de 264 m² dividido entre dois pavimentos permeáveis diferentes, um de asfalto poroso e outro de blocos vazados. O projeto da execução pode ser observado pelas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Estacionamento com Pavimentos Permeáveis de Acioli (2005).



Fonte: Acioli (2005)

Figura 12 – Seção transversal do modelo de pavimento permeável de Acioli (2005).



Fonte: Acioli (2005)

As simulações foram realizadas com diferentes tipos de dispositivos simultaneamente, para 22 eventos de precipitações naturais, resultando nos dados da Tabela 3.

Analisando os resultados, o autor obteve um valor para 5,08% de coeficiente de escoamento para a superfície de asfalto poroso e 2,27% para os blocos vazados. Essa discrepância de valores foi justificada pelo depósito de areia, material utilizado para preenchimento dos blocos vazados, no pavimento poroso. Além disso, os resultados dos sensores no reservatório de pedras apontam que o mesmo não chegou a atingir 25% de sua capacidade total, ou seja, foi superdimensionado.

Tabela 3 – Valores para os coeficientes de escoamento para cada evento de Acioli (2005).

Precipitação (mm)	Coeficiente De escoamento (%) – Asfalto Poroso	Coeficiente De escoamento (%) – Blocos Vazados
62,5	-	0
32,3	-	1,4
22,6	0,8	0
9,1	-	0
23,4	-	0
83,1	5,0	1
20,1	0,7	0
30,7	-	0
24,4	1,8	1,8
9,7	0	0
35,6	7,3	0
55,1	9,5	0
20,8	3,6	5,4
32,5	6,1	3,8
46,2	8,2	1,1
115,8	7,7	9,8
20,8	3,6	5,4
37,1	6,2	4,5
15,2	7,2	3
18,5	2,2	0
17,0	3,0	0
90,4	13,5	12,8
Média	5,08	2,27
Desvio Padrão	3,62	3,49

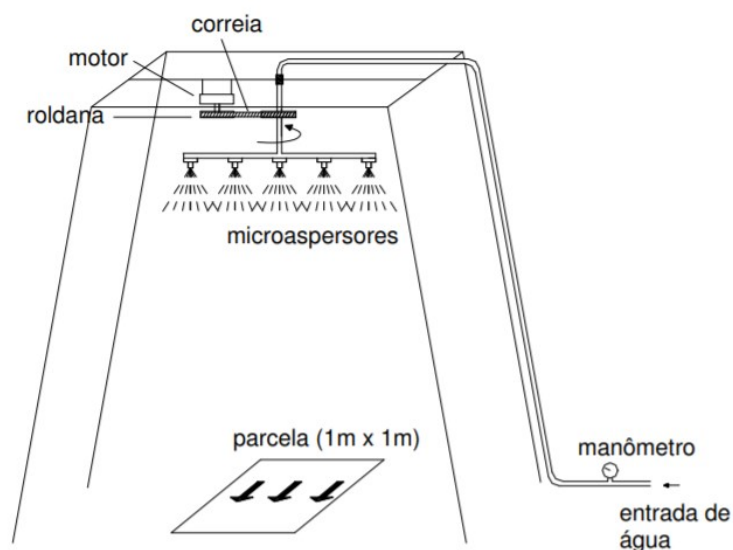
Fonte: adaptado de Acioli (2005)

3.7.4 Silva (2006)

Silva (2006) também realizou simulações de chuva com modelos experimentais de pavimentos permeáveis, onde seu trabalho tinha como objetivo avaliar a eficiência de diferentes tipos de pavimentos permeáveis com relação ao controle do escoamento superficial.

Além disso, Silva (2006) também desenvolveu um equipamento de produção de chuvas artificiais, bem semelhante ao utilizado por Moura (2005). O equipamento de simulação foi desenvolvido para uma área de 1x1 m, possuindo valores de precipitação variando de 0 a 200mm/h e permitindo a fixação da intensidade da precipitação. O esquema do simulador é apresentado pelas Figuras 13 e 14 mostra o simulador em funcionamento.

Figura 13 – Esquema do simulador de chuvas de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

Figura 14 – Simulador de chuvas de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

Os módulos experimentais analisados por Silva (2006) se assemelham muito às utilizadas por Moura (2005) e eles foram implementados na cidade de Sobradinho, DF. No geral, o experimento envolveu quatro tipos de superfícies, dois pavimentos permeáveis e dois solos naturais. Os pavimentos permeáveis são superfícies de blocos maciços e superfícies de blocos vazados, já os solos naturais são solo exposto e solo gramado. Os pavimentos permeáveis foram divididos em 2 grupos, o primeiro são pavimentos com a base não compactada e o grupo 2, com a base compactada. Além disso, cada tipo de bloco em cada grupo foi realizado com 2 inclinações

diferentes, uma mais leve e outra acentuada. Como é percebido pelo resumo no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo de pavimentos executados por Silva (2006).

Grupo	Tipo de superfície	Declividade (%)	Solo na base
1	Bloco maciço	2	Não compactado
	Bloco maciço	7	Não compactado
	Bloco vazado	2	Não compactado
	Bloco vazado	7	Não compactado
2	Bloco maciço	2	Compactado
	Bloco maciço	6	Compactado
	Bloco vazado	2	Compactado
	Bloco vazado	6	Compactado
Referência	Solo exposto	4	-
	Solo gramado	6	-

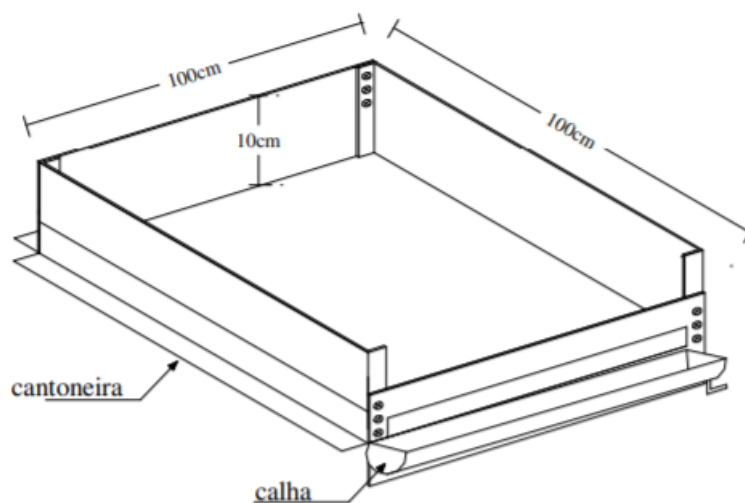
Fonte: adaptado de Silva (2006)

Segundo Silva (2006), as instalações dos módulos foram bem simples, foi realizado uma escavação de 1,5x1,5 m para cada módulo, com 15 cm de profundidade. Após isso, para as superfícies de grupo 2, foram realizadas as compactações do solo, manualmente. Em seguida, a área escavada é preenchida com uma camada de 5 cm de areia, então os blocos devem ser assentados sobre esta última camada. Para os blocos vazados, os vãos de infiltração devem ser preenchidos com areia, já para os blocos maciços, as juntas dos blocos são preenchidas com o mesmo material.

Com o intuito de travar as parcelas do grupo 2, foi utilizado cintas de 8cm de espessura para travamento lateral, já que as superfícies seriam submetidas à passagem de veículos, posteriormente.

Para realizar a delimitação das superfícies, foi utilizado chapas metálicas com 10cm de largura e 1 metro de comprimento, onde 4 chapas foram parafusadas, concebendo um quadro metálico de 1m². Na lateral de uma das chapas, foi realizado um rasgo para permitir a passagem de água e a fixação de uma canalização que seria responsável por destinar o escoamento superficial até um reservatório de armazenamento. A Figura 15 representa o quadro metálico montado.

Figura 15 – Quadro Metálico delimitador das superfícies de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

A placa foi fixada utilizando argamassa de cimento nas laterais e pasta de silicone para melhor vedação. Os modelos experimentais executados podem ser visualizados pela Figura 16 e 17.

Figura 16 – Superfícies de blocos maciços e vazados, respectivamente, de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

Figura 17 – Superfícies de solo exposto e com grama, respectivamente, de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

Para realizar as medições de escoamento, foi utilizado um reservatório retangular para armazenamento, com dimensões de 40cm x 25cm e altura de 60 cm, o qual ficava dentro de uma escavação realizada para ele, garantindo que a água recolhida das superfícies chegasse ao reservatório. Dentro do reservatório foi colocado um dispositivo de leitura do nível de água, uma ponta linimétrica com 0,1mm de precisão, que funciona a partir de um circuito elétrico. O esquema pode ser entendido pela Figura 18 e 19.

