



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

STÉFANO LIMA PEREIRA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Controle do Escoamento Superficial Através de Pavimentos Permeáveis**

ARIQUEMES - RO
2020

STÉFANO LIMA PEREIRA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Controle do Escoamento Superficial Através de Pavimentos Permeáveis**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Professor Orientador: Dr. Driano Rezende

Ariquemes - RO
2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Júlio Bordignon - FAEMA

P436s PEREIRA, Stéfano.

Sustentabilidade na construção civil: controle do escoamento superficial através de pavimentos permeáveis. / por Stéfano Pereira. Ariquemes: FAEMA, 2020.

34 p.

TCC (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA.

Orientador (a): Prof. Dr. Driano Rezende.

1. Pavimentos Permeáveis. 2. Escoamento . 3. Poluição. 4. Sustentabilidade. 5. Engenharia Civil. I Rezende, Driano. II. Título. III. FAEMA.

CDD:620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

STÉFANO LIMA PEREIRA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Controle do Escoamento Superficial Através de Pavimentos Permeáveis**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Banca examinadora

Professor Orientador: Dr. Driano Rezende
Faculdade de educação e meio ambiente – FAEMA

Professora Mestre: Silênia Priscila da Silva Lemes
Faculdade de educação e meio ambiente – FAEMA

Professor Mestre: Felipe Cordeiro de Lima
Faculdade de educação e meio ambiente - FAEMA

Ariquemes, _____ de _____ de 2020.

Em especial à minha esposa Karen de Lima Gomes que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me incentivando e ao meu filho Miguel.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus por tudo o que tem feito por mim durante esta caminhada, pelas bênçãos recebidas, por ter protegido a mim e à minha família.

Agradeço ao meu Orientar Dr. Driano Rezende pelas ótimas sugestões, auxílios e orientações, sempre se mostrando um ótimo profissional e amigo, expressando suas palavras de forma clara e precisa.

Agradeço aos meus pais Oni e Zilésio, que mesmo passando por momentos difíceis sempre me ajudaram e apoiaram minhas decisões, me encorajaram a buscar melhores oportunidades de vida e me deram todos o suporte necessário nesta caminhada.

Agradeço também à Claudete, Saulo e Gilmar pelo auxílio durante o curso, pelas oportunidades que me foram proporcionadas por eles, e pela ajuda sempre que necessária.

Obrigado aos meus irmãos Gustavo e Vinícius que mesmo distantes me apoiaram incondicionalmente durante toda a caminhada, sempre tiveram extrema paciência comigo, mesmo nos momentos difíceis.

Agradeço também aos meus amigos e companheiros de turma Daniel Braz e Lucas Mendes pela paciência, pela ajuda durante a caminhada acadêmica e por estarem sempre presentes para me auxiliar durante meus momentos de dificuldade.

Em especial deixo o meu agradecimento à minha esposa, amiga, companheira de caminhada e meu grande amor Karen de Lima Gomes pela paciência e auxílio, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, por mais complicados que fossem, e agradeço por ser a mãe do meu amado filho Miguel Stéfano, que é sem dúvidas minha maior conquista.

Meu agradecimento também a todos os meus amigos que sempre me incentivaram e me motivaram, que contribuíram para minha vida pessoal, acadêmica e profissional, mesmo que de forma indireta.

Muito obrigado!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

AYRTON SENNA, 1990

RESUMO

Diante do aumento das áreas urbanas, a impermeabilização das áreas construídas tem se tornado um grande problema em todo o mundo, gerando escoamentos superficiais, principalmente em grandes cidades, comprovando-se assim a necessidade da busca por sistemas construtivos que levam em consideração três questões do desenvolvimento sustentável: econômico, ambiental e social. Nesse sentido, o presente trabalho objetiva apresentar referencial teórico embasado na história e evolução do uso de pavimentos permeáveis nas obras da construção civil. Sistemas de pavimentos permeáveis melhoraram a qualidade de vida da sociedade, em especial auxiliando nos sistemas de drenagem pluvial, essas alternativas construtivas sustentáveis em colaboração com o uso de tecnologias dão segmento ao conceito de baixo custo e menor impacto ambiental. No entanto, é importante e relevante aumentar os trabalhos sobre a sustentabilidade das construções, sendo que se faz necessário o desenvolvimento de métodos de avaliação de desempenho sustentável dos sistemas para apoiar-se nas tomadas de decisões.

Palavras-chave: Pavimentos Permeáveis. Escoamento. Poluição. Sustentabilidade. Engenharia Civil. Enchentes.

ABSTRACT

In view of the increase in urban areas, the waterproofing of built-up areas has become a major problem worldwide, generating surface runoff, mainly in large cities, thus proving the need to search for construction systems that take into account three issues of the sustainable development: economic, environmental and social. In this sense, this paper aims to present a theoretical framework based on the history and evolution of the use of permeable pavements in civil construction works. Permeable pavement systems have improved the quality of life of society, in particular assisting in rainwater drainage systems, these sustainable construction alternatives in collaboration with the use of technologies give segment to the concept of low cost and less environmental impact. However, it is important and relevant to increase the work on the sustainability of buildings, and it is necessary to develop methods for assessing the sustainable performance of systems to support decision making.

