



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL EM REDUZIR O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Matheus Neves Barbosa

Orientador: Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE – PB
2019

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CAMPINA GRANDE – PB
2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

Matheus Neves Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Recursos Hídricos.

Orientador: Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE – PB
2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda proteção, saúde e toda força para seguir diante dessa trajetória.

A meus pais, Milton Quintino e Maria da Guia, à minhas avós e meus avôs Orlando Mousinho e José Quintino, por todo apoio, fé, amor e confiança, garantindo sempre uma base e incentivo diante toda vida, fornecendo conhecimento para seguir em frente, o homem que sou hoje é graças ao que aprendi com vocês.

Ao professor Ricardo de Aragão, por todo seu conhecimento compartilhado, desde meu despertar de interesse em recursos hídricos, assim como Edmílson Gomes, Israel José e Antonio Leomar Ferreira Soares por seu auxílio para a execução deste relato.

A todos os amigos que participaram diretamente ou indiretamente dessa jornada, em especial Anderson Sabino.

DEDICATÓRIA

*A Deus, meus pais e minha filha
por todo apoio, amor e confiança.*

Epígrafe

*“Ninguém apaga o brilho de quem brilha
com luz própria”*

(Prof^o. Dr^o. Milton Bezerra das Chagas Filho)

RESUMO

O processo de urbanização tornou-se cada vez mais acelerado, portanto a união de um bom planejamento urbano com elementos que colaborem com a aumento das áreas permeáveis ajudam a diminuir ou evitar problemas relacionados a drenagem urbana. Neste contexto, entra em cena a busca de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, que tentam unir sustentabilidade e eficiência, tendo como exemplo o uso de blocos intertravados de concreto e cobogamas, que aparecem como um meio de contribuir com o aumento do processo de infiltração de água no solo e conseqüentemente diminuição do escoamento superficial. O principal objetivo deste trabalho é atestar a melhora na drenagem das águas pluviais após o uso de pavimentos de concreto do tipo blocos intertravados e cobogamas no estacionamento localizado na Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande- PB. Para tanto, utilizando o software SWMM, criou-se um modelo computacional do estacionamento antes e após a reforma, inserindo chuvas de projeto com período de retorno respectivamente de 10, 25, 50 e 100 anos. Também foi realizado um ensaio utilizando uma área simulando a superfície do estacionamento composta por cobogamas, com o auxílio de um simulador de chuva foi capaz de testar o comportamento do cobograma em relação à retenção de água. Então, tanto o modelo computacional quanto o ensaio analisado apresentou uma capacidade boa capacidade de retenção de água, colaborando com a diminuição do escoamento superficial, minimizando assim as vazões de pico.

Palavras-chave: Urbanização. Drenagem Urbana Sustentável. Blocos intertravados de concreto. Cobogamas. SWMM.

ABSTRACT

The urbanization process has become increasingly fast, so the union of a good urban planning with elements to collaborate with the increase of areas permeable help reduce or avoid problems related to urban drainage. In this context, comes in the pursuit of sustainable systems for urban drainage, trying to unite sustainability and efficiency, taking as an example the use of blocks interlocked concrete and grass block, that appear to contribute to the increase of the water infiltration process in the soil and consequently decrease of the runoff. The main objective of this work is to attest to the improvement in the drainage of rainwater after the use of interlocked concrete blocks and grass block in the parking lot located at the Federal University of Campina Grande. Campina Grande- PB. To this end, using the SWMM software, a computational model of parking was created before and after the renovation, inserting project showers with a return period of 10, 25, 50 and 100 years respectively. A test was also performed using an area simulating the parking surface composed of grass blocks, with the aid of a rain simulator was able to test the behavior of the grass block in relation to water retention. Then, the computational model and the assay presented a good water retention capacity, contributing to the decrease of the surface runoff, minimizing the peak flow rates.

Key words: Urbanization. Sustainable Urban Drainage. Interlocked concrete blocks. Grass blocks. SWMM.

MATHEUS NEVES BARBOSA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL EM REDUZIR O ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ de _____ de 2019.

Prof. Ricardo de Aragão - UFCG
Orientador

Nota: _____

Profa. Patrícia Hermínio Feitosa - UFCG
Examinador interno

Nota: _____

Engenheiro Mestrando Igor Furtado Targino - UFCG
Examinador externo

Nota: _____

**CAMPINA GRANDE – PB
2019**

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE IMAGENS.....	11
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e as enchentes	16
2.2 Sistemas convencionais de drenagem de águas pluviais.....	18
2.3 Sistemas sustentáveis de drenagem de águas pluviais	19
2.4 Pavimentos permeáveis	21
2.5 Cobogramas.....	23
2.6 Blocos intertravados	23
2.7 Experimento com sistemas sustentáveis de drenagem	24
2.8 Storm Water Management Model – SWMM.....	26
3. ÁREA DE ESTUDO.....	27
4. METODOLOGIA.....	31
4.1 Modelo computacional	31
4.2 Modelo reduzido	33
5. RESULTADOS	41
5.1 SWMM.....	41
5.2 Simulador de chuva	52
6. CONCLUSÃO.....	57
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Hidrograma de uma bacia de contribuição.....	17
Figura 2: Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada.....	17
Figura 3: Classificação de pavimentos permeáveis.....	22
Figura 4: Imagem de um cobograma.....	23
Figura 5: Superfície de blocos intertravados.....	24
Figura 6: Módulos de 1m ² utilizados na simulação do escoamento superficial.....	25
Figura 7: Escoamento superficial nas superfícies ensaiadas, para chuva com período de retorno de 5 anos.....	25
Figura 8: Mapa da UFCG, campus Campina Grande com a localização do setor bancário.....	28
Figura 9: Vista aérea do estacionamento antes da instalação do pavimento permeável.....	28
Figura 10: Projeto do estacionamento do setor bancário da UFCG com pavimento permeável.....	29
Figura 11: Piso com blocos intertravados e cobograma.....	29
Figura 12: Boca de lobo.....	30
Figura 13: Rebaixamento da passarela.....	30
Figura 14: Representação da área do estacionamento dividida em sub-bacias para a condição anterior a reforma.....	32
Figura 15: Representação da área do estacionamento dividida em sub-bacias para a condição anterior a reforma.....	32
Figura 16: Esquema de montagem do experimento.....	34
Figura 17: Vista lateral.....	35
Figura 18: Vista frontal.....	35
Figura 19: Vista superior.....	36
Figura 20: Sistema de canos com aspersores para simular uma chuva de projeto.....	36
Figura 21: Colocação dos cobogramas sobre a lona.....	37
Figura 22: Superfície de cobogramas com grama.....	37
Figura 23: Estrutura com telha, calha e reservatório.....	38
Figura 24: Estrutura totalmente coberta por lona.....	38
Figura 25: Becker e proveta utilizadas na medição da intensidade da chuva.....	39
Figura 26: Becker posicionado para determinação da intensidade da chuva.....	39
Figura 27: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 10 anos.....	41
Figura 28: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 25 anos.....	41
Figura 29: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 50 anos.....	42
Figura 30: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 100 anos.....	42
Figura 31: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 10 anos.....	43
Figura 32: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 25 anos.....	43
Figura 33: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 50 anos.....	44
Figura 34: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 100 anos.....	44
Figura 35: Realização de furos nos canos para aumentar a intensidade da chuva.....	53
Figura 36: Recipiente circular posicionado para medição de nova intensidade de chuva.....	54
Figura 37: Água escoada caindo na telha através dos furos na madeira que limita a área de estudo.....	55
Figura 38: Escoamento superficial observado acima dos cobogramas.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Série Temporal para os períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos inseridos na modelagem computacional.	33
Tabela 2: Vazão na boca de lobo para Tr:10 anos.	45
Tabela 3: Vazão na boca de lobo para Tr:25 anos.	45
Tabela 4: Vazão na boca de lobo para Tr:50 anos.	45
Tabela 5: Vazão na boca de lobo para Tr:100 anos.	46
Tabela 6:Dados de infiltração para um Tr=10 anos.	47
Tabela 7:Dados de infiltração para um Tr=25 anos.	47
Tabela 8:Dados de infiltração para um Tr=50 anos.	48
Tabela 9:Dados de infiltração para um Tr=100 anos.	48
Tabela 10:Dados de infiltração para um Tr=10 anos.	49
Tabela 11:Dados de infiltração para um Tr=25 anos.	49
Tabela 12:Dados de infiltração para um Tr=50 anos.	50
Tabela 13:Dados de infiltração para um Tr=100 anos.	50
Tabela 14:Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=10 anos.	51
Tabela 15:Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=25 anos.	51
Tabela 16:Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=50 anos.	52
Tabela 17:Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=100 anos.	52

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

SWMM – Storm Water Management Model

IMPs - Integrated Management Practices

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

CIRIA - Construction Industry Research and Information Association

US EPA - United States Environmental Protection Agency

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações, o ser humano buscou ficar próximo à grandes corpos hídricos, tendo em vista a importância da água para a sobrevivência e evolução humana. Com o processo de urbanização, a expansão das cidades foi muitas vezes realizada sem nenhum tipo de estudo de impacto ou restrição às construções, o que ocasionou diversos problemas em relação ao manejo e direcionamento das águas superficiais, principalmente aquelas advindas das precipitações, que tem sido indicada como motivo de grandes problemas nas áreas urbanas.

Nesse contexto, entra em cena os sistemas de drenagem urbana, que buscam conduzir de forma segura o escoamento superficial gerado nas cidades devido a chuvas naturais. Este escoamento sofreu aumento significativo no volume ao longo do último século, devido tanto ao desmatamento e à ocupação das várzeas dos rios, áreas naturalmente susceptíveis às enchentes, quanto à impermeabilização acelerada da superfície.

Dentre as formas de drenagem urbana, pode-se mencionar a sustentável, cujo objetivo é aproximar as características hidrológicas da região no patamar do que existia antes do processo de urbanização. Esse processo leva em consideração o fator econômico, ambiental e social, o que muitas vezes acarreta na minimização da necessidade de sistemas de drenagem convencionais.

Enquanto que a drenagem urbana convencional visa unicamente a remoção da água superficial sem se preocupar com a correta destinação, a drenagem urbana sustentável tem como objetivo a redução da quantidade de água que vai para a rede de drenagem e possui várias técnicas de aplicação, dentre elas pode-se citar os pavimentos permeáveis, bacias de retenção, valas de infiltração, trincheiras drenantes. (ARAGÃO, 2018)

Segundo Urbonas e Stahre (1993), pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno, reduzindo assim, o escoamento superficial e, desta forma, prevenindo que este volume de água extra chegue aos sistemas de drenagem urbana o que poderia causar inundações e desastres.

Devido às suas características, os pavimentos permeáveis têm sido utilizados por diversas instituições para a redução do volume escoado em seus estacionamentos. Um caso típico é o que se pode constatar na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, onde pavimentos permeáveis foram instalados num dos estacionamentos, com o intuito de melhorar a drenagem da área. Entretanto,

o exemplo citado acima não está de acordo com a literatura, pois não há um reservatório abaixo da superfície. Sendo assim, é necessária a realização de testes para comprovar a eficácia desse pavimento permeável na redução de escoamento superficial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de redução do escoamento superficial e da absorção de água do pavimento permeável instalado no estacionamento localizado defronte ao Banco do Brasil na UFCG.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar ensaios em modelo reduzido do pavimento permeável com o intuito de obter os dados necessários para demonstrar a eficiência do mesmo na diminuição do escoamento superficial;
2. Estimar o comportamento do pavimento anterior ao atual do estacionamento citado no item 1, para uma dada chuva de projeto, utilizando um solo semelhante ou métodos computacionais;
3. Comprovar a capacidade de infiltração do pavimento permeável, bem como a melhora na drenagem do estacionamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e as enchentes

As enchentes no Brasil decorrem principalmente da falta de controle da ocupação humana. Devido ao descaso por parte dos órgãos competentes, ocorreu uma urbanização caótica, que atrelada ao uso inadequado dos solos, acarretaram na redução da capacidade natural de armazenamento de deflúvio.

O desenvolvimento acelerado e desordenado das cidades contribui para a evolução dos problemas de inundações. A ocupação de áreas instáveis nas encostas e de áreas sujeitas a inundações nos vales dos cursos de água, aliada à insuficiência do sistema de drenagem, à crescente impermeabilização do solo e ao assoreamento das bacias de amortecimento de cheias, contribuíram para o agravamento do problema (LIMA-QUEIROZ et al., 2003).