Figura 18 – Reservatório e equipamento de medição de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

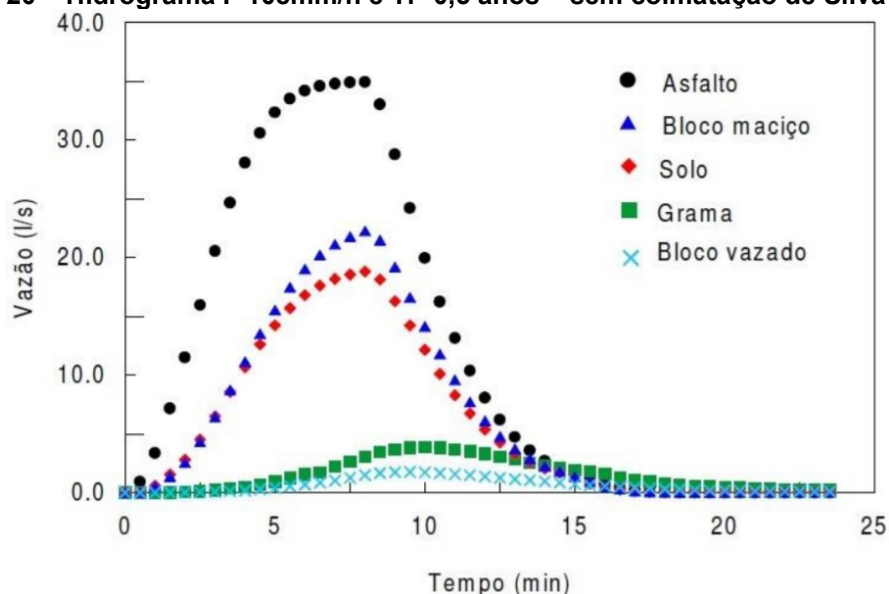
Figura 19 – Reservatório e equipamento de medição no nível de aplicação de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

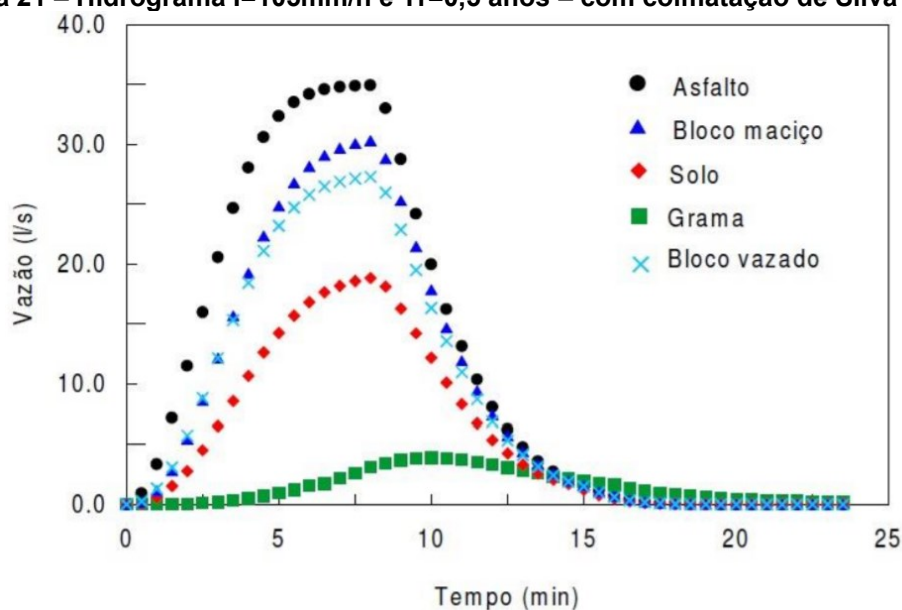
O autor obteve como resultado de seu experimento que os blocos vazados eram a alternativa mais eficiente, superando a taxa de infiltração do próprio solo em estado natural, porém adverte sobre a situação de colmatção pelo uso, que pode acarretar queda significativa da eficiência do dispositivo, precisando de manutenção periódica para prevenir esse tipo de problema. As Figuras 20 e 21 apresentam essa diferença com clareza.

Figura 20 – Hidrograma $I=108\text{mm/h}$ e $T_r=0,5$ anos – sem colmatção de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

Figura 21 – Hidrograma I=105mm/h e Tr=0,5 anos – com colmatção de Silva (2006).



Fonte: Silva (2006)

3.7.5 Mallmann (2017)

Mallmann (2017) é outro autor que realizou experimentos com simulação de chuvas em pavimentos permeáveis, além disso ele também verificou o comportamento estrutural dos materiais buscando descobrir se esses tipos de pavimentos seriam capazes de resistir a chuvas extremas no Vale do Taquari/RS.

O autor utiliza dois tipos de diferentes de pavimentos permeáveis em seus testes, são eles: Pavimentos de blocos de concreto com juntas alargadas e pavimentos de concreto permeável. É realizada diversas verificações conforme a ABNT para valores de resistência dos inúmeros materiais que compõem um pavimento como um todo, como estes parâmetros não são de interesse deste trabalho, eles serão desconsiderados, focando no modelo experimental e na simulação de chuvas.

Diferentemente de outros autores citados anteriormente, Mallmann (2017) não fez seus testes em campo, mas todos em laboratório. Os pavimentos foram executados dentro de uma caixa metálica totalmente impermeabilizada com tamanho de 87x107cm e 50cm de altura, suportada por barras metálicas com rodas articuladas, dando a possibilidade de movimentação do modelo experimental, como mostra a Figura 22. Além disso a “caixa portátil” conta com uma calha coletora, que é responsável por direcionar o escoamento superficial até um reservatório, enquanto

saídas inferiores são responsáveis por direcionar a água infiltrada para outro reservatório.

Figura 22 – Modelo para execução dos pavimentos de Mallmann (2017).



Fonte: Mallmann (2017)

A intensidade da chuva foi escolhida através do trabalho de Sampaio (2011), que utiliza a equação IDF para obter valores para chuvas intensas. Utilizando o tempo de retorno como 50 anos e uma chuva de 20 minutos de duração o autor concluiu que precisava distribuir, uniformemente, na sua área experimental um total de 42 litros de chuva durante 20 minutos.

O simulador de chuvas teve como base um modelo dimensionado por Silva (2006) e foi construído pelo próprio autor, com a finalidade de servir para os modelos experimentais dos dois pavimentos permeáveis, projetando a água na área de $0,93\text{m}^2$ à uma altura de 1 metro. A figura 23 apresenta o simulador criado.

Figura 23 – Simulador de chuvas de Mallmann (2017).



Fonte: Mallmann (2017)

A execução dos pavimentos foi realizada de maneira que a parte inferior foi preenchida com 10 cm de brita 1, para concreto poroso. No caso dos blocos de concreto, eles precisaram, também, de uma camada de 2 cm de pedrisco para o assentamento, além disso, teve que ser feito o rejunte dos blocos. Apesar de serem somente dois pavimentos, o autor realizou 4 testes consecutivos em 3 superfícies diferentes, no pavimento com concreto poroso, no pavimento com blocos de concreto com rejunte lavado e no pavimento com blocos de concreto com rejunte não lavado.

Os coeficientes de escoamento dos blocos com rejunte sem lavagem são apresentados na Tabela 4, onde percebe-se que com o aumento da umidade inicial do pavimento, há um aumento do coeficiente de escoamento. Os valores para o coeficiente de escoamento médios estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 – Coeficiente de Escoamento para as superfícies de blocos de concreto com juntas alargadas com material rejunte sem lavagem de Mallmann (2017).

Simulação	Tempo (min)	Coeficiente de Escoamento Superficial
1	20	0,00377
2	20	0,01460
3	20	0,02622
4	20	0,04517

Fonte: adaptado de Mallmann (2017)

Tabela 5 – Coeficiente de Escoamento para as superfícies de Mallmann (2017).

Concreto Poroso	
Pavimento	Coeficiente de Escoamento Médio
Blocos de concreto com rejunte sem lavagem	0,2244
Blocos de concreto com rejunte com lavagem	0
Concreto permeável	0

Fonte: adaptado de Mallmann (2017)

4 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa deste trabalho envolveu, fundamentalmente, a comparação entre referências bibliográficas de modelos experimentais para pavimentos permeáveis utilizando análise bibliométrica e revisão sistemática.