Keywords: Permeable Pavements. Flow. Pollution. Sustainability. Civil Engineering. Floods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1: Pisos intertravados..... | 19 |
| Figura 2: Pavimentos permeáveis no estacionamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS..... | 22 |
| Figura 3: Seção transversal do pavimento permeável do estacionamento..... | 23 |
| Figura 4: Parcelas demonstrativas do escoamento superficial em área urbana... | 26 |
| Figura 5: Parcelas e caixas coletoras instaladas na Escola..... | 27 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Coeficientes de escoamento superficial dos Pavimentos Permeáveis..... | 23 |
| Tabela 2: Volumes armazenados no reservatório de brita..... | 24 |
| Tabela 3: Valores acumulados de escoamento e infiltração de água nas diferentes porções..... | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS | 13 |
| 3 METODOLOGIA PROPOSTA..... | 14 |
| 4 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 4.1 SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES..... | 15 |
| 4.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA IMPERMEABILIZAÇÃO | 15 |
| 4.3 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS | 16 |
| 4.4 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO | 17 |
| 4.4.1 Pavimento Rígido..... | 17 |
| 4.4.2 Pavimento Semirrígido..... | 17 |
| 4.4.3 Pavimento Flexível..... | 18 |
| 4.5 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS..... | 18 |
| 4.5.1 História dos Pavimentos Permeáveis | 18 |
| 4.5.2 Características dos Pavimentos Permeáveis | 19 |
| 4.5.3 Vantagens da Utilização | 20 |
| 4.5.4 Desvantagens da Utilização..... | 21 |
| 4.5.5 Pavimentos permeáveis na prática | 21 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 29 |
| REFERÊNCIAS..... | 30 |

INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço das áreas urbanas e ocupação do solo por parte das edificações, características como volume e qualidade do ciclo da água são alterados. A impermeabilização do solo se tornou um grande problema para as grandes cidades, já que muitas vezes os sistemas de drenagem não conseguem escoar totalmente as águas das precipitações, acarretando em enchentes e diminuição da qualidade das águas pluviais (JABUR, 2013).

O poder público volta suas ações para medidas estruturais, encontrando soluções que geralmente são utilizadas na forma de sistemas de rede de drenagem, que basicamente alteram o local da enchente da área urbana para a jusante. Muitas vezes não existe uma avaliação correta sobre os reais benefícios da obra, levando-se em consideração os efeitos, mas não as causas das enchentes que nestes casos são o aumento das áreas impermeáveis (AGOSTINHO, 2012).

Novas ideias buscam trazer novamente o solo às condições anteriores à urbanização, fazendo uso de dispositivos que possibilitam maior infiltração das águas, aumentando o tempo de retardo do escoamento superficial na fonte ou próximo do ponto de origem (VIRGILIIS, 2009).

Para que os problemas urbanos envolvendo o escoamento superficial sejam amenizados, serão apresentados neste trabalho alguns tipos de pavimentos que auxiliam no aumento da infiltração do solo, reduzem o volume da água escoada e vazões de pico que podem ser iguais ou inferiores aos vistos antes da urbanização da região, resultando em uma diminuição do escoamento superficial e melhora na qualidade das águas (HAMMES, 2017).

Os pavimentos permeáveis são dispositivos de infiltração que permite a infiltração completa ou parcial da água por meio de absorção por meio de uma superfície permeável, que transfere a água para um reservatório de brita de graduação uniforme previamente construída sobre o perfil do terreno (PARRA, 2015).

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva apresentar referencial teórico embasado na história e evolução do uso de pavimentos permeáveis nas obras da construção civil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Apresentar uma revisão de literatura sobre o tema pavimentos permeáveis na melhoria do escoamento superficial de águas pluviais.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Apresentar histórico dos pavimentos permeáveis e sua evolução ao longo dos anos;
- Conceituar os tipos de pavimentos que viabilizem e estimulem o uso de pavimentos permeáveis em edificações;
- Comparar resultados de estudos científicos e respectivas opiniões dos autores relacionados com o tema;
- Discutir as vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia adotada é a pesquisa bibliográfica, a qual foi utilizada a leitura e compreensão de referências já publicadas que condizem com o tema abordado, sendo eles: artigos técnicos e de jornais, livros, dissertações, monografias e teses.

O trabalho apresenta uma avaliação comparativa, mostrando experiências já realizadas por outros autores, onde obtêm-se os resultados esperados e as avaliações quanto ao sucesso e os problemas das estruturas.

A escolha do tema e subtema foi favorecida pela necessidade de novos projetos de desenvolvimento sustentável direcionados ao gerenciamento das águas pluviais, a fim de estimular novas edificações e edificações já existentes a se adequar ao atual cenário mundial de preocupação com o meio ambiente e preocupação socioambiental.