A ocupação urbana através de áreas impermeáveis, como telhados, passeios, ruas, estacionamentos e outros, altera as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico, trazendo como resultados o aumento das enchentes urbanas e a degradação da qualidade das águas pluviais (ARAÚJO et al., 2000).

As enchentes em áreas urbanas são principalmente devidas a (TUCCI, 1998):

a) urbanização: são as enchentes produzidas pela impermeabilização do solo e aumento da capacidade do escoamento da drenagem através de condutos e canais;

b) ocupação das áreas ribeirinhas: são as enchentes naturais que ocorrem em rios de médio e grande porte. O rio extravasa o seu leito menor, ocupando a várzea (leito maior). A população desavisada tende a ocupar esse leito devido à sequência de anos com enchentes pequenas ou pelo reduzido custo dessas áreas, sofrendo prejuízos nos anos de enchentes maiores;

c) devido a problemas localizados: são as enchentes devido à obstrução do escoamento e a projetos inadequados.

A ocupação inadequada do espaço urbano ocorre devido às seguintes ações (TUCCI, 1995):

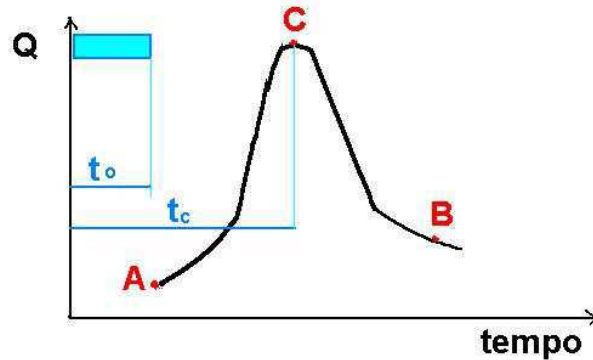
a) como no Plano Diretor Urbano da grande parte das cidades brasileiras não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação, a sequência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas;

b) invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao Poder Público, pela população de baixa renda;

c) ocupação de áreas de médio risco que são atingidas com menor frequência, mas que, quando o são, sofrem prejuízos significativos.

O ciclo hidrológico natural é refletido no hidrograma abaixo, Figura 1, representando o comportamento de uma bacia de contribuição qualquer devido um evento de precipitação, demonstrando a variação da vazão ao longo do tempo em uma seção do curso d'água.

Figura 1: Hidrograma de uma bacia de contribuição.

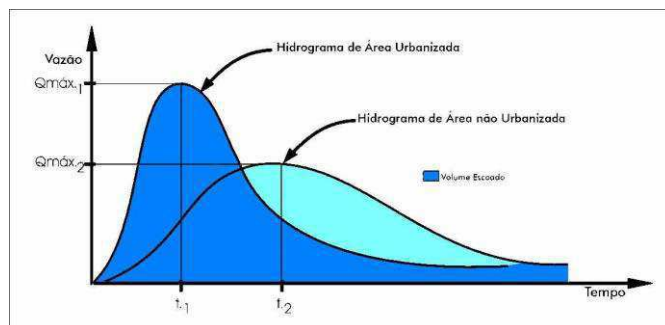


Fonte: PINTO, 1976

Na seção do curso de água, onde se está registrando a vazão, verifica-se que, após o início da precipitação, decorrido certo intervalo de tempo (instante t_0), o nível da água começa a elevar-se. A vazão cresce desde o instante correspondente ao ponto A (Figura 1) até o instante correspondente ao ponto C, quando atinge seu valor máximo. (PINTO, 1976).

O processo de urbanização alterou o ciclo hidrológico natural, o que é refletido na diferença entre os hidrogramas de uma área urbanizada e não urbanizada, visto na Figura 2.

Figura 2: Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada.



Fonte: PINTO, 1976

Analisando o hidrograma acima, percebe-se que, em uma determinada área urbanizada, a vazão de pico é maior e seu tempo de concentração é menor que em uma área não urbanizada. Isso ocorre porque, em uma área não urbanizada, o escoamento da água fica limitado pela infiltração do solo e também pela retenção exercida pela vegetação, o que por sua vez, promove

um retardo do escoamento, ocasionando um maior tempo de concentração e uma menor vazão de pico, já que a velocidade das águas pluviais é reduzida.

2.2 Sistemas convencionais de drenagem de águas pluviais

Com o intuito de minimizar o impacto da urbanização sobre o ciclo hidrológico são implementados os sistemas de drenagem urbana, ou seja, sistemas de manejo seguro de escoamento das águas pluviais com a finalidade de evitar inundações, erosões, alagamentos, movimentação de terra, etc.

Com o passar do tempo, todas as grandes regiões brasileiras implementaram a drenagem superficial das águas pluviais devido a ocorrência da pavimentação de ruas e avenidas, aumentando o percentual de área impermeabilizada. Tal acréscimo tende a provocar também um aumento na velocidade de escoamento das águas pela baixa ou quase inexistente permeabilidade do solo. Portanto, quanto maior a impermeabilização do solo, menor será a quantidade de água infiltrada e maior será o escoamento. Na maioria dos casos, os efeitos da urbanização sobre o volume escoado são propagados para jusante. Sendo assim, cabe a ação pública regulamentar e planejar o desenvolvimento das cidades tomando-se como base ou referencial o plano diretor urbano e o plano diretor de drenagem urbana (CANHOLI, 2005).

O plano diretor de drenagem urbana possui como objetivo criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saúde e meio ambiente da cidade (TUCCI, 2007).

A ideia de planejamento das cidades, obrigou os municípios a estudar, registrar e tornar disponível informações sobre o solo, subsolo, características naturais, qualidade de seus recursos hídricos, qualidade do ar e a edição de regras para o planejamento da drenagem e dos resíduos sólidos.

Os sistemas de drenagem urbana incluem a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias e destinação final das águas escoadas superficialmente, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes do projeto para que tal ocorra. A drenagem subterrânea funciona a partir de tubulações e sistemas de captação que estão vinculados a meio-fio e guias, sarjeta, sarjetões, boca-de-lobo, galerias e poços de visitas, condutos forçados e estações de bombeamento. Itens esses que serão descritos abaixo. (CANHOLI, 2005)

- Meio-fio: São constituídos de blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública;
- Sarjetas: São as faixas formadas pelo limite da via pública com os meios-fios, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua;
- Sarjetões: São formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
- Boca-de-lobo: São dispositivos de captação das águas das sarjetas;
- Galerias: São as canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas-de-lobo;
- Poços de visita: São dispositivos colocados em pontos convenientes do sistema, para permitir sua manutenção;
- Conduitos forçados e estações de bombeamento: Quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal de drenagem para um outro, recorre-se aos conduitos forçados e às estações de bombeamento.

2.3 Sistemas sustentáveis de drenagem de águas pluviais

A utilização de uma parcela de área permeável no terreno nem sempre é suficiente para propiciar a adequada infiltração. Assim, com o intuito de amenizar o escoamento superficial e aproximar as características hidrológicas do local para uma condição anterior à urbanização, são adotadas estratégias alternativas voltadas para infiltração da água pluvial no solo denominadas de sistemas de drenagem urbana sustentável, que se aproveitou da força do desenvolvimento urbano de baixo impacto.

O desenvolvimento urbano de baixo impacto surgiu na década de 80 como uma estratégia de manejo de águas pluviais e água servidas. Este se baseia no emprego de planejamento multidisciplinar integrado a práticas de tratamento e controle em pequena escala para mimetizar o comportamento hidrológico natural em configurações residenciais, comerciais e industriais. A estratégia avançou principalmente no manejo de águas pluviais, apresentando ênfase na utilização de ecossistemas naturais como base para o melhoramento das suas características hidrológicas, por meio de conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação (TUCCI, 2007).

Esse modelo de drenagem urbana assenta-se sobre os seguintes elementos-chave (USDoD, 2004):

- Conservação: preservação de vegetação e solo nativos, minimizando o emprego de áreas impermeáveis e permitindo a manutenção de caminhos naturais de drenagem;
- Projetos locais únicos: elaboração de projetos que respeitem peculiaridades locais naturais e assegurem a proteção de toda a bacia, em detrimento a padronizações;
- Direcionar escoamento para áreas vegetadas: encorajar infiltração e recarga de aquíferos, terras úmidas e riachos, aproveitando controle e tratamento realizados naturalmente;
- Controles distribuídos de pequena-escala: empregar técnicas de manejo hídrico o mais próximo possível da fonte de geração de excedente de escoamento, de forma integrada ao ambiente, para mimetizar processos hidrológicos naturais;
- Manutenção, prevenção à poluição e educação: trabalhar a educação e envolvimento público (inclusive de profissionais) objetivando a redução de cargas de poluentes e o aumento da eficiência e longevidade de sistemas de drenagem, exonerando o poder público.

Para tanto, algumas ferramentas de manejo integrado (uma tradução livre de Integrated Management Practices, IMPs) são utilizadas para melhoria da qualidade e redução da quantidade de águas pluviais. Esses dispositivos são caracterizados pelo emprego de vegetação para interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar água, nutrientes e sedimentos. Os dispositivos artificiais se limitam à reserva e ao aproveitamento de água, e à adaptação de estruturas para mínima perturbação ao sistema de drenagem natural.

Alguns desses dispositivos são (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012):

- Preparo do solo: a incorporação de matéria orgânica derivada de compostagem ou húmus, quando adequadamente implementado e mantido, providencia serviços ambientais. Pode-se destacar a redução de escoamento, redução de erosão, aumento de filtração de sedimentos, adsorção e biofiltração de poluentes, aumento da taxa de crescimento de plantas, resistência a doenças, estética paisagística, melhoria da retenção de umidade do solo e redução de demanda por manutenção, irrigação, fertilizantes e pesticidas.
- Telhados verdes: prática que consiste na aplicação de uma camada vegetal sobre uma base impermeável, podendo ser uma laje impermeabilizada ou mesmo um telhado

convencional. Dentre as vantagens apresentadas por estes dispositivos a melhoria de eficiência energética, da qualidade do ar e da estética, redução de temperatura e barulho, controle de águas pluviais e aumento da vida útil do telhado.

- Coletores de água de chuva: o aproveitamento de água de chuva oportuniza o aumento da eficiência hídrica no empreendimento, retirando o poder público ou a concessionária pelo serviço de abastecimento do volume coletado. Dentre as alternativas empregadas para coleta e armazenamento de água de chuva encontram-se cisternas e adaptações de pavimentos permeáveis e telhados verdes. A experiência com o uso de cisternas, especialmente na região Nordeste do país pode facilitar o desenvolvimento de mecanismos para incentivo, dimensionamento e construção.
- Fundações verdes: podem se apresentar como pilares ou muros, ancorados ao solo por pinos (em concreto, aço ou madeira) protegidos de corrosão. Desta forma, minimizam a compactação do solo e permitem que águas pluviais escoem por caminhos naturais, poupando recursos e tempo pela menor necessidade de manejar a terra e elaborar medidas para amenizar o efeito de fundações convencionais, que acabam represando águas subterrâneas.
- Pavimentos permeáveis: composto por uma camada de cobertura, muitas vezes estruturante e uma camada de brita, que possui espaços livres na sua estrutura para o escoamento e infiltração da água pluvial.

2.4 Pavimentos permeáveis

Como principais benefícios dos pavimentos permeáveis podem ser citados os seguintes:

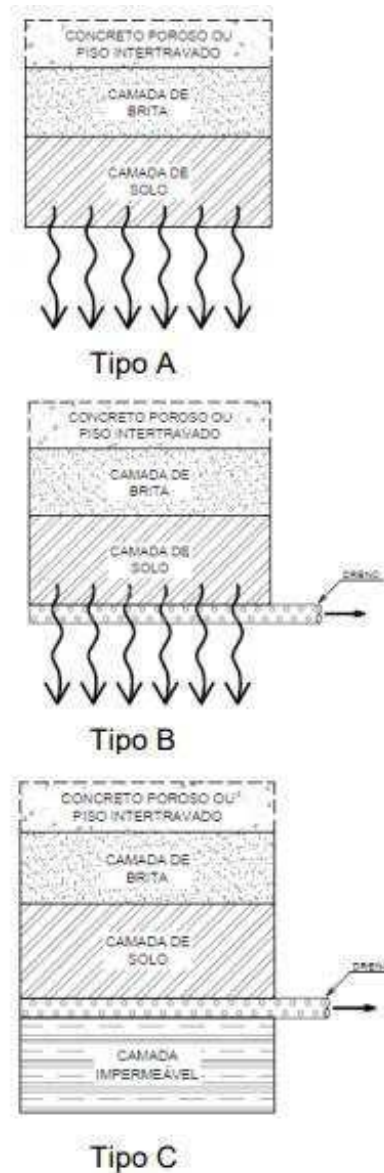
- Redução da taxa de escoamento superficial;
- Possibilidade de filtração de poluentes;
- Possibilidade de recarga do lençol freático;
- Manutenção ciclo natural da água do local.