A estratégia utilizada para selecionar as referências bibliográficas foi o método bibliométrico Proknow-C (LACERDA et al., 2012), com a pesquisa sendo realizada no dia 10 de dezembro de 2021 através de bases de dados *Web of Science*, buscando, principalmente, referências internacionais.

A princípio a busca foi feita por “tópico”, realizada com a palavra chave "permeab* pavement*", encontrando 820 artigos no total. Não foram retirados artigos duplicados, já que só foi utilizado uma base de dados. Em seguida, foi adicionado outra palavra chave para ser combinada com a que já estava sendo utilizada, “Experiment*”, resultando em 161 artigos. Após isso, foram realizados alguns testes buscando artigos nacionais, que demonstraram serem pouco expressivos. Por fim, foram utilizados diversos filtros de tempo, para que pudesse ser verificado a crescente demanda em pesquisas na área. Os resultados encontrados pelas diversas buscas podem ser visualizados pelo Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo do N° de artigos encontrados para as buscas feitas.

Tema			
Modelos Experimentais para Pesquisa em Pavimento Permeável			
Data	Busca	Filtro	N° artigos
10/12/2021	"permeab* pavement*"	-	820
		AND (Experiment*)	161
		AND (Brazil*)	15
		Linguagem: Portugues	2
		AND (Experiment*) AND (Brazil*)	2
		AND (Experiment*) Linguagem: Portugues	1
		AND (Experiment*) Tempo: 2000-2021	158
		AND (Experiment*) Tempo: 2010-2021	147
		AND (Experiment*) Tempo: 2015-2021	114
		AND (Experiment*) Tempo: 2019-2021	53

Fonte: Autor

Dos artigos encontrados, publicados a partir de 2010, foi realizado a validação a partir da leitura do título, excluindo aqueles que não estariam alinhados ao assunto da pesquisa, restando 115. Desses 115, é analisado através da filtragem do banco de

artigos pelo método Proknow-C que, somente 77 podem ser reconhecidos como trabalhos válidos, de acordo com a sua relevância em número de citações e ano de publicação dentro da amostra. A partir da releitura do título e da leitura do resumo dos artigos restantes, são eliminados aqueles que não estão alinhados com o tema do trabalho, sobrando apenas 20. Por fim, deve ser verificado se os trabalhos restantes estão disponíveis na íntegra para acesso e leitura, sendo assim, sobram apenas 19. O quadro 4 apresenta um resumo das informações dos artigos selecionados.

Quadro 4 – Resumo das informações dos artigos selecionados.

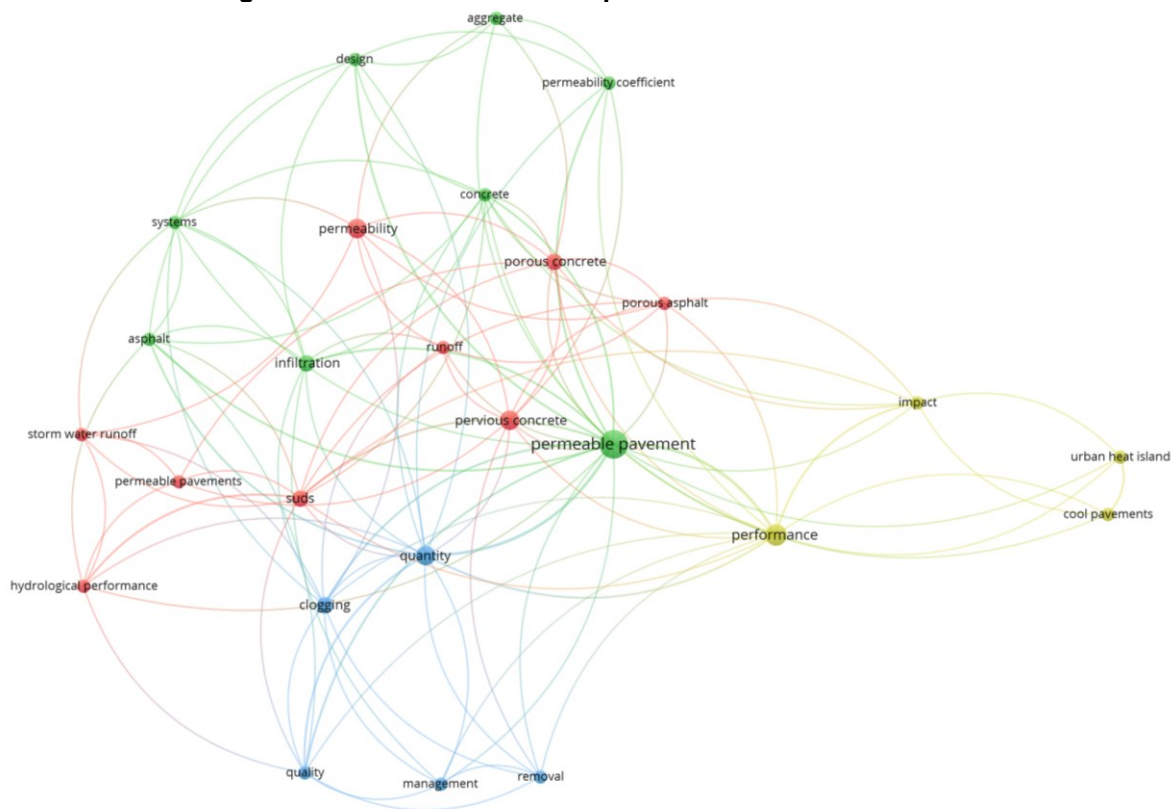
Autores	Título	Ano de Publicação	País de Publicação	Citações
LIAN, C; ZHUGE, Y	Projeto de mistura ideal de concreto permeável aprimorado - Uma investigação experimental	2010	Inglaterra	141
LI, H; KAYHANIAN, M; HARVEY, JT	Medição comparativa de permeabilidade de campo de pavimentos permeáveis usando métodos de permeabilidade ASTM C1701 e NCAT	2013	Inglaterra	76
KAMALI, M; DELKASH, M; TAJRISHY, M	Avaliação das respostas do pavimento permeável ao escoamento superficial urbano	2017	Inglaterra	65
COUGHLIN, JP; CAMPBELL, CD; MAYS, DC	Infiltração e entupimento por areia e argila em um sistema permeável de pavimento de concreto	2012	EUA	54
LIU, Y; LI, T; PENG, HY	Uma nova estrutura de pavimento permeável para atenuar a ilha de calor urbana	2018	Holanda	37
LI, JS; ZHANG, Y; LIU, GL; PENG, XH	Preparação e avaliação de desempenho de um pavimento de concreto permeável inovador	2017	Inglaterra	28
ANDRES-VALERI, VC; MARCHIONI, M; SANUDO-FONTANEDA, LA; GIUSTOZZI, F; BECCIU, G	Avaliação de laboratório da redução da capacidade de infiltração em superfícies de mistura porosa obstruída	2016	Suíça	27
CHEN, JQ; CHU, RX; WANG, H; ZHANG, LC; CHEN, XD; DU, YF	Aliviando o efeito da ilha de calor urbana usando pavimento de concreto permeável de alta condutividade	2019	Inglaterra	24
COUTINHO, AP; LASSABATERE, L; MONTENEGRO, S; ANTONINO, ACD; ANGULO-JARAMILLO, R; CABRAL, JJSP	Caracterização hidráulica e comportamento hidrológico de um pavimento permeável piloto em um centro urbano, Brasil	2016	EUA	19
CUI, XZ; ZHANG, J; HUANG, D; TANG, WZ; WANG, L; HOU, F	Simulação experimental do rápido processo de entupimento de pavimento de concreto permeável causado pelo escoamento de águas pluviais	2019	Inglaterra	15
ALSUBIH, M; ARTHUR, S; WRIGHT, G; ALLEN, D	Estudo experimental do desempenho hidrológico de um pavimento permeável	2017	Inglaterra	15
HOU, JM; ZHANG, YW; TONG, Y; GUO, KH; QI, WC; HINKELMANN, R	Estudo experimental para efeitos das características do terreno e intensidade da chuva na taxa de infiltração do pavimento permeável modelado	2019	Inglaterra	10