Primeiramente, foram realizadas pesquisas utilizando as bases SciELO BRAZIL, SPELL e Google Acadêmico com as seguintes palavras-chave: sustentabilidade, sustentabilidade na construção, edificações sustentáveis, pavimentos permeáveis, melhoria na permeabilidade nas construções civis, blocos permeáveis, drenagem pluvial sustentável, materiais ecológicos na construção civil.

Foram localizados diferentes artigos nas bases de pesquisa, dentre as quais foram selecionados alguns utilizando como critérios para eliminação a análise dos resumos e selecionando os tópicos principais. Assim evidenciou a homogeneidade do conteúdo referente ao tema deste trabalho.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo o relatório da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2014), o desafio da sustentabilidade se tornou um papel de suma importância e grande destaque na agenda da Indústria da Construção do Brasil. Diversos estudos de nível nacional e mundial já foram elaborados com finalidade de explorar os impactos positivos e negativos que são gerados pelos setor imobiliário e a indústria da construção sobre a economia, sociedade e meio ambiente.

4.1 SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES

Com o crescente aumento da responsabilidade com o meio ambiente, as edificações urbanas devem se tornar mais eficientes energeticamente e socialmente a fim de assegurar maior satisfação aos ocupantes e operar de forma saudável. Além de projetar construções com alternativas que melhoram a eficiência do local. Existem várias formas de se adequar as construções já existentes para que se tornem menos onerosas com o passar do tempo, além de garantir um melhor ambiente para gerações futuras, evitando assim uma preocupação a mais para a humanidade e assegurando que os pensamentos direcionados ao reestabelecimento do meio ambiente sejam direcionados para outras áreas (PINHEIRO, 2003).

4.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA IMPERMEABILIZAÇÃO

É fato que o aumento da população urbana dos últimos anos no Brasil contribui diretamente para a geração de problemas relacionados a infraestrutura urbana. Um dos fatores urbanos que mais sofre com o aumento da população é a crescente impermeabilização do solo urbano, já que este se torna ocupado por pavimentação, telhados e estacionamentos, fazendo com que exista uma menor infiltração da água no solo e da evapotranspiração. Esta ocupação do solo faz com que a água esco superficialmente, levando todo o lixo descartado incorretamente proveniente do uso humano para os bueiros (PINTO, 2011).

O aumento do escoamento superficial leva à degradação incontrolável dos sistemas de drenagem convencionais, que por consequência causam inundações

corriqueiras em áreas urbanas, levando à sérias consequências econômicas, sociais, políticas, ambientais, dentre outras (PINTO, 2011).

A conceituação de escoamento superficial direto é a parte da precipitação total que permanece ou passa sobre a superfície do solo, desta forma o escoamento aumenta conforme o percentual de impermeabilização do solo (TUCCI, 1995).

Uma das alternativas de diminuição ou atraso do escoamento é a utilização de pavimentos especialmente elaborados, conhecidos como pavimentos permeáveis, mitigando os impactos da urbanização em áreas que antes eram permeáveis (TUCCI, 1995).

4.3 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

É de conhecimento geral que com o passar dos anos, o aumento das águas provenientes das chuvas, são gerados volumes de escoamento superficial cada vez maiores, sendo assim, a carga de poluição gerada no escoamento aumenta (RIGUETTO, 2017).

A poluição das águas pode se originar em zonas residenciais, comerciais ou industriais, havendo uma grande variabilidade de cargas poluidoras devido ao fato de que áreas residenciais podem ter níveis de ocupação diferentes entre si, assim como as áreas comerciais e industriais, que neste caso podem haver indústrias que se utilizam de água em grande quantidade e temo seu despejo no sistema de drenagem público (CASTRO, 2011).

Muitas vezes os níveis de poluição de águas de escoamento podem ser tão prejudiciais quanto os esgotos domésticos, pois o número de metais pesados materiais nocivos são maiores se comparados com os esgotos domésticos. Se comparados vemos que a poluição dos esgotos domésticos tem alta concentração de materiais de origem orgânica, enquanto as águas provenientes das precipitações e escoadas superficialmente transportam metais pesados e materiais de suspensão, sendo que as primeiras águas após a precipitação são as mais prejudiciais por levarem um maior número de agentes poluentes (CASTRO, 2011).

4.4 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

A definição correta de pavimento é descrita como uma estrutura construída sobre um maciço de terraplanagem de uma determinada localidade que busca um maior conforto de locomoção para seus usuários. Constitui-se por várias camadas de materiais com resistências diferentes, o que possibilita uma estrutura com grande firmeza e resistência (DANCIGUER, 2017).

Segundo a empresa Votorantim Cimentos (2016), os pavimentos recebem seus nomes de acordo com o revestimento principal, como o pavimento de concreto de cimento Portland e pavimentos asfálticos. Os pavimentos mais predominantes no Brasil são conhecidos como pavimentos rígidos, semirrígidos e flexíveis.