Por outro lado, destaca-se as seguintes limitações desse sistema:

- Possibilidade de colmatação ao longo do tempo;
- Risco de contaminação das águas subterrâneas;
- Necessidade de mão-de-obra especializada para a construção e manutenção;
- Necessidade de manutenção periódica;
- Alto custo para reparar colmatações.

A Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2011) e a Construction Industry Research and Information Association - CIRIA (2015) classificou os pavimentos permeáveis de acordo o fluxo hidráulico, em: tipo A (infiltração total no solo); tipo B (infiltração parcial no solo) e tipo C (sem infiltração no solo), Figura 3.

Figura 3: Classificação de pavimentos permeáveis.



Fonte: CIRIA, 2015

A taxa de infiltração é definida como a quantidade de água que percola uma unidade de área da superfície de solo, por unidade de tempo. Para um solo homogêneo inicialmente seco, este parâmetro tende a decrescer com o tempo, atingindo o valor constante denominado capacidade de infiltração (LIBARDI, 2012).

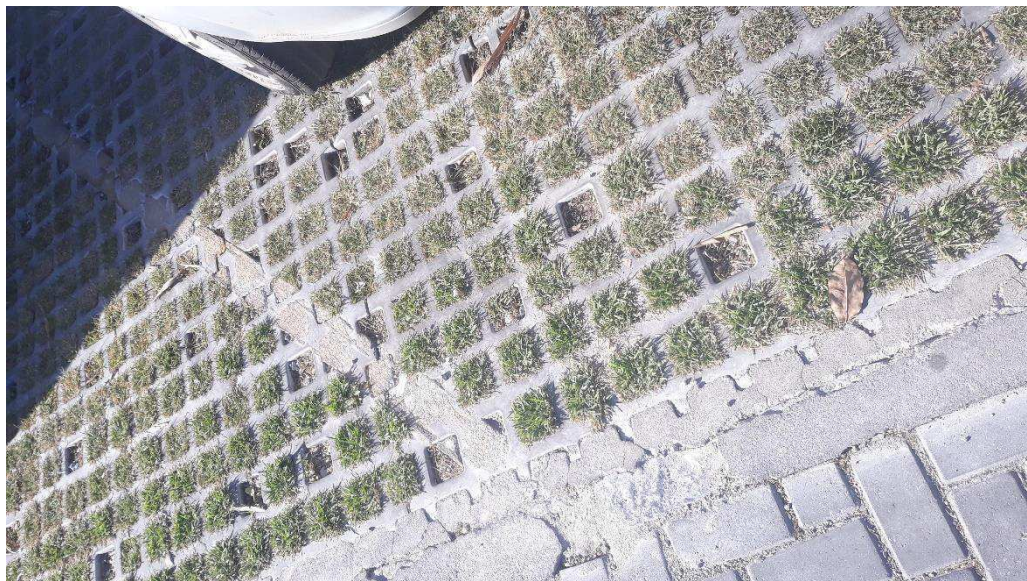
2.5 Cobogramas

Cobogramas, ou pisogramas, são blocos de concreto vazados com furos onde é inserida grama. Normalmente é utilizado em estacionamentos, pois além de contribuir com a melhora na drenagem faz parte do paisagismo do local. Visto na Figura 4.

Dentre as vantagens do uso do cobograma pode-se citar:

- Instalação simples;
- Causa melhorias na drenagem do local;
- Alta durabilidade, suporta movimentação de pessoas e automóveis;
- Versátil e embeleza o local;
- Uso imediato após instalação;
- Custo relativamente baixo para o que se propõe fazer.

Figura 4: Imagem de um cobograma.



Fonte: Autor, 2019.

2.6 Blocos intertravados

Bloco intertravado é um pavimento formado por blocos de concreto intertravados que se assenta sobre um colchão de areia. Os blocos não se deslocam quando solicitados por causa do travamento que faz com que as cargas sejam distribuídas e resistidas em conjunto. São utilizados na pavimentação de ruas, calçadas, estacionamentos, etc. Visto na Figura 5.

Vantagens de sua utilização:

- O material pode ser reaproveitado, o que reduz a geração de entulho;

- Fácil instalação;
- Uso imediato após seu assentamento;
- Contribui para a diminuição do escoamento superficial do local;
- Longa vida útil;
- Demanda menos base e sub-base para compatibilizar as deformações.

Figura 5: Superfície de blocos intertravados



Fonte: Autor, 2019.

2.7 Experimento com sistemas sustentáveis de drenagem

Com o intuito de quantificar e qualificar a eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, e consequente aumento na taxa de infiltração, foram realizados alguns testes com o mesmo.

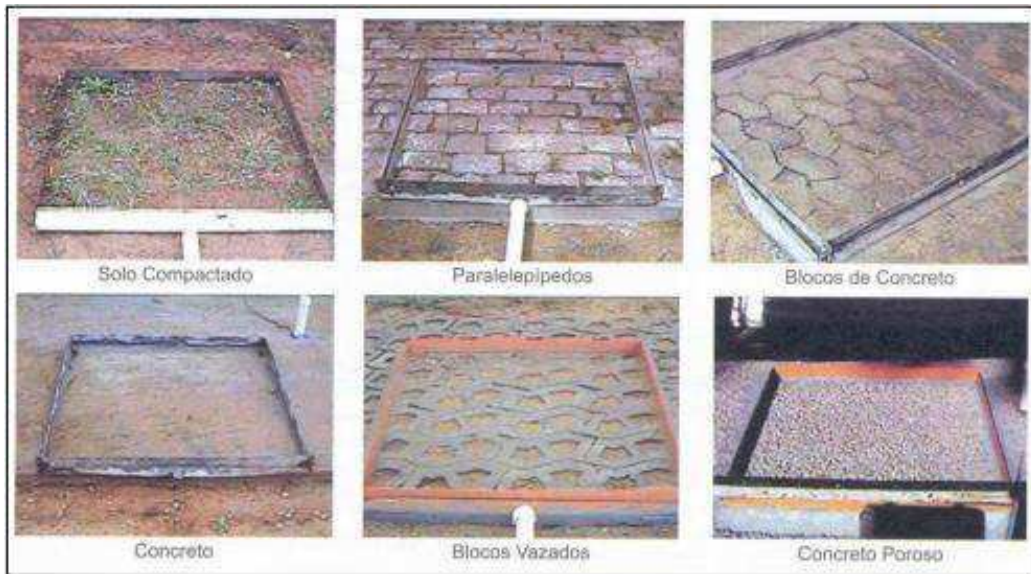
Araújo et al. (2000) utilizaram um simulador de chuvas para comparar os valores de escoamento superficial em diferentes superfícies utilizadas na pavimentação.

Foram elas:

- (i) Solo compactado;
- (ii) Concreto convencional;
- (iii) Pavimento de paralelepípedo e juntas de areia;
- (iv) Pavimento com blocos de concreto e juntas de areia;
- (v) Blocos de concreto vazados, preenchidos com areia;
- (vi) Concreto poroso.

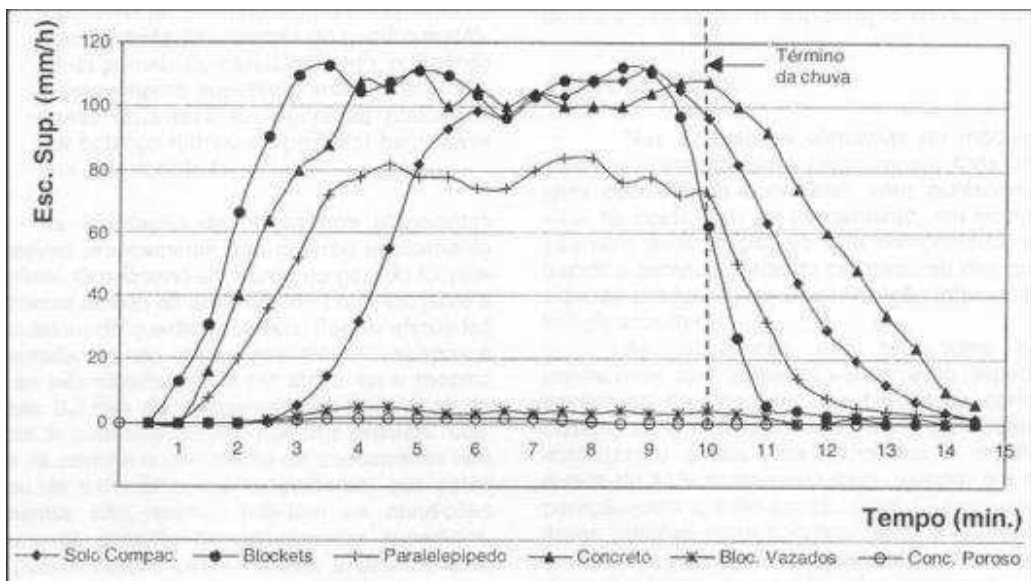
Foi utilizado o simulador de chuva em parcelas de 1m² contendo cada uma das superfícies (Figura 6), chegando-se aos coeficientes de escoamento superficial expostos na Figura 7, onde o período de retorno da chuva simulada é de cinco anos. Dentre as superfícies estudadas, o concreto poroso e os blocos vazados apresentaram coeficientes de escoamento superficial de apenas 5%.

Figura 6: Módulos de 1m² utilizados na simulação do escoamento superficial.



Fonte: Araújo et al., 2000

Figura 7: Escoamento superficial nas superfícies ensaiadas, para chuva com período de retorno de 5 anos.



Fonte: Araújo et al., 2000

2.8 Storm Water Management Model – SWMM

Os softwares em geral existem para facilitar a vida das pessoas flexibilizando processos. Na área de recursos hídricos não é diferente pois existem diversos softwares que simulam ou modelam processos do ciclo hidrológico, como é o caso do Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana – SWMM), da U. S. Environmental Protection Agency (US EPA), bastante utilizado para modelar os processos hidrológicos em áreas urbanas e assim auxiliar os projetistas e tomadores de decisão sobre melhores alternativas de tratamento das águas urbanas. (ROSSMAN, 2008)

O SWMM é um modelo chuva-vazão, utilizado para gerir a drenagem urbana, que simula quantidade e qualidade do escoamento superficial, principalmente em áreas urbanas. Pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, para uma simulação contínua de longo prazo, bem como para a drenagem de águas residuais.

Desde a sua criação, esse modelo é utilizado em vários de estudos hidrológicos. Entre suas aplicações podem-se mencionar:

- Concepção e dimensionamento da rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção, para o controle de inundações e manutenção da qualidade das águas;
- Demarcação de zonas naturais de inundação;
- Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordo de sistemas de drenagem;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem;
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes;
- Análise da eficácia das boas práticas de manejo para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

3. ÁREA DE ESTUDO

Campina Grande é um município brasileiro no estado da Paraíba, cuja distância para a capital, João Pessoa, é de 112 km. Situa-se no agreste paraibano, entre a Zona da Mata e o sertão em uma altitude de 500 metros acima do nível do mar (Prefeitura Municipal de Campina Grande, 2019).