YUAN, JY; CHEN, XD; LIU, SS; LI, ST; SHEN, N	Efeito da carga de água, gradação do agente de obstrução e velocidade do fluxo horizontal nas características de obstrução do concreto permeável	2018	EUA	5
ELIZONDO-MARTINEZ, EJ; TATARANNI, P; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J; CASTRO-FRESNO, D	Caracterização Física e Mecânica de Concreto Poroso Sustentável e Inovador para Pavimentos Urbanos Contendo Metacaulim	2020	Suíça	5
LIU, W; FENG, Q; CHEN, WP; DEO, RC	Escoamento de águas pluviais e desempenho de retenção de poluição de pavimentos permeáveis e os efeitos de fatores estruturais	2020	Alemanha	3
YU, ZJ; GAN, HH; XIAO, M; HUANG, B; ZHU, DZ; ZHANG, ZY; WANG, HY; LIN, YL; HOU, YL; PENG, S; ZHANG, W	Desempenho de sistemas de pavimento permeável na permeabilidade de águas pluviais e remoção de poluentes	2021	Alemanha	2
IOANNIDOU, VG; ARTHUR, S	Resultados experimentais do desempenho hidrológico de uma plataforma de laboratório de pavimento permeável	2020	Inglaterra	1
XIE, C; YUAN, LJ; TAN, H; ZHANG, YZ; ZHAO, M; JIA, YH	Estudo experimental sobre o desempenho de purificação de água de concreto permeável modificado com biochar	2021	Inglaterra	1
HAZAIRIN; DESMALIANA, E; HERBUDIMAN, B; SAPUTRA, WY	Propriedades mecânicas do concreto poroso com variações da gradação do agregado graúdo	2019	França	0

Fonte: Autor

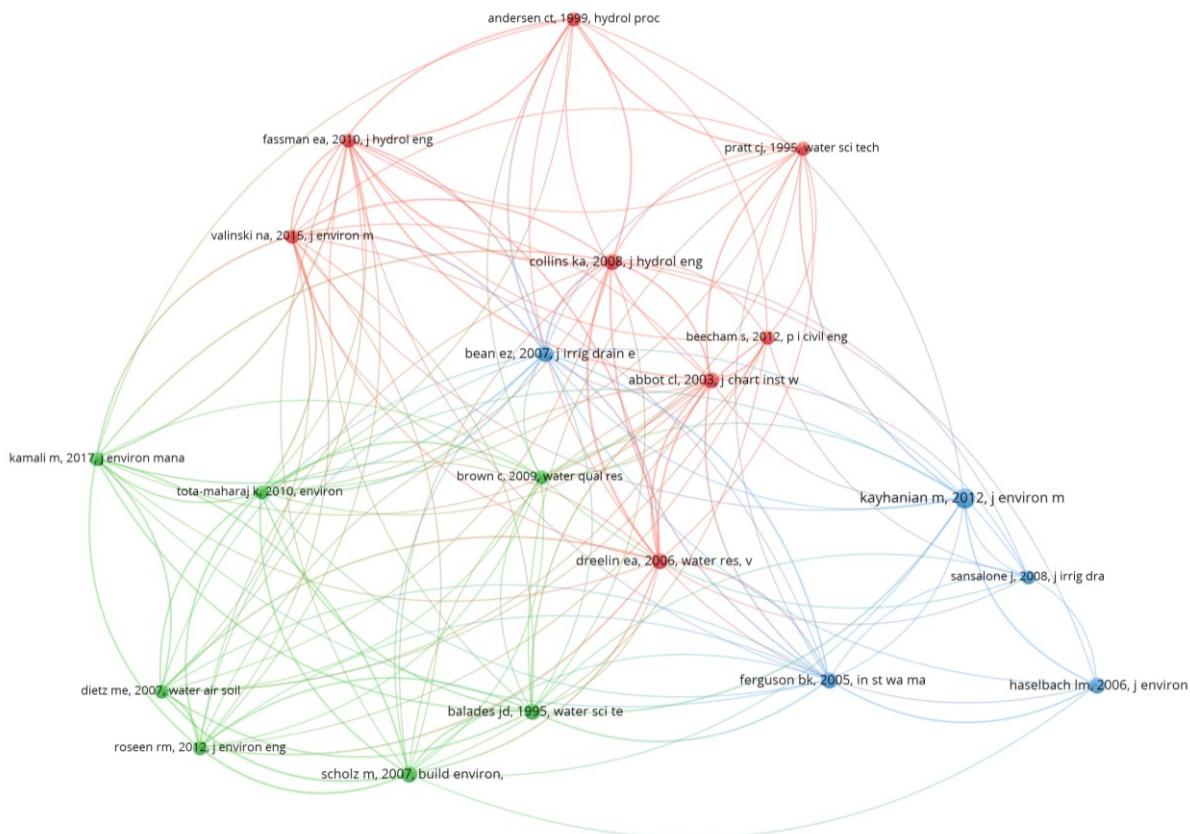
A partir da utilização do Software VOSviewer é possível realizar uma análise bibliométrica descritiva apresentado pelo Quadro 4, além de auxiliar na análise de co-ocorrências de palavras chave, de citações de autores e de coautoria, apresentados pelas Imagens 24, 25 e 26, respectivamente.

Figura 24 – Co ocorrências de palavras chave - VOSviewer.



Fonte: Autor

Figura 25 – Cocitações de autores - VOSviewer.



Fonte: Autor

Figura 26 – Coautoria de autores - VOSviewer.



Fonte: Autor

A revisão sistemática da literatura deu-se por meio da análise de conteúdo, através da listagem de categorias iniciais com base nos temas do referencial teórico e nos temas emergentes da leitura inicial dos textos (CARVALHO et al., 2016). Essa revisão foi realizada através de anotações em planilha eletrônica, buscando comparações entre os 10 trabalhos mais relevantes, de acordo com seu número de citações, na amostra realizada.

5 RESULTADOS

5.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

A partir da metodologia estabelecida, foi possível a criação de uma planilha de revisão sistemática por categorias. A planilha foi dividida em quadros menores filtrados por categorias para comparação entre os trabalhos. O quadro 5 apresenta os objetivos.

Com os dados obtidos pelo quadro 5, foi observado a tendência de inovações na área de pavimentos permeáveis, como o estudo em pavimentos permeáveis de alta resistência (LI et al., 2017) que pode possibilitar a utilização desse tipo de pavimento em vias com grande fluxo de veículos, ou a utilização de pavimentos permeáveis para impactar positivamente nas ilhas de calor (CHEN et al., 2019), problema grave dos grandes polos urbanos. Também foi destaque a busca pela criação de novos materiais que possam ser usados para melhorar resistência, permeabilidade, vida útil e a remoção de poluentes proveniente de águas pluviais (LIAN, 2010).

Por outro lado, percebeu-se que os testes em modelos experimentais são maioria, justamente pela utilização de “experiment*” como uma das palavras de busca na metodologia.

Quadro 5 – Revisão Sistemática – Objetivos

Autores	Objetivos	Tipos de Pesquisa
LIAN, 2010	Desenvolver um novo material para concreto permeável	Testes em corpos de prova feitos dos materiais - Mecânicos e Hidráulicos
LI et al, 2013	Medir a permeabilidade de seções de teste de asfalto poroso, concreto permeável e pavimentação de concreto intertravado permeável usando os 2 métodos	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos
KAMALI et al, 2017	Avaliar o desempenho de um pavimento permeável utilizado em calçadas, durante um escoamento com cargas de sedimentos.	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos, Durabilidade e Poluentes
COUGHLIN et al, 2012	Relatar o entupimento por areia e argila em um sistema de pavimento de concreto permeável saturado e o efeito da limpeza da superfície por lavagem a pressão.	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos e Durabilidade
LIU et al, 2018	Utilizar colunas capilares em concreto permeável e comparar sua eficiência em mitigar ilhas de calor, se comparado com o concreto permeável convencional.	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos e Termodinâmicos
LI et al, 2017	Superar os obstáculos do concreto permeável tradicional, através do projeto de um pavimento de concreto permeável de alta resistência.	Testes em corpos de prova feitos do material - Mecânicos, Hidráulicos e Durabilidade. Projeto de pavimento permeável inovador para uso do material
ANDRES-VALERI et al, 2016	Avaliar a influência do nível de entupimento e da intensidade da chuva na capacidade de infiltração de superfícies de mistura porosa utilizadas em Sistemas de Pavimento Permeável	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos e Durabilidade
CHEN et al, 2019	Desenvolver concreto permeável de alta condutividade e investigar seu potencial em aliviar o efeito das ilhas de calor em condições secas e úmidas.	Testes em corpos de prova feitos do material - Termodinâmica
COUTINHO et al, 2016	Caracterização hidráulica de um pavimento permeável e a avaliação de sua eficiência hidrológica do ponto de vista do processo de infiltração.	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos
ALSUBIH et al, 2017	Investigar a influência da intensidade da chuva na resposta hidrológica de pavimentos permeáveis.	Testes em modelos experimentais de pavimentos permeáveis - Hidráulicos

Fonte: Autor

O quadro 6 apresenta os materiais dos trabalhos avaliados. Sendo assim, foi visualizado a predominância de estudos utilizando concreto como material principal para a superfície dos modelos experimentais.