4.4.1 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é construído com placas de concreto e apresenta menores exigências de manutenção, não deformando com facilidade, se degradando menos com o uso (SILVA, 2019).

Balbo (2009) cita que pavimentos rígidos são definidos como camadas de rolamento elaborada com o concreto, sendo que este é produzido com ligantes hidráulicos ou agregados, sendo que sua construção pode ser feita através de diversas técnicas de elaboração e manipulação do concreto.

4.4.2 Pavimento Semirrígido

O pavimento semirrígido é executado de forma que tenha um revestimento flexível e uma base cimentada, apresentando uma fácil manutenção quando existe a necessidade. Este pavimento apresenta uma deformação intermediária se compara a outros tipos, sendo inferior ao pavimento rígido e superior ao pavimento flexível (SILVA, 2019).

Silva *et al.* (2013) define o pavimento semirrígido como um tipo de pavimento que se constitui de um revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base com materiais estabilizados com a adição de cimento, sendo assim, este revestimento apresenta uma deformabilidade maior que o pavimento rígido e menor que o

pavimento flexível. Alguns autores não utilizam o termo semirrígido para definir este tipo de pavimento com o uso de base cimentada, considerando apenas os pavimentos flexíveis e rígidos como válidos.

4.4.3 Pavimento Flexível

O pavimento flexível tem um processo construtivo com base granular e revestimento asfáltico, sendo de fácil manutenção quando necessário. Em se tratando de economia, este pavimento é o mais barato, sendo assim o mais utilizado por este fator (SILVA, 2019).

Já Pina *et al.* (2016) diz que o pavimento flexível pode se diferenciar de outros tipos de pavimentos pelo fato de não empregar concreto ou cimento na sua base e superfície, sendo assim, o revestimento fica sobre uma base de brita, sobre o solo original que foi terraplanado ou outros tipos de materiais. Sua construção é indicada para vias que terão o tráfego de veículos de pequeno e médio porte, sendo compostos por base, sub-base e revestimento.

4.5 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

4.5.1 História dos Pavimentos Permeáveis

Os primeiros modelos de pavimentação no Brasil são datados de 1560, quando o país iniciava seu desenvolvimento. Uma das primeiras estradas pavimentadas foi a Estrada Velha de Santos, que também ficou conhecida como Caminho do Mar, pois ia em direção ao Litoral Sul de São Paulo. Em 1790 esta mesma estrada mudou o nome para Calçada de Lorena, sendo que foi pavimentada inteiramente por pedras importadas de Portugal (DANCIGUER, 2017).

Após a implantação da pavimentação no Brasil, os pavimentos passaram a ter o uso como proteção e cobertura do solo, que até este momento estava exposto, sujeito a todos os problemas relacionados às precipitações, declives, areia e outras deformações resultantes dos tipos de solo naturais. Os pavimentos surgiram então como modelos de aperfeiçoamento do transporte terrestre, que facilitou e agilizou o transporte de bens e pessoas (DANCIGUER, 2017).

A ocupação de áreas urbanas através dos anos alterou algumas características relacionadas ao ciclo hidrológico, como o volume e a qualidade da água. O uso de pavimentos permeáveis em regiões urbanas tem como objetivo trazer uma melhora na qualidade da água, redução de vazão drenada na superfície, além de contribuir para o aumento de recarga dos aquíferos subterrâneos (ARAÚJO, 2000).

4.5.2 Características dos Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis possuem espaços vazios em sua estrutura, o que permite à água escoar por estes espaços, podendo infiltrar diretamente no solo ou transportá-la por intermédio de um sistema que auxilie a drenagem. Com alguns sistemas auxiliares pode-se filtrar a água que escoar, acarretando em menor quantidade de poluição para a água no subsolo (FERGUSON, 2005).

A Figura 1 representa um dos tipos de pavimentos permeáveis mais conhecidos, que é o pavimento de blocos vazados com cobertura de grama.

Figura 1 - Pisos intertravados



Fonte: AECWEB (2020).

Para que se escolha o tipo de pavimento deve-se levar em consideração vários fatores, como o nível do lençol freático, se haverá um sistema de drenagem abaixo do pavimento, condições do solo, níveis de precipitações na região, dentre outros. Os tipos de pavimentos variam segundo sua composição e infiltração (MAUS *et al.*, 2007).

Existem basicamente três tipos de pavimentos permeáveis: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concreto. Os pavimentos de asfalto poroso e concreto poroso são fabricados de maneira bem parecida se comparados com os pavimentos convencionais, sendo que a diferença na fabricação é a ausência de materiais finos durante a mistura. Já os blocos de concreto são blocos vazados intertravados colocados sob uma camada de areia, sendo que um geotêxtil é colocado envolto à camada de brita para impedir a infiltração de materiais pequenos para o reservatório de brita (JABUR, 2013).