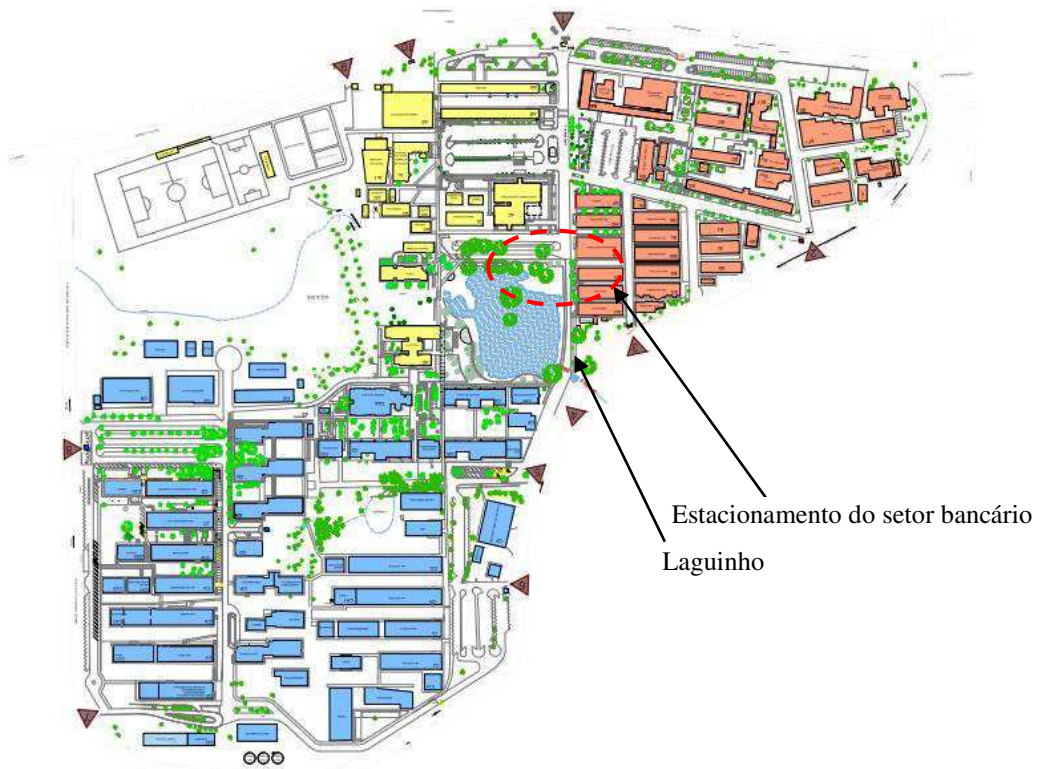
Campina Grande possui um clima considerado tropical com estação seca, com chuvas concentradas nas estações do outono e do inverno, de março a agosto. No verão, as temperaturas têm máximas de 31 °C e mínimas de 21 °C, já no inverno possui máximas entre 26 °C e 28 °C, e mínimas de 19 °C. O maior acumulado de precipitação em 24 horas foi de 110,1 mm em 17 de julho de 2011. Outros grandes acumulados foram 107,4 mm em 2 de março de 2011 e 105 mm em 10 de abril de 1978. De acordo com estimativas de 2017, sua população é de 410.332 habitantes, sendo a segunda cidade mais populosa da Paraíba. Sua região metropolitana, formada por dezenove municípios, possui uma população estimada em 638 017 habitantes. (WIKIPÉDIA, 2019)

Campina Grande é um importante centro universitário, contando com vinte e uma universidades e faculdades, sendo três delas públicas. Universidade Federal de Campina Grande foi criada a partir Lei Nº. 10.419 de 09 de abril de 2002, após o desmembramento da Universidade Federal da Paraíba. Tem sua origem na década de 1950, quando foram criadas a Escola Politécnica de Campina Grande (1952) e a Faculdade de Ciências Econômicas (1955), momento em que a educação superior dava os primeiros passos na Paraíba. Este período histórico foi responsável pela construção de uma identidade própria do Campus II da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), que motivou, em 2002, o desmembramento e a criação da UFCG (UFCG, 2019).

A UFCG possui atualmente 7 campi universitários, 11 centros de ensino, 77 cursos de graduação, 47 programas de pós-graduação (com 34 mestrados e 13 doutorados), 16.971 alunos na graduação e 3.288 alunos na pós-graduação (2.423 mestrandos e 865 doutorandos), ofertando 4.685 vagas de ingresso na graduação por meio do Sistema de Seleção Unificado (SiSU) (UFCG, 2019).

A área escolhida para analisar a eficiência do pavimento permeável na diminuição no escoamento superficial é o estacionamento situado defronte à agência do Banco do Brasil, cuja localização está ilustrada na Figura 8.

Figura 8: Mapa da UFCG, campus Campina Grande com a localização do setor bancário



Fonte: UFCG, 2019

O estacionamento do setor bancário possui área aproximada de 2700 m², sendo a superfície atualmente dividida entre cobertura de cobograma, bloco intertravado e solo. Neste estudo será estimado o escoamento superficial no estacionamento antes e depois da instalação do pavimento permeável. Antes deste, a superfície era coberta por solo compactado e paralelepípedo (Figura 9).

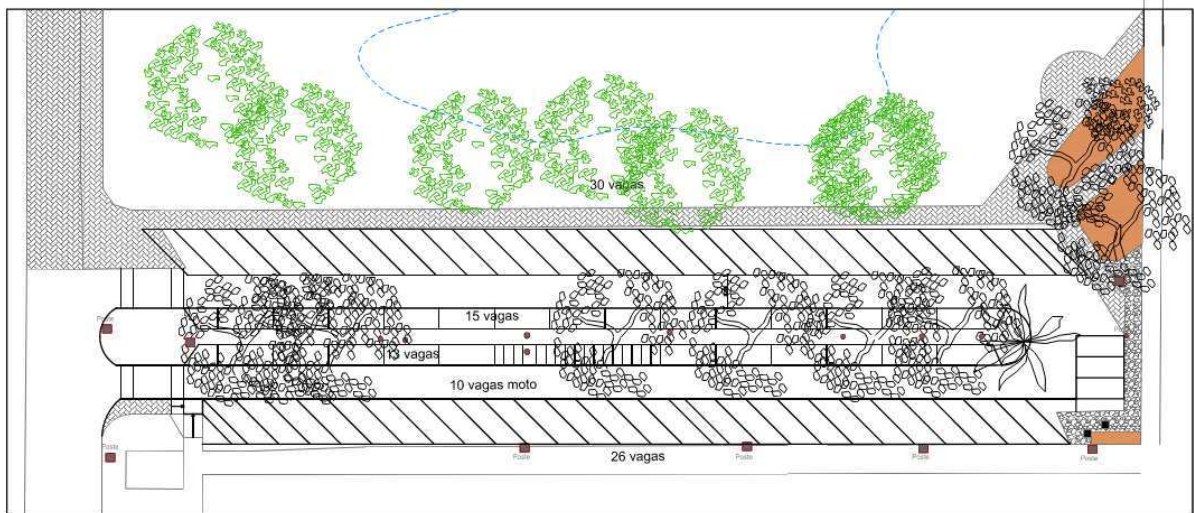
Figura 9: Vista aérea do estacionamento antes da instalação do pavimento permeável.



Fonte: UFCG, 2019.

Com a finalidade de rearranjar as vagas do estacionamento, bem como melhorar a drenagem do local, foi criado o projeto do novo estacionamento (Figura 10), que conta com a implantação de cobogramas e blocos intertravados (Figura 11). Também foi alterado o posicionamento de algumas vagas e adicionadas vagas especiais.

Figura 10: Projeto do estacionamento do setor bancário da UFCG com pavimento permeável.



Fonte: UFCG, 2019.

Figura 11: Piso com blocos intertravados e cobograma.



Fonte: Autor, 2019.

Atualmente a drenagem do estacionamento é dividida em 3 partes: uma parte infiltra no pavimento permeável; outra é direcionada à uma boca de lobo no limite do estacionamento (Figura 12); e outra ultrapassa uma parcela rebaixada da passarela e segue para o “laguinho” (Figura 13), sendo a última para o caso crítico de alagamento.

Figura 12: Boca de lobo.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 13: Rebaixamento da passarela.



Fonte: Autor, 2019.

4. METODOLOGIA

Para estudar a eficiência do pavimento permeável acima citado foi feito um sistema semelhante, utilizando os mesmos materiais e para simular chuvas de diferentes intensidades foi utilizado um simulador de chuva.

A metodologia consiste em criar uma superfície com os mesmos materiais da área de estudo, a fim de possuir a maior representatividade possível. Com o auxílio do simulador de chuva determina-se o escoamento superficial a partir de uma chuva de projeto conhecida, o que permitirá atestar a eficiência do uso do pavimento permeável nesse local para a diminuição do escoamento superficial de águas pluviais.

Portanto, vale salientar que tanto o modelo computacional como o ensaio são apenas aproximações do estacionamento real, ou seja, não significa dizer que o estacionamento irá ter exatamente o mesmo comportamento desses modelos. Figuras 14 e 15.

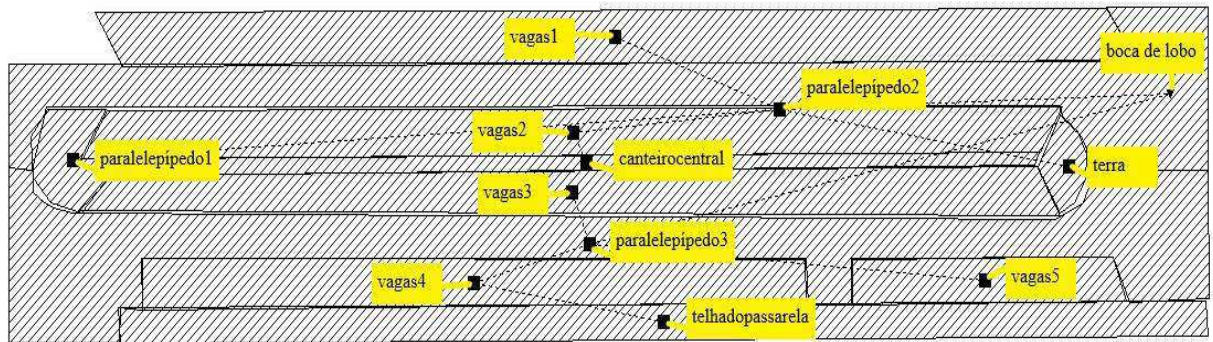
4.1 Modelo computacional

Com a intenção de comparar o comportamento do escoamento superficial antes e após a introdução do pavimento permeável, será utilizado o modelo chuva-vazão Storm Water Management Model (SWMM).

Para o emprego do modelo SWMM foram considerados dois cenários, um para a condição anterior a instalação do pavimento permeável e outro para a condição atual, com pavimento permeável, onde serão aplicadas chuvas com período de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos, demonstradas a seguir, obtidas a partir do método dos blocos alternados. O modelo gera tabelas e gráficos, pelos quais serão analisados os valores de escoamento superficial.

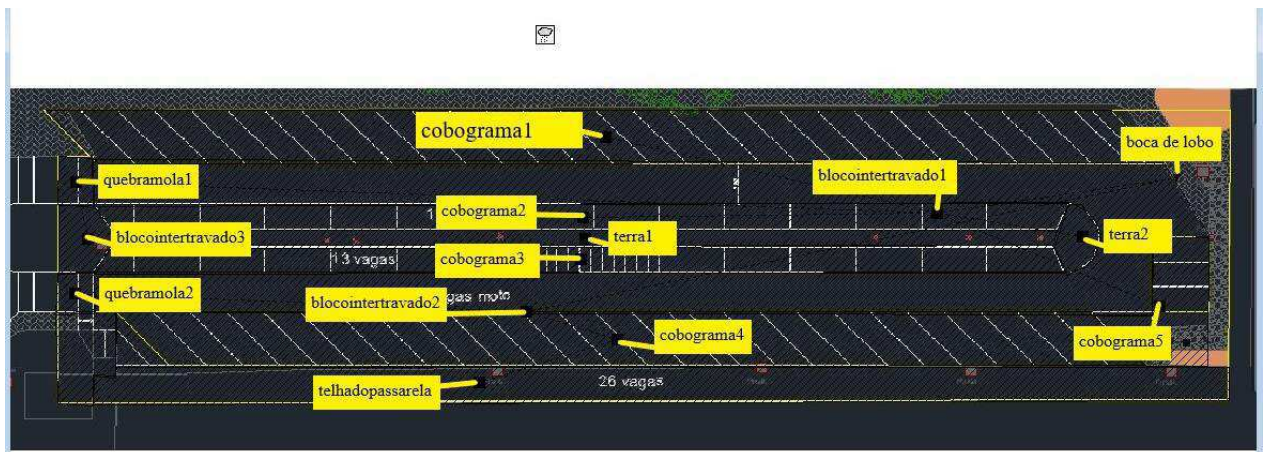
Para a modelagem, a área do estacionamento foi dividida em diversas sub-bacias de acordo com o tipo de superfície, sendo elas demonstradas a seguir, tanto para antes como para depois da reforma do estacionamento.