Além disso, a variedade de modelos experimentais também foi destaque, tendo alguns com testes laboratoriais, como ALSUBIH et al (2017) e LIU et al (2018), e outros com execução em campo, como KAMALI et al (2017) e COUTINHO et al,

2016. Também se diferenciaram por terem tamanhos de execução totalmente diferentes e pela utilização de diferentes tipos de materiais alternativos ou aditivos, buscando melhores resultados.

O sistema de construção também teve características distintas, com alguns utilizando sistema completo de infiltração total, enquanto outros faziam testes somente com o material superficial, ou com uma estrutura incompleta de modelo experimental.

Quadro 6 – Revisão Sistemática – Materiais

Autores	Materiais
LIAN, 2010	Concreto Permeável - teste de 3 materiais como agregado graúdo: Quartzito, Dolomita e Calcário, variando suas granulometrias
LI et al, 2013	Teste em 3 materiais de revestimento de pavimentos permeáveis: Paver de concreto intertravado, concreto permeável e concreto de asfalto graduado aberto, com diferentes alturas nas camadas das seções e com diferenças de materiais de uma superfície para a outra
KAMALI et al, 2017	Construída uma seção de teste com 2 m ² e 2% de declividade, com sistema de infiltração total e superfície de blocos de concreto.
COUGHLIN et al, 2012	Realização de quatro modelos experimentais com concretos porosos com diferenças em suas porosidades. Utilização de caixas de policarbonato para sustentação de todas as camadas do modelo experimental de infiltração total com superfície de concreto poroso.
LIU et al, 2018	Foi utilizado concreto comum para os modelos experimentais sem colunas capilares e a utilização de figulina para simular a superfície de pavimento permeável com colunas capilares embutidas no agregado, além de ter todos os matérias hidrofílicos.
LI et al, 2017	Para a execução do concreto permeável foi utilizado cimento Portland comum com 52,5 MPa de grau de resistência, além de aplicar Sílica ativa, cinza volante, um agente de expansão tipo U e superplastificante. Também foram utilizados areia de rio e outros aditivos para favorecer as propriedades mecânicas.
ANDRES-VALERI et al, 2016	Modelos experimentais de lajes de misturas porosas de pavimentos de concreto (PC) e pavimentos asfálticos (PA). Nas lajes de PC foi usado a mistura de 80% de calcário e 20% de agregado basáltico e com a utilização de cimento Portland 2 com proporção 0,27 de água/cimento. Já nas lajes de PA foi usado agregados de calcário grosso e 5% de areia fina por peso de agregados, além de uma dosagem de 4% em peso de uma mistura de betume modificado.
CHEN et al, 2019	Foram utilizados 4 tipos de concreto, incluindo concreto de cimento Portland convencional (PCC), concreto permeável de cimento Portland (PCPC), poroso de alta condutividade concreto de cimento com 1,0% de fibra de aço (por volume) (SFPC1.0) e concreto de cimento poroso de alta condutividade com 1,5% de fibra de aço (por volume) (SFPC1.5). Com cimento Portland tipo 2.
COUTINHO et al, 2016	Utilização de pavimento permeável de blocos de concreto vazados, preenchidos por solo gramado. O pavimento tem dimensões 3x1,5 m, com 9cm de profundidade para os blocos, assentados com areia.
ALSUBIH et al, 2017	Construção de um modelo de pavimento permeável de 1x1m sobre uma plataforma de pavimentação de 1x1x1,6 m, com lado feito para permitir visualização dentro da plataforma. Foi Utilizado blocos de concreto Piora para a superfície e modelo de infiltração total.

Fonte: Autor

As metodologias são apresentadas pelo quadro 7, e se diferenciaram, principalmente, pelas diferenças em seus objetivos principais. Nos trabalhos com foco em testes de materiais, são utilizadas metodologias de verificações para corpos de prova dos materiais, realizando ensaios de permeabilidade, resistência, porosidade, temperatura e taxa de evaporação.

Já nos modelos experimentais, em sua maioria, foram utilizados diversos simuladores de chuvas para os testes, enquanto em alguns poucos foram utilizadas chuvas reais. Os simuladores variavam sua função de acordo com o objetivo do autor, sendo alguns responsáveis por simular somente chuvas e outros por simular colmatação nos pavimentos.

Quadro 7 – Revisão Sistemática – Metodologias

Autores	Metodologias
LIAN, 2010	Foi utilizado um equipamento de teste de permeabilidade para verificar a permeabilidade dos corpos de prova ensaiados. Foi utilizado um equipamento de teste de resistência à compressão uniaxial para verificar a resistência dos corpos de prova. Para os testes de resistência mecânica foram rompidos os corpos de prova com 7 e 28 dias. Também foram utilizados testes com aditivos.
LI et al, 2013	Foram utilizados dois métodos de teste: ASTM e NCAT para medir a permeabilidade de 6 seções de teste. Foram realizadas medidas em 5 locais diferentes em cada modelo.
KAMALI et al, 2017	Foi utilizado simulador de chuva e de sedimentos para a precipitação sobre a área estudada. Foram realizados 3 conjuntos experimentais na superfície estudada, o primeiro foi implementado para cálculo de características hidráulicas, o segundo para avaliar o entupimento por sedimentos e o terceiro para avaliar o desempenho na remoção de poluentes.
COUGHLIN et al, 2012	Para os quatro modelos diferentes foram realizados oito ensaios, incluindo uma sem materiais de entupimento, três com quantidades crescentes de areia, três com quantidades crescentes de argila e uma após a lavagem de pressão. Antes de cada ensaio, o aparelho era saturado com água.
LIU et al, 2018	Foram realizadas modelos experimentais em escala de bancada (0,2x0,2x0,4m) com 4 unidades de pavimentos permeáveis comuns e 4 para pavimentos permeáveis com coluna capilar. Então os modelos foram submetidos a simulações de chuva. As temperaturas de superfície das unidades foram medidas por termômetro infravermelho com intervalo de uma hora durante o dia.
LI et al, 2017	Foram realizados testes relacionados à pasta de cimento e argamassa, como tempo de pega inicial / final, resistência à compressão e resistência à flexão. O ensaio de resistência à compressão do concreto permeável foi realizado com o tamanho da amostra como 100 mm × 100 mm × 100 mm. O tamanho da amostra do teste de resistência à flexão foi de 40 mm × 40 mm × 160 mm. Por fim, o ensaio de permeabilidade à água foi realizado pelo método de ensaio hidráulico constante. O modelo experimental apresentado não se encaixa nos padrões de pavimentos permeáveis, pelo fato da camada de concreto ter baixa porosidade e os poros do pavimento serem realizados de maneira manual na superfície do concreto.
ANDRES-VALERI et al, 2016	Simulador de chuva acoplado na estrutura de suporte do pavimento realizou as simulações em 3 cenários: recém construída, entupido com 500 e 1000g/m ² de sedimento. Além de simulação de chuva de duração de 15 minutos com 50, 100 e 150 mm/h de intensidade de chuvas.
CHEN et al, 2019	Foram realizados, para cada material, 3 corpos de prova cúbicos e 1 corpo de prova de laje. Os corpos de prova são utilizados para medir porosidade, condutividade térmica e taxa de evaporação, já as lajes são para medir a variação de temperatura superficial. Com a finalidade de simular o comportamento dos materiais em condições climáticas reais, foram realizados experimentos ao ar livre, em situações secas e úmidas
COUTINHO et al, 2016	Os experimentos de infiltração foram realizados a partir do método de Beerkan, com volumes fixos de água sendo despejados gentilmente sobre o anel de testes. Para a simulação, foi considerado que os blocos de concreto não tinham capacidade de infiltração, direcionando o escoamento para as camadas de solo presentes nos vãos do bloco, sendo assim, a partir de diversas caracterizações experimentais do solo, é possível modelar o comportamento de infiltração do pavimento, seguindo a realidade pluvial da região estudada
ALSUBIH et al, 2017	Foram realizadas simulações de chuvas com ajuda de simulador envolvendo 3 chuvas com diferentes intensidades e durações. Cada chuva se repetiu ao longo de 3 semanas.