4.5.3 Vantagens da Utilização

Segundo Pinto (2011), cada tipo de construção tem como finalidade melhorar o conforto e ambiente ao redor, seja de modo social, econômico, político ou ambiental, cada uma com suas próprias vantagens. Os pavimentos permeáveis não são fogem à regra, sendo assim podemos citar algumas das vantagens decorrentes da utilização dos pavimentos permeáveis:

- Diminui a utilização e necessidade das redes de drenagem e meios-fios;
- Aumento a recarga de reservas de águas subterrâneas;
- Atua como filtro no escoamento superficial, removendo impurezas;
- Considerável aumento da segurança em vias de tráfego devido ao maior atrito e conseqüentemente à diminuição de derrapagens.

Garcia (2018) cita que as vantagens da implantação dos pavimentos permeáveis são:

- No local de implantação do pavimento, retorna-se o ciclo natural da água;
- Taxa de escoamento superficial reduzida;
- Há recarga do lençol freático no local;
- O pavimento filtra e impede a entrada de alguns poluentes no lençol freático.

4.5.4 Desvantagens da Utilização

Apesar de buscar sempre a melhoria das condições ao redor, os pavimentos permeáveis ainda apresentam alguns fatores negativos que devem ser levados em consideração ainda na fase de projeto (PINTO, 2011). São elas:

- Colmatação do pavimento, isto é, acúmulo de material na superfície do pavimento, impedindo seu funcionamento planejado;
- Necessidade de mão de obra especializada;
- Elevado custos de implantação, manutenção e operação.

Já Garcia (2018) vai além e cita várias outras desvantagens relacionadas aos pavimentos permeáveis, como listadas a seguir:

- A maioria dos pavimentos não tem suporte para cargas muito elevadas;
- Minerais e óleos podem contaminar o solo quando há penetração da água poluída com estes;
- O solo se torna frágil pela ação da água;
- Tende a entupir em 1 a 3 anos;
- Apresenta resistência inferior se comparado ao pavimento convencional;
- Custo de construção elevado comparando-se ao convencional;
- Durabilidade reduzida;
- Necessidade de manutenção recorrente.

4.5.5 Pavimentos permeáveis na prática

Castro *et al.* (2013) realizou uma avaliação do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial. O pavimento permeável é composto por um módulo experimental contendo um estacionamento com pavimento permeável de reservatório de brita monitorado para análise desse método de controle dos excessos pluviais.

Esta instalação consta de um lote de estacionamento que está localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) que abrange uma área de 264m² e tem espaço para 16 veículos.

Este estacionamento é dividido em duas partes de tamanhos iguais, sendo uma das partes com pavimento de asfalto poroso e a outra parte revestida com pavimento de blocos vazados.

Para que exista uma clara compreensão da análise, foram alocados vários dispositivos de monitoramento, de modo que possibilite calcular o balanço hídrico do sistema, avaliando o comportamento quantitativo. O controle do nível da água no reservatório de brita foi feito com a instalação de três poços de observação em cada um dos pavimentos, contendo sensores de nível. A coleta e a medição do escoamento superficial também foram avaliadas instalando-se calhas que conduzem a água do escoamento superficial para alguns reservatórios coletores pré-instalados, sendo assim a vazão de saída é transportada para um reservatório feito em acrílico e equipado com vertedor triangular.

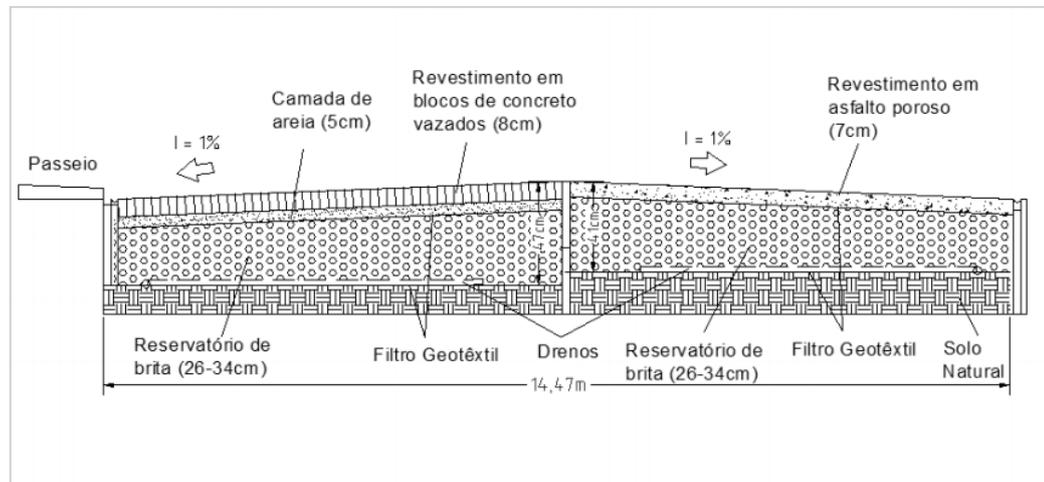
O estacionamento que foi analisado é caracterizado pelo tráfego de veículos leves e raramente serve como acesso para veículos pesados. O pavimento pode ser observado por meio das Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Pavimentos permeáveis no estacionamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS



Fonte: Castro *et al.* (2013)

Figura 3 – Seção transversal do pavimento permeável do estacionamento



Fonte: Castro *et al.* (2013)

Conforme autores, no monitoramento foi realizado o dimensionamento da estrutura, o detalhamento de todos os dispositivos referentes ao monitoramento e avaliados os resultados de um ano de monitoramento quantitativo deste estacionamento, sendo os valores deste monitoramento apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial dos Pavimentos Permeáveis

| Evento | Precipitação (mm) | Duração Chuva (h:min) | Coef. De Escoamento (%) | |
|--------|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| | | | Asfalto Poroso | Blocos Vazados |
| 1 | 62,5 | 22:03 | SD | 0,0 |
| 2 | 32,2 | 42:02 | SD | 1,4 |
| 3 | 22,6 | 28:26 | 0,8 | 0,0 |
| 4 | 9,1 | 4:52 | SD | 0,0 |
| 5 | 23,4 | 5:52 | SD | 0,0 |
| 6 | 83,1 | 13:55 | 5,0 | 1,0 |
| 7 | 20,1 | 11:34 | 0,7 | 0,0 |
| 8 | 30,7 | 6:40 | SD | 0,0 |
| 9 | 24,4 | 6:39 | 1,8 | 1,8 |
| 10 | 9,7 | 3:38 | 0,0 | 0,0 |
| 11 | 35,6 | 26:07 | 7,3 | 0,0 |

| | | | | |
|----|-------|----------------------|------|------|
| 12 | 55,1 | 39:33 | 9,5 | 0,0 |
| 13 | 20,8 | 5:22 | 3,6 | 5,4 |
| 14 | 32,5 | 42:43 | 6,1 | 3,8 |
| 15 | 46,2 | 27:11 | 8,2 | 1,1 |
| 16 | 115,8 | 59:19 | 7,7 | 9,8 |
| 17 | 20,8 | 5:22 | 3,6 | 5,4 |
| 18 | 37,1 | 12:00 | 6,2 | 4,5 |
| 19 | 15,2 | 0:57 | 7,2 | 3,0 |
| 20 | 18,5 | 3:50 | 2,2 | 0,0 |
| 21 | 17,0 | 10:35 | 3,0 | 0,0 |
| 22 | 90,4 | 48:28 | 13,5 | 12,8 |
| | | Média | 5,08 | 2,27 |
| | | Desvio Padrão | 3,62 | 3,49 |

SD — Sem dados
 Fonte: Castro *et al.* (2013)

Tabela 2 - Volumes armazenados no reservatório de brita

| Evento | Volume Máx. Armazenado (m³) | | Tempo de armazenamento (h:min) | |
|--------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | Asfalto Poroso | Blocos Vazados | Asfalto Poroso | Blocos Vazados |
| 1 | SD | 0,93 | SD | 34:26 |
| 2 | SD | 0,55 | SD | 35:26 |
| 3 | 0,20 | 1,15 | 9:56 | 9:56 |
| 4 | SD | 1,26 | SD | 8:25 |
| 5 | SD | 1,16 | SD | 17:31 |
| 6 | 1,52 | 1,47 | 13:08 | 27:58 |
| 7 | 0,07 | 0,88 | 3:32 | 18:21 |
| 8 | SD | 1,71 | SD | 19:54 |
| 9 | 0,20 | 1,06 | 4:51 | 15:27 |
| 10 | - | 0,72 | - | 6:03 |
| 11 | 0,23 | 0,88 | 27:58 | 40:29 |
| 12 | 0,18 | 0,73 | 30:14 | 45:31 |
| 13 | 0,28 | 0,28 | 5:56 | 18:09 |
| 14 | 0,17 | 1,82 | 13:03 | 40:49 |
| 15 | 0,30 | 0,67 | 21:46 | 38:13 |
| 16 | 0,97 | 0,80 | 60:35 | 72:28 |
| 17 | 0,28 | 0,28 | 5:56 | 18:09 |
| 18 | 0,53 | 0,41 | 10:12 | 18:08 |

| | | | | |
|----|------|------|-------|-------|
| 19 | 0,47 | 0,25 | 5:02 | 10:10 |
| 20 | 0,46 | 0,27 | 3:58 | 3:20 |
| 21 | 0,29 | 0,36 | 5:35 | 11:16 |
| 22 | 1,93 | 0,41 | 25:35 | 60:26 |