Figura 14: Representação da área do estacionamento dividida em sub-bacias para a condição anterior a reforma.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 15: Representação da área do estacionamento dividida em sub-bacias para a condição anterior a reforma.



Fonte: Autor, 2019.

A partir dos resultados obtidos será feita a comparação do escoamento superficial em todas as superfícies estudadas para então comprovar, ou não, a eficácia do uso dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial de águas pluviais.

Para a modelagem usando o SWMM foram consideradas as chuvas de projeto de diferentes períodos de retornos (T_r) e que estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1: Série Temporal para os períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos inseridos na modelagem computacional.

Tempo (H:M)	Intensidade (mm/h) para um período de retorno			
	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
00:05	22,96	28,27	33,08	38,72
00:10	26,35	32,44	37,97	44,44
00:15	31,44	38,71	45,30	53,02
00:20	40,13	49,41	57,83	67,68
00:25	59,14	72,81	85,22	99,74
00:30	142,81	175,82	205,78	240,84
00:35	81,49	100,33	117,43	137,44
00:40	47,42	58,38	68,33	79,97
00:45	35,12	43,24	50,61	59,23
00:50	28,61	35,22	41,22	48,25
00:55	24,50	30,17	35,31	41,33
01:00	21,65	26,65	31,19	36,51

Fonte: Autor, 2019.

Vale ressaltar que os resultados obtidos através do software podem não condizer 100% com a realidade. Dentre as diferenças entre o estacionamento real e o modelo no SWMM temos que no modelo computacional há alguns erros de continuidade nos cálculos realizados pelo software e o comportamento da água as vezes pode ser imprevisível. Também temos que os parâmetros inseridos no software são baseados em ensaios que não foram realizados nos materiais inseridos no estacionamento, o que pode não representar a realidade da superfície em questão, dentre eles:

- Parâmetros relacionados com a infiltração para as diferentes superfícies;
- N de manning para escoamento superficial nas variadas áreas.

4.2 Modelo reduzido

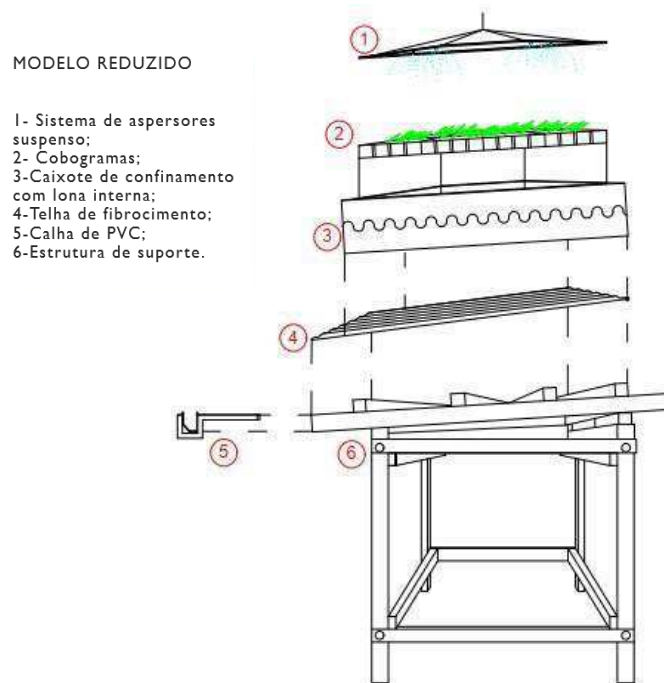
Para simular a cobertura atual do estacionamento foi um modelo reduzido com 2,3 m² e declividade de 3,98%, contendo os mesmos cobogramas do estacionamento real, bem como a grama que foi plantada. Este possui uma camada de solo abaixo da grama. A chuva de projeto foi simulada via um simulador de chuva com as mesmas dimensões do modelo de pavimento.

A estrutura é composta de um esqueleto de madeira para sustentar o peso da superfície de cobogramas (Figura 20), seguida por telhas por onde a água vai escoar. Acima das telhas existe uma lona, para impedir que a água infiltrada vá para as telhas, a área da superfície de estudo é limitada por madeira compensada, nela foi feita vários furos na altura dos cobogramas, por onde a água proveniente do excesso de precipitação (lamina escoada) irá passar, seguindo

para uma calha e direcionada para um reservatório. As telhas, a calha e o reservatório também foram cobertos de lona para que a água do simulador de chuva não caia neles, interferindo assim na leitura dos dados.

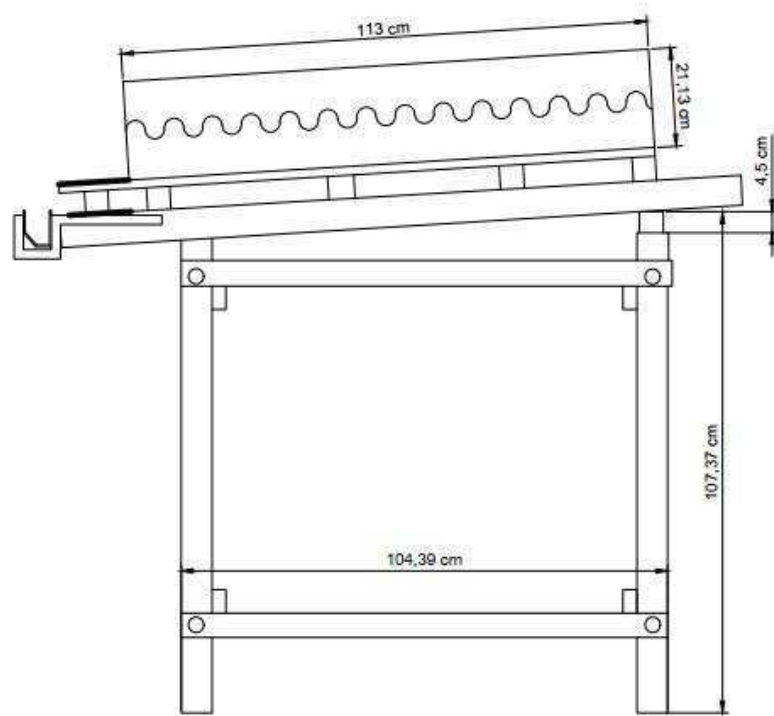
O simulador de chuva foi posto 86 cm acima da superfície, possui quatro aspersores por onde a água é lançada. Ela escoa e, através de furos circulares na madeira que limitam a área da superfície, cai numa calha onde é direcionada para um recipiente onde será medido o volume escoado. A montagem do experimento, bem como seu croqui, realizado utilizando o software AutoCad, versão 2018, licença estudantil, estão representados nas Figura 16, 17 18 e 19.

Figura 16: Esquema de montagem do experimento.



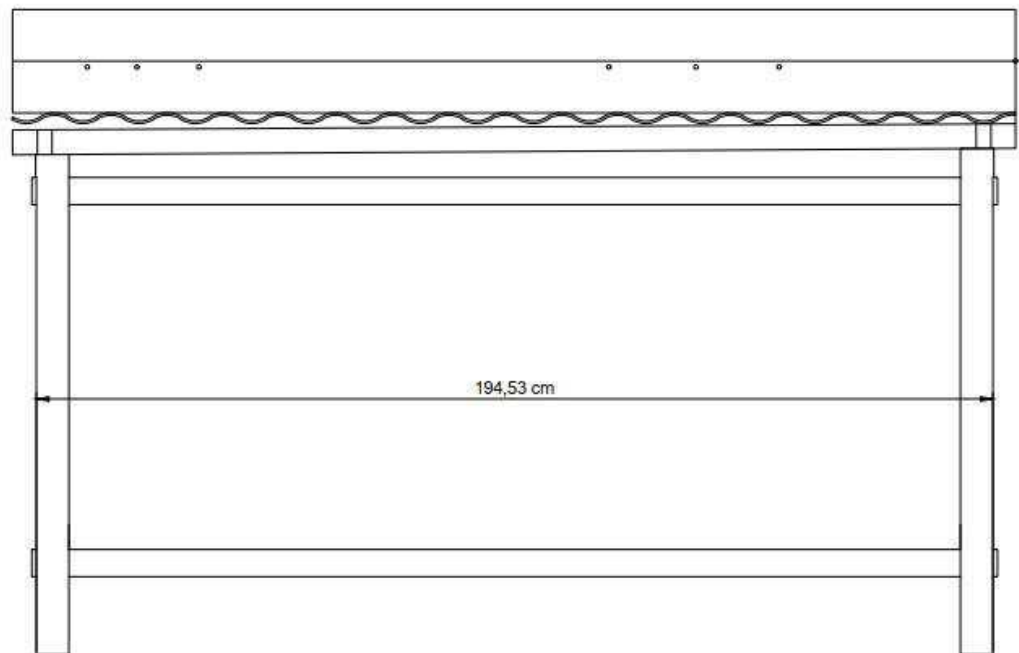
Fonte: Autor, 2019.

Figura 17: Vista lateral.



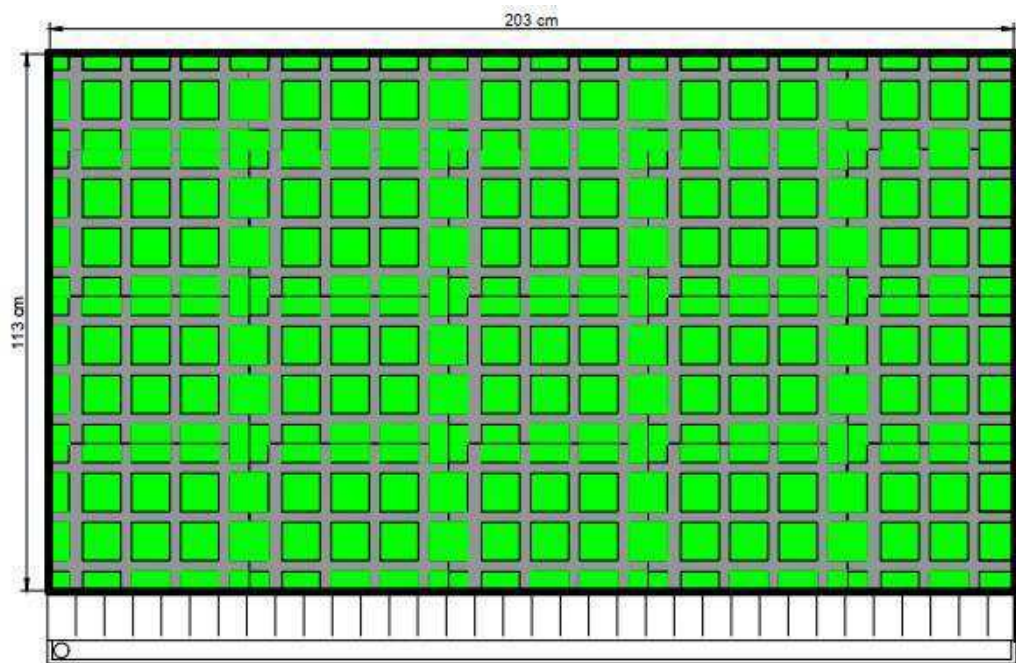
Fonte: Autor, 2019.

Figura 18: Vista frontal.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 19: Vista superior.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 20: Sistema de canos com aspersores para simular uma chuva de projeto.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 21: Colocação dos cobogramas sobre a lona.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 22: Superfície de cobogramas com grama.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 23: Estrutura com telha, calha e reservatório.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 24: Estrutura totalmente coberta por lona.



Fonte: Autor, 2019.

Para se determinar a intensidade da chuva gerada pelo simulador, levando em consideração que parte da água que sai dos aspersores não atinge a superfície de estudo, foi posto um becker de vidro graduado em 3 locais diferentes na superfície, sendo a leitura do volume feita numa proveta graduada de vidro. Demonstrado nas Figuras 25 e 26.

Figura 25: Becker e proveta utilizadas na medição da intensidade da chuva.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 26: Becker posicionado para determinação da intensidade da chuva.



Fonte: Autor, 2019.

O simulador foi ligado por um período de 5 minutos, e tirou-se uma média do volume obtido nas 3 posições do becker, sendo esse valor igual a 115,33 ml. A partir do volume, tempo e área do Becker ($0,013 \text{ m}^2$), foi possível obter uma intensidade igual a 104,31mm/h.