Fonte: Autor

Os resultados para os artigos que apresentaram testes mecânicos estão apresentados no quadro 8.

Comparando os resultados dos dois trabalhos que tiveram resultados mecânicos, foi possível perceber a grande diferença entre os testes para concreto poroso comum e concreto de alto desempenho, já que, para a melhor situação testada em ambos os casos, o concreto de alto desempenho teve um ganho de 75% sobre a resistência à compressão do pavimento comum.

Para as características mecânicas dos pavimentos, foi verificado por LIAN (2010) e Li et al. (2017) que a variação na porosidade do material da superfície afeta drasticamente a resistência dos pavimentos.

Quadro 8 – Revisão Sistemática – Resultados - Mecânicos

Autores	Resultados - Mecânicos
LIAN, 2010	Resistência à compressão a 28 dias média: Quartzito=13MPa, Dolomite=16,5MPa e Calcário=15Mpa. Com a utilização de agregados finos e aditivos na composição, uma relação água/cimento de 0,32 produz uma resistência de 40 MPa em 28 dias.
LI et al, 2017	A proporção de mistura ideal de RPC foi determinada para garantir o desempenho de HSPC com base nela. Os resultados mostram que o produto otimizado possui mais de 70 MPa de resistência à compressão e cerca de 10 MPa de resistência à flexão.

Fonte: Autor

Os resultados para os testes hidráulicos dos trabalhos estão apresentados no quadro 9.

Para as propriedades de infiltração, todos os autores avaliados verificaram que os pavimentos permeáveis possuem alta capacidade de infiltração quando não possuíam patologias. Ao mesmo tempo, foi verificado por Alsubih et al. (2017) que o aumento na umidade inicial do pavimento pode acarretar em um aumento de 42% na vazão, apesar disso os valores de quantidade de água drenada em seus experimentos mantiveram acima dos 60%.

Apesar da solução de pavimento permeável fora do comum apresentado por LI et al (2017), o modelo apresentou estar dentro da média de infiltração dos pavimentos permeáveis, mesmo tendo uma porosidade tão baixa, sendo assim, podendo se tornar viável para futuras execuções.

Nas simulações com maiores intensidades de chuvas foi verificado um aumento significativo no escoamento, pelos autores.

Quadro 9 – Revisão Sistemática – Resultados - Hidráulicos

Autores	Resultados - Hidráulicos
LIAN, 2010	Permeabilidade média: Quartzito=19mm/s, Dolomite=13mm/s e Calcário=15mm/s
LI et al, 2013	Permeabilidade média ASTM: Blocos=4,8mm/s, Asfalto=0,7mm/s e Concreto=2,0mm/s
KAMALI et al, 2017	Não foi observado transbordamento de escoamento durante os primeiros cinco anos hidrológicos com coeficiente de escoamento zero. O coeficiente de escoamento no sexto ano aumentou para 15%. Durante o sétimo período, o coeficiente de escoamento aumentou de 15% para 35%. Durante todos esses anos, sedimentos grossos preencheram as lacunas entre os blocos do pavimento, o que aumentou o coeficiente de escoamento.
COUGHLIN et al, 2012	As permeabilidades variaram diretamente com a porosidade. Para as permeabilidades iniciais, elas variaram de 5 mm/s até 33mm/s. Já para as finais, ficaram entre 3mm/s até 22mm/s, verificando a influência do depósito de sedimentos sobre os pavimentos.
LIU et al, 2018	As colunas de figulina têm boas capacidades capilares, que podem elevar a água a uma altura de 30 cm em 5 h. A capacidade de absorção de água da coluna foi de 0,14 g / cm ³ em média.
LI et al, 2017	A permeabilidade do HSPC varia entre 13,02 e 21,84 mm/s, sendo assim, menos permeável que o pavimento permeável tradicional, justamente pela porosidade menor e maior resistência, entretanto, os valores da permeabilidade continuam favoráveis para sua utilização como pavimento.
ANDRES-VALERI et al, 2016	A capacidade de infiltração é normalmente maior em misturas de PC do que em misturas de PA para os cenários testados. As misturas de PC testadas tiveram melhor desempenho em termos de capacidade de infiltração do que as de PA para todos os conteúdos de vazios de ar e cenários de entupimento.
COUTINHO et al, 2016	Infiltração global no pavimento de 92,7%, Escoamento global de 7,3%.
ALSUBIH et al, 2017	Quantidade de água drenada pelo pavimento variou entre 77,8% e 59,94%. Foi registrado um aumento de até 42% na vazão quando a umidade da condição inicial de pavimentação aumentou.

Fonte: Autor

Os resultados para os testes termodinâmicos estão apresentados no quadro 10.

A utilização de pavimentos permeáveis como método de mitigação para o efeito de ilhas de calor foi indicada por CHEN et al. (2019) e LIU et al. (2018), onde foi verificado a capacidade de gerar menos calor com a utilização de pavimentos permeáveis frente pavimentos comuns, além disso os autores verificaram que a utilização de pavimentos permeáveis com uma capacidade maior de absorção de água, e conseqüentemente uma melhor evaporação, ganharam destaque no efeito de resfriamento frente a pavimentos permeáveis convencionais.

Quadro 10 – Revisão Sistemática – Resultados - Termodinâmicos

Autores	Resultados - Termodinâmicos
LIU et al, 2018	O pavimento permeável que melhora a evaporação pode contribuir substancialmente para a mitigação de UHI e foi no máximo 9,4 ° C mais frio do que o pavimento permeável convencional. O efeito de resfriamento da pavimentadora de figulina foi maior do que a da pavimentadora de concreto fino devido à maior capacidade de absorção de água.
CHEN et al, 2019	A melhora na evaporação por parte do pavimento permeável faz com que ele tenha uma diferença de temperatura máxima de mais de 10°C em comparação com o pavimento comum nos dias de chuvas, devido à sua retenção de água. Já para os dias mais secos, o pavimento comum se destacou durante o dia, tendo uma diferença de quase 5°C para os pavimentos permeáveis, por outro lado, à noite os pavimentos permeáveis tem mais facilidade em abaixar sua temperatura mais rapidamente.

Fonte: Autor

Os resultados para os testes dos pavimentos como filtro de poluentes estão apresentados no quadro 11.

Já que Kamali et al. (2017) foi o único autor da amostra que fez esse tipo de teste, ele apresentou que o pavimento de blocos de concreto avaliado tem boa eficiência em reter sedimentos, mediana eficiência na remoção de N-NH₄⁺ e PO₄-3, e nenhuma capacidade de remoção de N-NO₃⁻.

Quadro 11 – Revisão Sistemática – Resultados - Poluentes

Autores	Resultados - Poluentes
KAMALI et al, 2017	Os PPs podem remover completamente o TSS; no entanto, as eficiências de remoção média foram medidas para N-NH ₄ ⁺ e PO ₄ -3, enquanto a eficiência de remoção para N-NO ₃ ⁻ foi negativo.

Fonte: Autor

Os resultados para os testes de durabilidade dos trabalhos estão apresentados no quadro 9.

Uma das áreas bastante estudadas foi a durabilidade do pavimento permeável, aliado ao efeito de entupimento ou colmatação da superfície, podendo anular a capacidade de infiltração do pavimento ao longo do tempo. Sobre isso, Andres-Valeri et al. (2016) verificou que, dependendo da intensidade da chuva e da concentração de sedimentos, a capacidade de infiltração pode cair pela metade para pavimentos com base em concreto e asfalto, além de ter apresentado que o aumento na intensidade da chuva afeta a capacidade de infiltração nas superfícies obstruídas. Já Kamali et al. (2017) afirmou que o desempenho dos pavimentos permeáveis depende muito das condições locais e das cargas de sedimentação, além de mostrar que a colmatação ocorre de maneira gradativa ao longo dos anos nos pavimentos de

blocos de concreto, sendo assim, a manutenção periódica pode resolver ou retardar o efeito dessa patologia nesses pavimentos.