SD — Sem dados

Fonte: CASTRO *et al.*, 2013

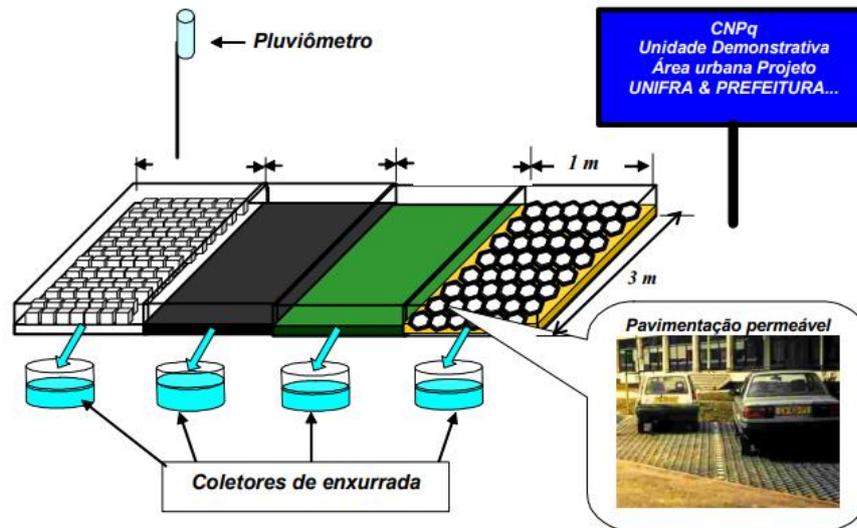
Nas Tabelas 1 e 2 foram utilizados o asfalto poroso e blocos vazados, sendo que os blocos vazados apresentam maior espaço para infiltração da água. Como verificado na Tabela 1, o escoamento superficial apresentado pelos blocos vazados foi menor se comparado com o asfalto poroso, apenas em alguns casos ocorreu o inverso, talvez por entupimentos dos espaços vazios por onde a água poderia passar. Já na Tabela 2 verifica-se que o armazenamento de água dos blocos vazados, em sua maioria, foi maior se comparado com o asfalto poroso, além de que os blocos vazados captam a água por mais tempo pelo fato de que no asfalto poroso a água não fica retida e escoar para outros pontos, diminuindo assim sua eficiência.

Nas Tabelas 1 e 2 também é possível perceber uma diminuição na eficácia dos blocos vazados quando relacionados com o asfalto poroso. Isso se deve ao fato de que quanto mais permeável o pavimento, maior a necessidade de manutenção, e durante todo o período de coleta de dados não houveram manutenções nos pavimentos estudados.

Como resultado foi verificado que quanto mais permeável o pavimento melhor será como controlador de geração de escoamento superficial, diminuindo consideravelmente os acúmulos de água na superfície do pavimento.

Já Maus *et al.* (2007) realizou um projeto em uma área da Escola Municipal de Ensino Fundamental João Pedro Menna Barreto, situada no perímetro urbano de Santa Maria-RS. Para a realização do projeto foram alocadas 4 porções com 3 metros de comprimento por 1 metro de largura, sendo que todos apresentavam a mesma declividade de 7%, por onde o escoamento superficial das precipitações foi avaliado separadamente. Cada porção foi revestida com um tipo diferente de material, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Parcelas demonstrativas do escoamento superficial em área urbana.



Fonte – MAUS *et al.* (2007)

Dentre estas porções de revestimentos temos a seguinte composição (da esquerda para a direita): paralelepípedo, asfalto, grama e pavimento permeável. Para fins de estudo, as porções foram separadas por chapas de aço, contendo em suas respectivas extremidades inferiores uma calha coletora de enxurrada para cada porção, pela qual a água é transportada para um reservatório de 500 litros contido em cada uma das porções individualmente. Cada porção de revestimento recebeu um pluviômetro, que é um aparelho para medir a quantidade de chuva.

As porções já instaladas na Escola Municipal de Ensino Fundamental João Pedro Menna Barreto estão representadas na Figura 5 com a mesma ordem de revestimento da Figura 4. Ainda é possível visualizar na Figura 5 as caixas coletoras para o escoamento superficial citadas anteriormente.

Figura 5 - Parcelas e caixas coletoras instaladas na Escola



Fonte: Maus *et al.* (2007)

Com a finalidade de coletar toda a água que escoa superficialmente e levar até as caixas coletoras, foi instalada em cada porção calhas coletoras feitas em chapa galvanizada. Então para se relacionar o escoamento superficial de cada porção com a quantidade de água precipitada, foram realizadas leituras nos pluviômetros e também nas caixas coletoras. Analisando então estes dados foi possível verificar ainda no local a porcentagem de infiltração da água para cada uma das porções.

Baseado em dados coletados durante seis meses pôde-se avaliar os efeitos na redução de escoamento superficial de cada material. Após a análise dos dados foi possível constatar que o maior escoamento superficial ocorreu na porção revestida com asfalto, seguido da porção de paralelepípedo, gramado e por último o pavimento permeável, onde o escoamento sobre a superfície se apresentou nulo. Analisando a tabela 3 podemos verificar a totalidade de infiltração em cada porção, levando em consideração chuvas de diferentes durações e intensidades.