Então, com conhecimento do volume total de água que caiu na superfície e o volume escoado que será captado pode-se obter o coeficiente de escoamento, que é a razão entre a chuva e o escoamento total.

Dentre as diferenças entre o ensaio e o estacionamento pode-se citar:

- Simulador de chuva não sendo exatamente uma chuva;
- A área é muito menor se comparada com a do estacionamento, sendo assim, não se comportará exatamente da mesma maneira;
- A grama no estacionamento está mais bem posicionada nos cobogramas;
- No estacionamento a camada de infiltração é muito maior se comparada com a do ensaio;
- O furo na lona altera o resultado final.

5. RESULTADOS

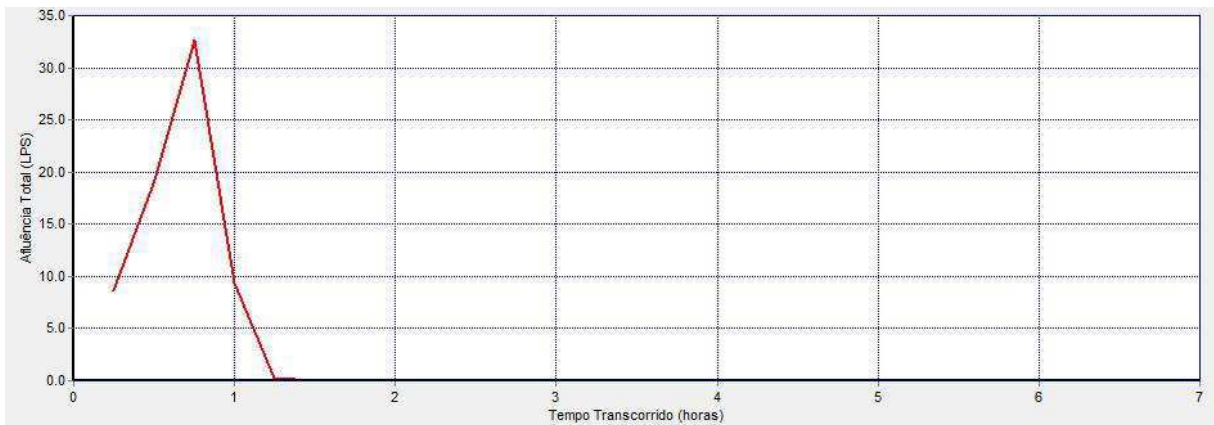
5.1 SWMM

Com o uso do SWMM foi possível obter os dados de escoamento superficial para as duas situações do estacionamento (antes e após a reforma), sendo eles, os valores de vazão na boca de lobo em L/s para as chuvas de projeto de 10, 25, 50 e 100 anos.

Para o modelo antes da reforma:

- 10 anos:

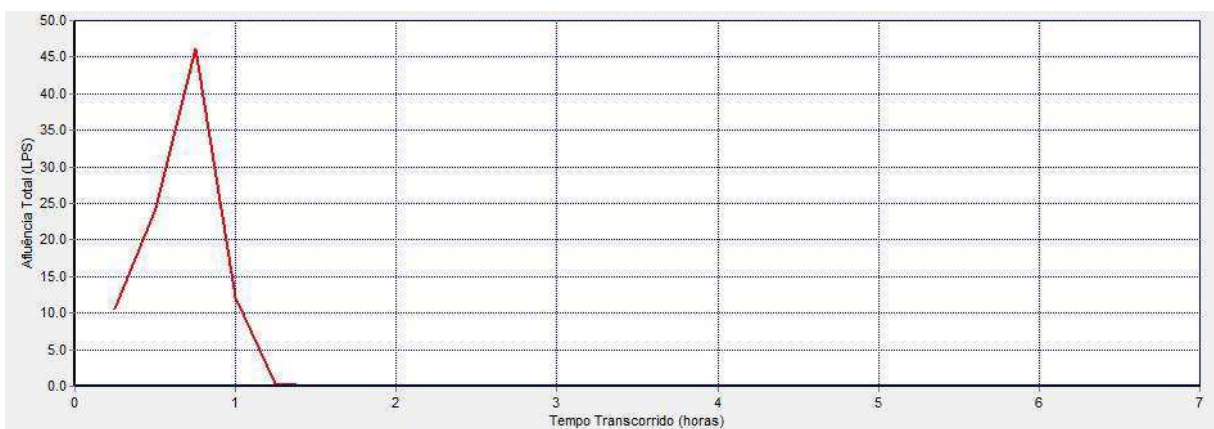
Figura 27: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 10 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 25 anos:

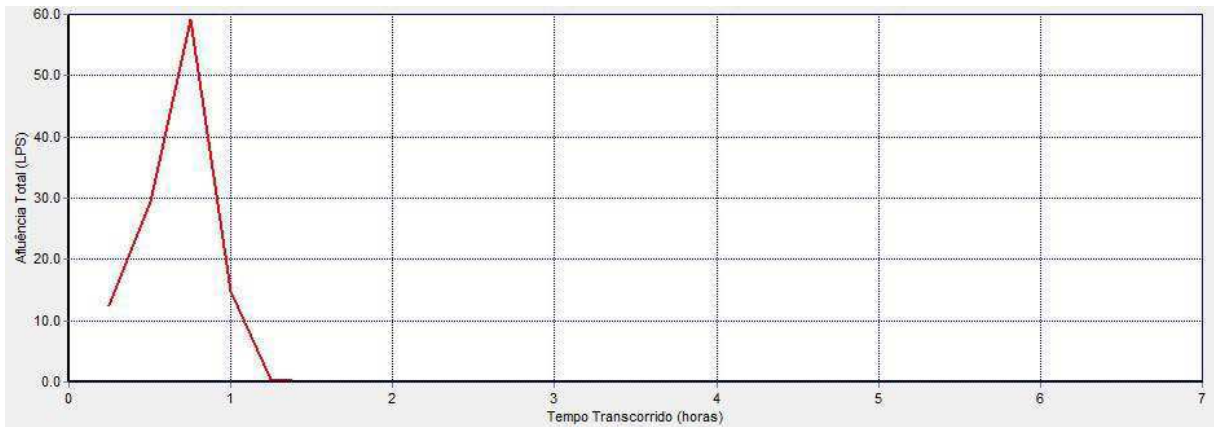
Figura 28: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 25 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 50 anos:

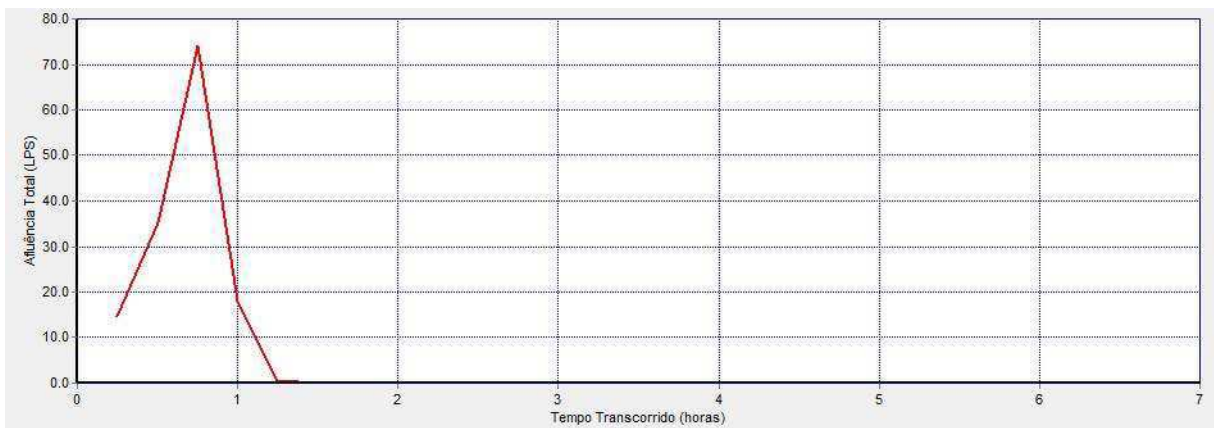
Figura 29: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 50 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 100 anos:

Figura 30: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 100 anos

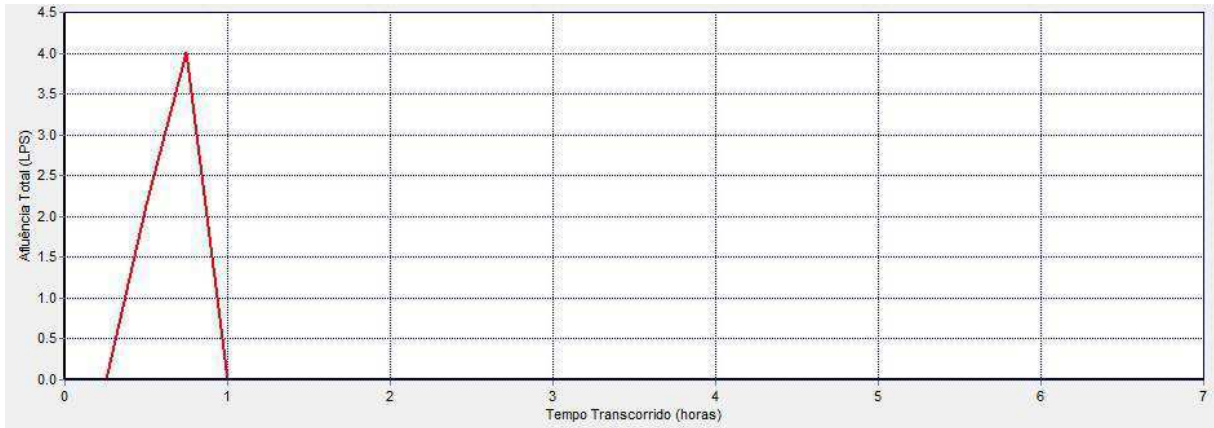


Fonte: Autor, 2019.

Para o modelo após a reforma:

- 10 anos:

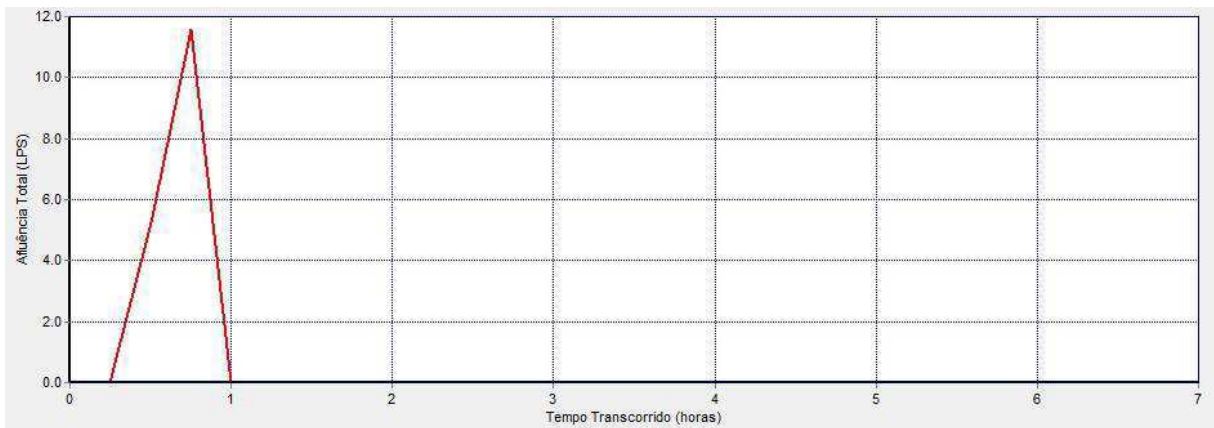
Figura 31: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 10 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 25 anos:

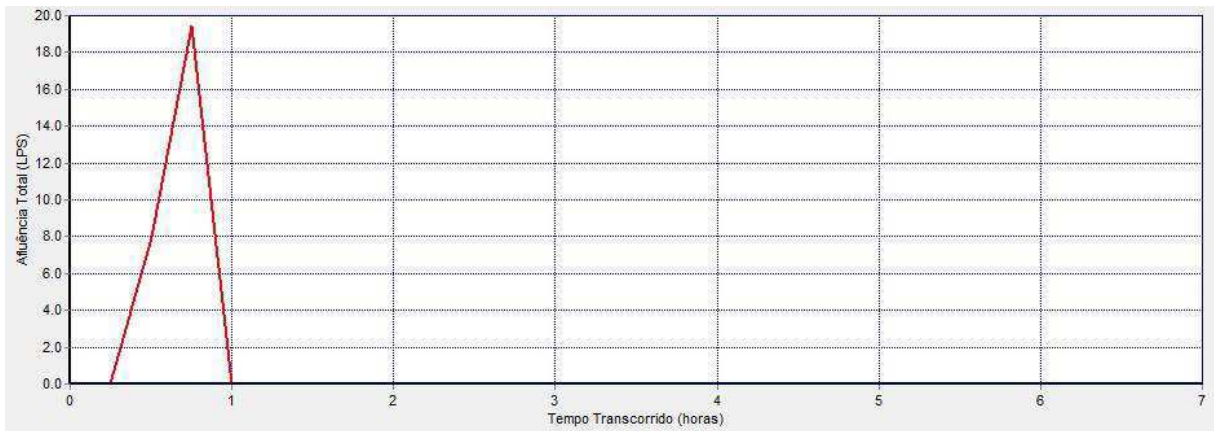
Figura 32: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 25 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 50 anos:

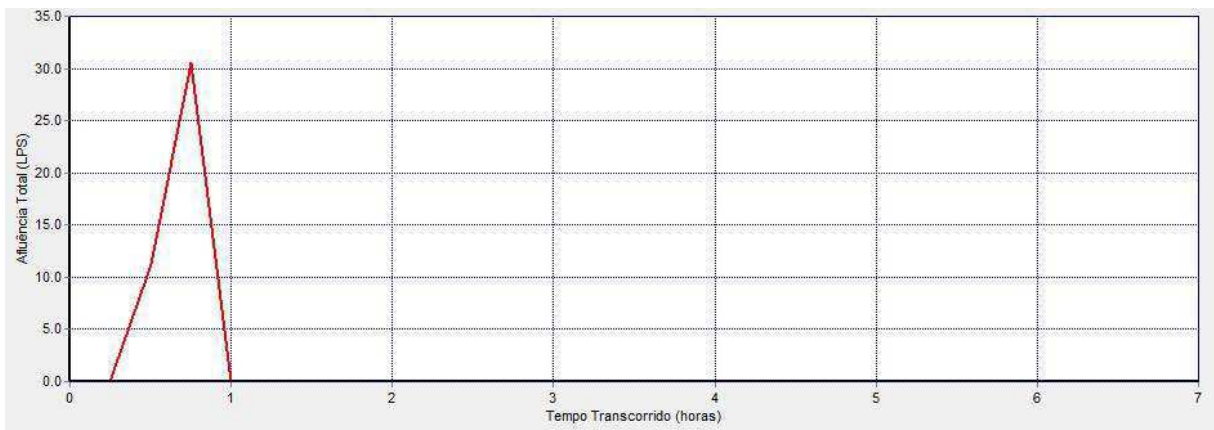
Figura 33: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 50 anos



Fonte: Autor, 2019.

- 100 anos:

Figura 34: Vazão na boca de lobo (L/s) para o período de retorno de 100 anos



Fonte: Autor, 2019.

Abaixo segue a comparação do comportamento da vazão na boca de lobo para os dois modelos computacionais em cada período de retorno.

Tabela 2: Vazão na boca de lobo para Tr:10 anos.

Tr=10 anos		
Horas	Vazão antes (L/s)	Vazão depois (L/s)
00:15:00	8.61	0.00
00:30:00	19.25	2.15
00:45:00	32.64	4.01
01:00:00	9.38	0.00
01:15:00	0.27	0,00
01:30:00	0.04	0,00
01:45:00	0.01	0,00
02:00:00	0.01	0,00
02:15:00	0.00	0,00

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 3: Vazão na boca de lobo para Tr:25 anos.

Tr=25 anos		
Horas	Vazão antes (L/s)	Vazão depois (L/s)
00:15:00	10.62	0.00
00:30:00	24.26	5.23
00:45:00	46.18	11.59
01:00:00	12.24	0.00
01:15:00	0.33	0,00
01:30:00	0.04	0,00
01:45:00	0.01	0,00
02:00:00	0.01	0,00
02:15:00	0.00	0,00

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 4: Vazão na boca de lobo para Tr:50 anos.

Tr=50 anos		
Horas	Vazão antes (L/s)	Vazão depois (L/s)
00:15:00	12.44	0.00
00:30:00	29.31	7.98
00:45:00	59.11	19.41
01:00:00	14.85	0.00
01:15:00	0.38	0,00
01:30:00	0.04	0,00
01:45:00	0.01	0,00
02:00:00	0.01	0,00
02:15:00	0.00	0,00

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 5: Vazão na boca de lobo para Tr:100 anos.

Tr=100 anos		
Horas	Vazão antes (L/s)	Vazão depois (L/s)
00:15:00	14.57	0.00
00:30:00	35.34	11.21
00:45:00	74.22	30.50
01:00:00	17.94	0.00
01:15:00	0.46	0,00
01:30:00	0.05	0,00
01:45:00	0.01	0,00
02:00:00	0.01	0.00
02:15:00	0.00	0.00

Fonte: Autor, 2019.

Pela análise das vazões na boca de lobo, percebe-se que o emprego do pavimento permeável promove uma considerável redução no escoamento superficial, chegando a ter uma vazão máxima quase 8 vezes menor para o período de retorno de 10 anos. A vantagem continua nos períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos, porém, em menor grau.

Sendo assim, pode-se destacar que os cobogramas e blocos intertravados funcionam melhor para chuvas de menor intensidade, tendo em vista que eles possuem mais tempo para que a água infiltre. Portanto, a superfície após a reforma apresentou uma grande melhoria na diminuição do escoamento superficial.

Em seguida apresenta-se os valores referentes à infiltração e escoamento em cada superfície para os dois modelos e diferentes períodos de retorno.

Para o modelo antes da reforma:

Tabela 6:Dados de infiltração para um Tr=10 anos.

Tr= 10 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
vagas1	46.80	0.00	42.34	5.11	0.109
vagas2	46.80	1.13	42.95	5.65	0.118
vagas3	46.80	0.00	43.07	4.23	0.090
vagas4	46.80	63.40	69.58	41.60	0.377
vagas5	46.80	0.00	41.56	6.44	0.138
telhadopassarela	46.80	0.00	0.00	47.12	1.007
paralelepípedo1	46.80	0.00	0.00	46.91	1.002
paralelepípedo2	46.80	10.33	0.00	57.37	1.004
paralelepípedo3	46.80	19.32	0.00	66.32	1.003
canteirocentral	46.80	0.00	43.30	3.97	0.085
terra	46.80	0.00	40.39	6.70	0.143

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 7:Dados de infiltração para um Tr=25 anos.

Tr= 25 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
vagas1	57.62	0.00	49.16	9.58	0.166
vagas2	57.62	2.27	50.07	10.99	0.183
vagas3	57.62	0.00	50.07	8.41	0.146
vagas4	57.62	78.09	74.15	62.56	0.461
vagas5	57.62	0.00	47.90	10.77	0.187
telhadopassarela	57.62	0.00	0.00	58.04	1.007
paralelepípedo1	57.62	0.00	0.00	57.74	1.002
paralelepípedo2	57.62	17.13	0.00	75.03	1.004
paralelepípedo3	57.62	30.34	0.00	88.17	1.002
canteirocentral	57.62	0.00	50.29	8.02	0.139
terra	57.62	0.00	47.04	11.02	0.191

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 8:Dados de infiltração para um Tr=50 anos.

Tr= 50 anos					
Sub-bacia	Preciptação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
vagas1	67.44	0.00	53.66	14.80	0.219
vagas2	67.44	3.75	54.69	17.60	0.247
vagas3	67.44	0.00	54.73	13.66	0.202
vagas4	67.44	91.42	77.26	82.90	0.522
vagas5	67.44	0.00	52.56	15.90	0.236
telhadopassarela	67.44	0.00	0.00	67.95	1.008
paralelepípedo1	67.44	0.00	0.00	67.56	1.002
paralelepípedo2	67.44	25.04	0.00	92.78	1.003
paralelepípedo3	67.44	41.83	0.00	109.49	1.002
canteirocentral	67.44	0.00	55.12	13.25	0.196
terra	67.44	0.00	51.71	16.03	0.238

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 9:Dados de infiltração para um Tr=100 anos.

Tr= 100 anos					
Sub-bacia	Preciptação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
vagas1	78.93	0.00	58.67	21.51	0.273
vagas2	78.93	5.64	59.62	26.09	0.308
vagas3	78.93	0.00	59.64	20.34	0.258
vagas4	78.93	107.02	79.51	107.41	0.578
vagas5	78.93	0.00	57.50	22.37	0.283
telhadopassarela	78.93	0.00	0.00	79.54	1.008
paralelepípedo1	78.93	0.00	0.00	79.06	1.002
paralelepípedo2	78.93	35.13	0.00	114.38	1.003
paralelepípedo3	78.93	55.92	0.00	135.09	1.002
canteirocentral	78.93	0.00	60.01	19.91	0.252
terra	78.93	0.00	56.69	22.50	0.285

Fonte: Autor, 2019.

Para o modelo após a reforma:

Tabela 10:Dados de infiltração para um Tr=10 anos.

Tr= 10 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
cobograma1	46.80	0.00	46.76	0.12	0.003
cobograma2	46.80	2.01	48.74	0.19	0.004
cobograma3	46.80	0.00	46.72	0.21	0.004
blocointertravado2	46.80	7.09	37.08	17.40	0.323
cobograma4	46.80	31.35	74.13	5.15	0.066
telhadopassarela	46.80	0.00	0.00	47.13	1.007
quebramola1	46.80	20.98	0.00	67.98	1.003
quebramola2	46.80	0.00	0.00	46.97	1.004
blocointertravado3	46.80	0.00	35.90	11.12	0.238
cobograma5	46.80	0.00	46.73	0.19	0.004
blocointertravado1	46.80	2.99	37.10	13.03	0.262
terra1	46.80	0.00	43.18	4.12	0.088
terra2	46.80	0.00	40.39	6.70	0.143

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 11:Dados de infiltração para um Tr=25 anos.

Tr= 25 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
cobograma1	57.62	0.00	56.21	2.65	0.046
cobograma2	57.62	4.05	59.76	2.99	0.049
cobograma3	57.62	0.00	55.64	3.02	0.052
blocointertravado2	57.62	16.54	41.46	32.93	0.444
cobograma4	57.62	38.61	84.86	12.26	0.127
telhadopassarela	57.62	0.00	0.00	58.05	1.007
quebramola1	57.62	32.61	0.00	90.44	1.002
quebramola2	57.62	0.00	0.00	57.80	1.003
blocointertravado3	57.62	0.00	40.56	17.28	0.300
cobograma5	57.62	0.00	55.72	2.99	0.052
blocointertravado1	57.62	8.78	41.66	24.93	0.375
terra1	57.62	0.00	50.02	8.28	0.144
terra2	57.62	0.00	47.04	11.02	0.191

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 12:Dados de infiltração para um Tr=50 anos.

Tr= 50 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
cobograma1	67.44	0.00	63.62	5.21	0.077
cobograma2	67.44	6.63	67.82	7.07	0.095
cobograma3	67.44	0.00	63.44	5.56	0.082
blocointertravado2	67.44	26.49	44.76	49.68	0.529
cobograma4	67.44	45.20	94.04	19.96	0.177
telhadopassarela	67.44	0.00	0.00	67.96	1.008
quebramola1	67.44	44.88	0.00	112.55	1.002
quebramola2	67.44	0.00	0.00	67.63	1.003
blocointertravado3	67.44	0.00	43.77	23.78	0.353
cobograma5	67.44	0.00	63.56	5.53	0.082
blocointertravado1	67.44	15.21	44.79	38.20	0.462
terra1	67.44	0.00	54.82	13.56	0.201
terra2	67.44	0.00	51.71	16.03	0.238

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 13:Dados de infiltração para um Tr=100 anos.