Quadro 12 – Revisão Sistemática – Resultados - Durabilidade

Autores	Resultados - Durabilidade
KAMALI et al, 2017	Os resultados experimentais com cargas de sedimento aplicadas mostraram que a ruptura do PP ocorreu no sétimo ano hidrológico.
COUGHLIN et al, 2012	A lavagem por pressão não restaura a infiltração em sistemas de pavimento de concreto permeáveis quando o subleito é o elemento limitador da exfiltração.
LI et al, 2017	É proposta uma combinação criativa de sistema de pavimento de concreto pré-moldado (PCPS) e concreto permeável de alta resistência (HSPC) inovador. A combinação eficiente de PCPS e HSPC fornece ampla aplicação e fácil manutenção, bem como uma limpeza viável de entupimentos. Assim, amplia ainda mais a possibilidade de aplicação de HSPC.
ANDRES-VALERI et al, 2016	Reduções na capacidade de infiltração de 63% a 93% foram encontradas para as misturas de PA e de 57% a 93% para as misturas de PC

Fonte: Autor

Portanto, as considerações finais dos autores podem ser vistas pelo quadro 13.

Quadro 13 – Revisão Sistemática – Conclusões

Autores	Conclusões
LIAN, 2010	A Dolomita foi o agregado que mais se destacou, com mais resistência à compressão e à abrasão. O uso de sílica ativa não se demonstrou eficaz. O uso de areia de pedra aumenta a resistência à compressão. O concreto com Quartzito teve uma melhor permeabilidade entre os materiais, porém a contaminação e as purezas observadas fizeram com que o material não fosse o escolhido para a formação do concreto poroso. A mudança no teor de água do concreto foi um fator primordial para a resistência à compressão, sendo que com o aumento da relação água/concreto, ocorre uma baixa na resistência, por outro lado, acaba aumentando o tempo de serviço do material, podendo ser utilizados em casos onde o entupimento dos poros é considerado crítico. Com a utilização de agregados finos e aditivos na composição, uma relação água/cimento de 0,32 produz uma resistência de 40 MPa em 28 dias.
LI et al, 2013	Foi validado que ambos os métodos de cálculo (ASTM e NCAT) podem ser utilizados com eficácia para medir permeabilidade de todos os tipos de superfícies. A permeabilidade medida com o método ASTM C1701 foi mais conservadora para todos os tipos de superfície e geralmente os valores de medição foram 50–90% mais baixos do que o valor medido com o método NCAT.
KAMALI et al, 2017	O desempenho do PP depende muito das condições locais, incluindo distribuição de tamanho de partícula, cargas de sedimentos e a forma de importação de sedimentos para o PP. Isso significa que cada região deve ter experimentos específicos para avaliar o desempenho do PP em vez de comparar os resultados de diferentes PP em diferentes condições.

COUGHLIN et al, 2012	<p>Mesmo quando obstruído com areia e argila, a maior parte da perda de carga ocorreu no subleito substituto, e não no concreto permeável. Assim, a exfiltração do subleito é o elemento limitador do fluxo.</p> <p>O concreto permeável seria eficaz para a retenção de águas pluviais, quando fornecido com um sistema de drenagem projetado, mas seu desempenho para infiltração de águas pluviais será limitado pelas características de exfiltração do subleito. Tanto a areia quanto a argila (montmorilonita) causam entupimento, com a argila causando aproximadamente dez vezes mais entupimento do que a areia por massa.</p>
LIU et al, 2018	<p>A evaporação e a perda de calor latente de pavimentos permeáveis que aumentam a evaporação podem persistir por mais de sete dias durante o experimento, mas apenas durante os primeiros dois dias para o pavimento permeável convencional.</p>
LI et al, 2017	<p>A caracterização do desempenho indica força satisfatória e permeabilidade desejável em HSPC. Os coeficientes de permeabilidade variaram de 13,02 mm / s a 21,84 mm / s, com uma resistência correspondente variando de 61,37-50,79 MPa, que é obviamente superior ao nível de desempenho do concreto permeável do senso comum (resistência à compressão: 5,5-40 MPa, coeficiente de permeabilidade: 0,3 –14 mm / s .</p>
ANDRES-VALERI et al, 2016	<p>A redução da capacidade de infiltração produzida pelo entupimento superficial mostrou-se crítica em misturas porosas utilizadas em infraestruturas de pavimentação, mesmo com baixas cargas de sedimentos. Apesar de a capacidade de infiltração ter sido drasticamente reduzida devido ao entupimento produzido pelos sedimentos, o escoamento observado foi inferior a 2,5% em todos os cenários com todas as intensidades de chuva testadas. Foi demonstrado que a intensidade da chuva afeta significativamente a capacidade de infiltração de superfícies permeáveis obstruídas.</p>
CHEN et al, 2019	<p>As medições internas mostraram que em condições secas, as lajes de concreto permeável têm a temperatura de superfície mais elevada do que a laje de concreto convencional. Em condições úmidas, as lajes de concreto permeável resfriaram mais rápido do que a laje de concreto convencional e apresentaram temperatura de superfície semelhante ou inferior do que a laje de concreto convencional. Isso ocorre principalmente porque os poros podem reter alguma umidade e o calor é absorvido pela evaporação da água.</p> <p>Os resultados da simulação do ambiente externo mostram que o pavimento de concreto permeável causou uma saída de calor ligeiramente maior em dias ensolarados, mas uma saída de calor muito menor em dias chuvosos para o ambiente próximo à superfície, em comparação com o pavimento de concreto convencional. O aumento da condutividade térmica do pavimento permeável pode reduzir ainda mais a produção de calor em 2,5–5,2%.</p>
COUTINHO et al, 2016	<p>Os resultados mostram que, devido às propriedades hidráulicas do solo, a estrutura de PP deve permitir a evaporação e infiltração da água e reduzir drasticamente o escoamento de água. Claramente, os PP são ferramentas muito promissoras para a gestão da água em áreas urbanas e a mitigação do desenvolvimento de pavimentos impermeáveis no ciclo da água.</p>
ALSUBIH et al, 2017	<p>Mais de 40% do total de chuvas foram retidos dentro da estrutura do pavimento permeável. A precipitação foi descarregada do pavimento permeável 7 horas após o início do evento de chuva, confirmando a capacidade do pavimento de atenuar a água da chuva. A vazão variou em resposta às modificações na duração da chuva e nas condições do pavimento. O aumento da duração da chuva e o aumento da umidade inicial do pavimento causaram um maior escoamento da estrutura do pavimento.</p>

Fonte: Autor

Da mesma maneira, as sugestões para futuros trabalhos daqueles autores que mencionaram esse quesito é apresentado no quadro 14.

Quadro 14 – Revisão Sistemática – Sugestões

Autores	Sugestões Futuras
LIAN, 2010	Pesquisas são necessárias para investigar a relação entre a estrutura dos poros e a resistência e permeabilidade para o concreto permeável.
KAMALI et al, 2017	Pesquisas adicionais sobre as influências da intensidade da chuva, declive, distribuição de tamanho de partícula de sedimentos, dimensões de blocos de pavimentos e espaço entre blocos na condutividade hidráulica, bem como na vida útil dos PPs.
LI et al, 2017	Investigar, em estudos futuros a aplicabilidade do PCPS junto ao HSPC
ANDRES-VALERI et al, 2016	Avaliar a influência dos parâmetros estudados na presente pesquisa, modificando a duração da chuva e as condições geométricas do pavimento, como a inclinação do pavimento. Estudo mais detalhados da relação entre as propriedades volumétricas da estrutura de poros das misturas porosas e a capacidade de infiltração é necessário para um entendimento mais preciso e previsão da dinâmica de entupimento desses materiais.
CHEN et al, 2019	Futuros trabalhos serão realizados para estudar o desempenho mecânico e hidráulico do concreto permeável de alta condutividade e monitorar o desempenho em campo do pavimento de concreção permeável.
COUTINHO et al, 2016	Investigações numéricas complementares devem ser realizadas para estudar os fluxos de água em toda a estrutura.
ALSUBIH et al, 2017	Pesquisas são necessárias para considerar a funcionalidade do pavimento permeável e a capacidade de atenuação quando houver sedimentos.

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso buscou aplicar uma análise bibliométrica e revisão sistemática na literatura internacional, com o objetivo de comparar os resultados obtidos por autores de modelos experimentais para pavimentos permeáveis, buscando pontuar as características que mais influenciam nas propriedades finais dos pavimentos permeáveis. A revisão sistemática proporcionou o aprofundamento dos estudos sobre a colaboração científica quando foram tratados os parâmetros utilizados e os resultados obtidos.