Tabela 3 - Valores acumulados de escoamento e infiltração de água nas diferentes porções

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

Fonte: Maus *et al.* (2007)

Através da Tabela 3 fica claro o quanto o pavimento permeável é superior se comparado com outros tipos de pavimentos. A porção de asfalto, que representa mais de 90% das pavimentações no Brasil, apresentou uma parcela de infiltração de apenas 29%, reforçando a tese de que a pavimentação inadequada para certas regiões é influenciadora direta das enchentes no país (MAUS *et al.*, 2007)

5 CONCLUSÃO

Por meio dos estudos apresentados pôde-se comprovar a eficácia dos pavimentos permeáveis, e que sua adoção diminui consideravelmente a quantidade de escoamento superficial gerada pela impermeabilização dos pavimentos convencionais mais utilizados atualmente.

Observou-se também que é de suma importância que qualquer pavimento permeável, independente do seu tipo, deve receber manutenções periódicas para que se mantenha a eficiência esperada por este, não acarretando em problemas futuros, despesas elevadas e custos desproporcionais que inviabilizem o projeto como um todo.

Caso o pavimento permeável seja executado corretamente, seguindo todas as normas pertinentes ao mesmo, como a norma da ABNT NBR 16416:2015, O pavimento pode apresentar vazões de escoamento que chegam a 94% menores quando comparados com áreas revestidas com pavimentos impermeáveis.

A maior limitação observada quando utilizado este tipo de estrutura de revestimento é com relação a declividade do terreno. Quando o terreno apresenta uma grande declividade a parcela de escoamento aumenta, diminuindo assim a eficiência da permeabilidade do pavimento, mas mesmo com a declividade a taxa de infiltração ainda se mostra superior aos pavimentos comuns. Desta forma, é fato que a utilização deste tipo de estrutura não se restringe apenas a terrenos planos.

Conclui-se que o uso do pavimento permeável é de grande viabilidade como medida de mitigação dos problemas que os eventos críticos hidrológicos causam em locais onde existe impermeabilidade das águas, embora apresente limitações e algumas dificuldades quanto ao seu dimensionamento.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 16416:2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-18).
- AGOSTINHO, Mariele de Souza Parra; POLETO, Cristiano. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. *Holos Environment*, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentos de Concreto. São Paulo, 2009.
- CASTRO, Andréa Souza. Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. 2011.
- CASTRO, Andréa Souza *et al.* Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 1, p. 263-273, 2013.
- DANCIGUER, Gabriela MOTTA; DOS REIS, Elton A. PRADO. Pavimento Permeável Aplicado em Área Urbana, como Medida de Escoamento da Água da Chuva. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, v. 13, n. 13, 2017.
- DE ARAÚJO, Paulo Roberto; TUCCI, Carlos EM; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *Braz. J. Water Resour*, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- FEDRIGO, William. Reciclagem de pavimentos com adição de cimento portland: definição das bases para um método de dosagem. 2015.
- GARCIA, Jéssica Aparecida Alves; BERTEQUINI, Aline Botini Tavares. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS. 2018.
- HAMMES, Gabriela et al. Aproveitamento de água pluvial captada a partir de pavimentos permeáveis para uso não potável. 2017.
- JABUR, Andrea Sartori et al. Avaliação de pavimentos permeáveis com o uso da norma ASTM C1701. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, 2013.

MARUYAMA, Cintia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v. 4, n. 9, 2016.

MAUS, Victor Wegner; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTROOESTE, v. 1, 2007.

PARRA, Geovana Geloni; DO NASCIMENTO TEIXEIRA, Bernardo Arantes. Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 3, n. 15, 2015.

PINA, Antônio Lucas et al. Desenvolvimento de pavimento flexível e pavimento rígido. 2016.

PINHEIRO, Manuel. Construção sustentável: mito ou realidade. In: Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente. 2003.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

REIS, Ricardo Prado Abreu; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira. Influência das condições de instalação do sistema predial de água pluvial nas soluções de drenagem na fonte. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 129-141, Mar. 2019.

RIGHETTO, Antonio Marozzi; GOMES, Kaline Muriel; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. Eng Sanit Ambient, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017.

SILVA, Amanda Helena Marcandali *et al.* Avaliação dos parâmetros executivos para construção de camada espessa de base cimentada. 2013.

SILVA, João Arthur Borne de Lima et al. Utilização do pavimento permeável para a drenagem urbana. 2018.

SILVA, Márcio Cândido de Siqueira Francielle et al. Avaliação sobre a eficiência do uso de pavimentos permeáveis. 2019.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTE: Stéfano Lima Pereira

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 09.09.2020

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **4%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet

Suspeitas confirmadas: **2,6%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados

Texto analisado: **87,67%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.4.11 quinta-feira,
9 de setembro de 2020 16:05

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **STÉFANO LIMA PEREIRA**, n. de matrícula **21420**, do curso de Engenharia Civil, foi **APROVADO** na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 4%. Devendo o aluno fazer as correções que se fizerem necessárias.

(assinado eletronicamente) HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO

Bibliotecária CRB 1114/11

Biblioteca Júlio Bordignon

Faculdade de Educação e Meio Ambiente