Diante da revisão sistemática foi perceptível a grande quantidade de experimentos utilizando materiais alternativos, buscando criar características inovadoras para os pavimentos permeáveis, além da criação de um projeto de pavimento permeável de alta resistência pré-fabricado, que possui modelo diferente dos pavimentos comuns e teria resistência e permeabilidade suficiente para se tornar um pavimento permeável para utilização em locais de grande fluxo de veículos.

Além disso, as pesquisas também apontaram que o pavimento permeável tem capacidade para atenuar as ilhas de calor, se comparado com pavimento convencional. Por outro lado, os experimentos com sedimentos e entupimentos mostraram que a falta de manutenção nos pavimentos permeáveis pode acabar com a vida útil do pavimento.

Para trabalhos futuros é interessante fazer uso de diversas inclinações nos modelos experimentais, buscando saber a influência no coeficiente de permeabilidade, já que existe possibilidade de aplicação desse tipo de pavimento em situações mais íngremes como rampas de acesso de veículos ou pedestres. Outra sugestão seria a aplicação no Brasil dos pavimentos modificados apresentados, já que eles possuem características mais favoráveis que os pavimentos permeáveis tradicionais.

Sendo assim, a utilização de pavimentos permeáveis para substituição de superfícies impermeabilizadas de pavimento convencional se apresenta uma opção sustentável perante os diversos estudos pontuados e a problemática das ilhas de calor e da drenagem urbana brasileira e mundial.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16416**: pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- ALEGRIA, M. **Pavimento permeável: solução sustentável para a redução de enchentes**. Disponível em: <http://http://www.revistameioambiente.com.br/2011/03/17/pavimento-permeavel-solucao-sustentavel-para-a-reducao-de-enchentes/>. 2011. Acesso em 12/2021.
- ALENCAR, A. C. M. F. **Avaliação de piso drenante com a utilização de agregados reciclados**. 2013. 64 f. Dissertação (TCC) – Dissertação de Diplomação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.
- ANDRÉS-VALERI, V. C.; MARCHIONI, M.; SANUDO-FONTANEDA, L. A.; GIUTOZZI, F.; BACCIU, G. Laboratory assessment of the infiltration capacity reduction in clogged porous mixture surfaces. Sustainability. MDPI, 2016. DOI:10.3390/su8080751.
- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre (RS), v. 5, n. 3, p. 21-29, set. 2000.
- ASSELINE, J., VALENTIN. C. **Construction et mise au point d'un infiltròmetre à aspersion**. ORSTOM, série Hydrology, Paris, 1978, Vol. 15, n. 4, p 327-47.
- AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKAIH, E.; **Technique alternatives em assainissement pluvial**. 1996. Technique et Documentation – Lavosier, Paris, 372 p, 1996.
- BENJAMIN, C., BOOTH, K., ELLIS, I. A prospective comparison study of diferente methods of gathering self-reported family history information for breast câncer risk assessment. **Journal of genetic counseling**, v. 12, n. 2, 2003.
- CARVALHO, G. D. G., VOSGERAL. D. S. R., CARVALHO, H. G., CANDIDO, R., CAVALCANTE, M. B. Competências dos agentes locais de inovação: Análise de conteúdo utilizando Atlas TI. **Revista Espacios**, 2016, Vol. 37, n. 18, p 7.
- CHEN, J.; CHU, R. WANG, H.; ZANG, L.; CHEN, X.; DU, Y. Alleviating urban heat island. Effect using high-conductivity. Journal of Cleaner Production. Elsevier, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.117722.
- COUGHLIN, J. P.; CAMPBELL, C. D.; MAYS, D. C. Infiltration and clogging by sand and clay in a pervious concrete pavement system. Journal of Hydrologic Engineering, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000424.
- COUTINHO, A. P.; LASSABATERE, L.; MONTENEGRO, S.; ANTONIO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; CABRAL, J. J. S. P Hydraulic characterization and

hydrological behaviour of a pilot permeable pavement in an urban centre, Brazil. **Hydrological Processes**, 2016.

CUI, X. Z.; ZHANG, J.; HUANG, D.; TANG, W. Z.; WANG, L.; HOU, F. Experimental simulation of rapid clogging process of pervious concrete pavement caused by storm water runoff. *International Journal Of Pavement Engineering*, 2019. DOI: **10.1080/10298436.2016.1246889**

EPA. **Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement**. Whashington, D.C: Office of Water, 1999.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. **Oficina de Textos**. São Paulo, 2008.

GOLDENFUM, J. A. **Análise quali-quantitativa de tecnologias sustentáveis para gerenciamento das águas pluviais urbanas**. 2013. 23 f. Projeto de Pesquisa para Renovação de Bolsa de Produtividade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

HÖLTZ, F.C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros-2017**. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/496bb4fbf305cca806aaa167aa4f6dc8.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

KAMALI, M.; DELKASH, M. TARJRISH, M. Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Environmental Management*. Elsevier, 2016. DOI: **10.1016/j.jenvman.2016.11.027**.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão e Produção*. 2012. DOI: **10.1590/S0104-530X2012000100005**

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

LI, H.; KAYHANIAN, M.; HARVEY, J. T. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. *Journal of environmental management*. 2013. DOI: **10.1016/j.jenvman.2013.01.016**.

LI, J.; ZHANG, Y.; LIU, G.; PENG, X. Preparation and performance evaluation of na innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*. Elsevier, 2017. DOI: **10.1016/j.conbuildmat.2017.01.137**.

LIAN, C.; ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete: Na experimental investigation. *Construction and Building Materials*. Elsevier, 2010. DOI: **10.1016/j.conbuildmat.2010.04.057**.

LIU, Y. LI, T. PENG, H. A new structure of permeable pavement for mitigating urban heat island. *Science of the Total Environment*. Elsevier, 2018. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.04.041.

MALLMANN, M. B. **Estudo experimental do escoamento superficial de dois pavimentos permeáveis de concreto em função de chuvas extremas no Vale do Taquari/RS**. 2017. 113f. Dissertação (TCC) – Dissertação de Diplomação em Engenharia Civil, Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2017.

MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem sócio ambiental urbana: uma reflexão a partir da RCM e de Curitiba. **Desenvolvimento e meio ambiente**. Curitiba: UFPR. n. 10, p. 139-148. 2004.

MOURA, T. A. M. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

NUNES OLIVEIRA, T.; NUNES DE SOUSA BARROS, E.; RICARDO BOTELHO, P. Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 318-321, 10 mar. 2021.

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 283 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

OLASTRE, B.; SANTOS, L.D. **Concreto Permeável**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2006.

RAIMBAULT, G., ANDRIEU, H., BERTHEIER, E., JOANNIS, C., LEGRET, M. **Infiltration des eaux pluviales à travers les surfaces urbaines – Des revêtements imperméables aux structures-réservoirs**. In: Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, 2002.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e espacialização das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. 146 f. Tese (Doutorado) – Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

SANTOS, D. M. **Proposta de um sistema de simulação de chuvas para avaliação do desempenho de um pavimento permeável no controle de águas pluviais**. 2016. 83 f. Dissertação (TCC) – Dissertação de Diplomação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

SCHUELER, T. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMOs**. 1987

SCHUELER, T., KUMBLE, P. A., HERATY, M. A. **A current assessment of urban best management practices – Technique for reducing non-point source pollution in the coastal zone**. U. S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 1992.

SILVA, G. B. L. **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. 2006. 180 f. Tese (Doutorado) – Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2006.

SILVA, G. B. L.; CAMPANA, N. A. **Avaliação da Eficiência das Superfícies Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial**. In: 3º SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRICOS DO CENTRO-OESTE. Goiânia, 2004.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração de escoamento superficial**. 2002. 127f Dissertação (Mestrado) – Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

TUCCI, C. E. M., GENZ, F. 1995. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. L., BARROS, M. T. (organizadores) Drenagem Urbana. **ABRH**, Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Inundações**. 1. ed. Porto Alegre: ABHR; Rhama, 2007.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. (organizadores) Inundações Urbanas na América do Sul. **ABRH**, Porto Alegre, 2003.

URBONAS, B., STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993.

VAZ, D. A. **Caracterizações física e mecânica de pavimentos permeáveis para drenagem urbana**. 2021. 91 f. Dissertação (TCC) – Dissertação de Diplomação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2021.