Tr= 100 anos					
Sub-bacia	Precipitação total(mm)	Afluência total(mm)	Infiltração total(mm)	Runoff total(mm)	Coefficiente de Runoff
cobograma1	78.93	0.00	71.25	8.83	0.112
cobograma2	78.93	9.91	77.16	13.16	0.148
cobograma3	78.93	0.00	70.79	8.72	0.110
blocointertravado2	78.93	38.65	47.27	70.47	0.599
cobograma4	78.93	52.91	103.97	29.37	0.223
telhadopassarela	78.93	0.00	0.00	79.55	1.008
quebramola1	78.93	60.98	0.00	140.15	1.002
quebramola2	78.93	0.00	0.00	79.14	1.003
blocointertravado3	78.93	0.00	46.75	32.31	0.409
cobograma5	78.93	0.00	70.84	8.75	0.111
blocointertravado1	78.93	24.22	47.50	55.86	0.542
terra1	78.93	0.00	59.66	20.28	0.257
terra2	78.93	0.00	56.69	22.50	0.285

Fonte: Autor, 2019.

Nesse tópico deve-se dar destaque à comparação entre as superfícies que foram substituídas, ou seja, comparar o comportamento dos cobogramas com do solo compactado e dos blocos intertravados com o paralelepípedo.

Sendo assim, comparando o coeficiente de Runoff das vagas com solo compactado e das vagas com cobograma da mesma área, o valor do cobograma em relação ao solo compactado para a chuva de cada período de retorno respectivamente é:

- 10 anos: 36,33 vezes menor;
- 25 anos: 3,61 vezes menor;
- 50 anos: 2,84 vezes menor;
- 100 anos: 2,44 vezes menor.

O coeficiente de Runoff para a área coberta de paralelepípedo foi igual 1 em todos os casos, tendo em vista sua total impermeabilidade, já para os blocos intertravados é:

- 10 anos: 0,262;
- 25 anos: 0,375;
- 50 anos: 0,462;
- 100 anos: 0,542.

De uma maneira mais geral, comparando-se o balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para cada período de retorno temos os seguintes valores:

Tabela 14: Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=10 anos.

Estacionamento Antes-Tr=10anos			Estacionamento Depois-Tr=10anos		
Balanço Hídrico	Volume ha*m	Altura (mm)	Altura (mm)	Volume ha*m	Balanço Hídrico
Precipitação Total	0.013	46.802	46.802	0.012	Precipitação Total
Perdas por Evaporação	0.000	0.000	0.000	0.000	Perdas por Evaporação
Perdas por Infiltração	0.007	22.861	42.576	0.011	Perdas por Infiltração
Escoamento Superficial	0.007	24.398	4.651	0.001	Escoamento Superficial
Armazenamento Superficial Final	0.000	0.023	0.008	0.000	Armazenamento Superficial Final
Erro de Continuidade (%)	-1.024			-0.926	Erro de Continuidade (%)

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 15: Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=25 anos.

Estacionamento Antes-Tr=25anos			Estacionamento Depois-Tr=25anos		
Balanço Hídrico	Volume ha*m	Altura (mm)	Altura (mm)	Volume ha*m	Balanço Hídrico
Precipitação Total	0.017	57.620	57.620	0.015	Precipitação Total
Perdas por Evaporação	0.000	0.000	0.000	0.000	Perdas por Evaporação
Perdas por Infiltração	0.008	26.078	49.471	0.013	Perdas por Infiltração
Escoamento Superficial	0.009	32.179	8.844	0.002	Escoamento Superficial
Armazenamento Superficial Final	0.000	0.023	0.008	0.000	Armazenamento Superficial Final
Erro de Continuidade (%)	-1.145			-1.220	Erro de Continuidade (%)

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 16: Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=50 anos.

Estacionamento Antes-Tr=50anos			Estacionamento Depois-Tr=50anos		
Balanço Hídrico	Volume ha*m	Altura (mm)	Altura (mm)	Volume ha*m	Balanço Hídrico
Precipitação Total	0.019	67.439	67.439	0.017	Precipitação Total
Perdas por Evaporação	0.000	0.000	0.000	0.000	Perdas por Evaporação
Perdas por Infiltração	0.008	28.227	54.927	0.014	Perdas por Infiltração
Escoamento Superficial	0.012	39.881	13.432	0.003	Escoamento Superficial
Armazenamento Superficial Final	0.000	0.023	0.008	0.000	Armazenamento Superficial Final
Erro de Continuidade (%)	-1.025			-1.376	Erro de Continuidade (%)

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 17: Comparação do balanço hídrico dos dois modelos do estacionamento para um Tr=100 anos.

Estacionamento Antes-Tr=100anos			Estacionamento Depois-Tr=100anos		
Balanço Hídrico	Volume ha*m	Altura (mm)	Altura (mm)	Volume ha*m	Balanço Hídrico
Precipitação Total	0.023	78.930	78.930	0.020	Precipitação Total
Perdas por Evaporação	0.000	0.000	0.000	0.000	Perdas por Evaporação
Perdas por Infiltração	0.009	30.451	60.410	0.015	Perdas por Infiltração
Escoamento Superficial	0.014	49.185	19.310	0.005	Escoamento Superficial
Armazenamento Superficial Final	0.000	0.023	0.008	0.000	Armazenamento Superficial Final
Erro de Continuidade (%)	-0.924			-1.010	Erro de Continuidade (%)

Fonte: Autor, 2019.

Examinando a resposta de todas as superfícies do estacionamento em detrimento das parcelas individuais para os período de retorno nos dois cenários tem-se que, após a reforma, houve uma redução do escoamento superficial nas seguintes proporções:

- 10 anos de período de retorno: 5,25 vezes menor;
- 25 anos de período de retorno: 3,64 vezes menor;
- 50 anos de período de retorno: 2,97 vezes menor;
- 100 anos de período de retorno: 2,55 vezes menor.

Analisando tanto a comparação das áreas isoladas quanto o comportamento do estacionamento como um todo, percebe-se uma redução significativa para as chuvas mais frequentes, visto que as novas superfícies do estacionamento resultaram numa maior infiltração e consequentemente num escoamento superficial menor.

5.2 Simulador de chuva

Visto que o modelo computacional do estacionamento levou 45 minutos para atingir a vazão máxima para a superfície com o sistema de drenagem sustentável, optou-se por realizar uma chuva com duração de 15 minutos para o experimento com os cobogramas, por se tratar de um modelo com área bastante reduzida em comparação com a real.

O modelo reduzido recebeu, via simulador de chuva, uma chuva com intensidade igual a 104,31mm/h, por um período de 15 minutos, ou seja, um total de 59,82 L de água, onde 0 L virou escoamento superficial, sendo assim, o cobograma apresentou uma retenção de 100 % no volume de água que caiu sobre o mesmo.

No decorrer do experimento observou-se que um trecho da lona abaixo dos cobogramas havia furado, sendo assim, o experimento não estava ocorrendo de maneira correta nessa porção de área, visto que uma parcela da área iria necessitar de mais água para saturar e conseqüentemente escoar.

A leitura do volume de saída também estava comprometida, pois a água que vazava via lona caía nas telhas e conseqüentemente no reservatório destinado à medição do escoamento superficial. Tendo em vista o curto prazo para finalização do TCC, não foi possível remontar todo o experimento substituindo a lona por uma mais resistente, o que demandaria muito tempo e trabalho.

Sendo assim, com o intuito de compensar o vazamento aumentou-se a intensidade da chuva no simulador, realizando pequenos furos nos canos que fornecem água para os espessores (Figura 35). Contudo, apesar de terem um pequeno diâmetro, a água lançada via estes furos saiu em jatos. Desta forma, utilizou-se um outro recipiente com 50 cm de diâmetro para captar a chuva por um período de 2,42 min e obteve-se uma chuva com intensidade de 631,36 mm/h, o que é irreal no que se refere a chuva. Entretanto, como um dos objetivos é ver como a superfície se comportava para uma chuva de intensidade extrema, este valor leva a uma rápida saturação da massa de solo que retém a grama no cobograma.

Figura 35: Realização de furos nos canos para aumentar a intensidade da chuva.



Figura 36: Recipiente circular posicionado para medição de nova intensidade de chuva.



Fonte: Autor, 2019.

O primeiro ensaio foi realizado quando toda a superfície estava seca e foi cronometrado o tempo até que houvesse escoamento superficial e para tanto, o modelo reduzido ficou sem receber água por um período de 4 dias, para evaporar a que havia infiltrado durante os testes com o simulador de chuva para simular intensidades menores.

Para a nova intensidade, o lado direito da área apresentou início de escoamento superficial aos 6 minutos de chuva, enquanto o lado esquerdo não apresentou escoamento mesmo após 10 minutos de chuva, sendo assim, o cobograma reteve 72,41 L.

Por outro lado, o ensaio considerando a superfície úmida foi realizado 6 horas após o ensaio partindo com a superfície seca. De modo semelhante a situação anterior, apenas no lado direito da área de estudo observou-se escoamento, tendo seu início com 2 minutos de ensaio. Sendo assim, o cobograma reteve 48,28 L.

Figura 37: Água escoada caindo na telha através dos furos na madeira que limita a área de estudo.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 38: Escoamento superficial observado acima dos cobogramas.



Fonte: Autor, 2019.

Como o experimento não ocorreu de acordo com o que foi idealizado, o seu aproveitamento como tomada de conclusão acerca do comportamento do cobograma no que diz respeito à redução do escoamento superficial é baixo, tendo em vista que ele demonstra uma alteração no resultado devido aos furos na lona. Porém, caso não houvesse os furos na lona e abaixo dos cobogramas existisse uma camada de solo com espessura mais próxima da real, a quantidade de água infiltrada também seria grande, sendo assim, apesar de não ter sido possível quantificar a infiltração, pode-se dizer que o comportamento no estacionamento seria parecido com o observado no experimento.

6. CONCLUSÃO

Apesar das diferenças já descritas entre os modelos (reduzido e computacional) e o estacionamento real, espera-se que o comportamento no estacionamento seja semelhante ao observado nos ensaios e no modelo computacional.

Para a superfície de chão batido pode-se concluir que a retirada da vegetação, bem como a compactação do solo pela passagem dos carros nas vagas contribuíram muito para o alto escoamento superficial, em contra partida, a superfície com cobogramas demonstrou que o uso de vegetação é válido para o controle do escoamento superficial.

A partir da observação das vazões na boca de lobo obtidas através de simulação utilizando o SWMM, bem como do experimento realizado com o simulador de chuva e a superfície de cobogramas, percebe-se que a instalação do pavimento permeável no estacionamento contribuiu positivamente e significativamente para a diminuição de escoamento superficial, portanto, tendo sucesso quanto à melhora na drenagem de águas pluviais.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se em pesquisas futuras repetir o ensaio da maneira correta, com maior controle e proximidade para com as condições do estacionamento, bem como testar uma superfície de blocos intertravados. Recomenda-se também realizar ensaios para obtenção da curva de infiltração e do coeficiente de rugosidade para essas duas superfícies, utilizando os dados para uma modelagem no SWMM mais precisa.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, Ricardo. Notas de Aula da disciplina Sistemas de Drenagem Urbana. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande/PB, Brasil, 2018.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. RBRH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n.3, p. 21-29, 2000.
- CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION (CIRIA). The SUDs manual (C753). p. 968. 2015.
- LENHS UFPB - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/> Acesso em: 03 de julho de 2019.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica de água no solo. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2012. 346p.
- LIMA - QUEIROZ, J. C.; BALABRAM, P. R.; BAPTISTA, M. B. A urbanização e alguns de seus impactos na cidade de Belo Horizonte. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15. 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ABRH, 2003. 15 p.
- PINTO, N. S. et al, "Hidrologia Básica", Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo - SP, 1976.
- Portal da Universidade Federal de Campina Grande – PB. Disponível em: <https://portal.ufcg.edu.br/> Acesso em: 18 de maio de 2019.
- Prefeitura Municipal de Campina Grande. Disponível em: <https://campinagrande.pb.gov.br/> Acesso em: 18 de maio de 2019.
- Campina Grande. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Campina_Grande Acesso em: 18 de maio de 2019.
- SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Goiás, v. 17, n. 2, p. 13-15, 2012.
- TUCCI, C. E. M. Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. In: BRAGA, B. P. F.; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M. J. (orgs.). Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: Ed. UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. p. 155-163. (ABRH Publicações, n. 3).

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de (orgs.). Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. p. 15- 36. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 5).

URBONAS, B. e STAHRE, P. (1993) “Stormwater Best Management Practices and Detention” Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

United States. Department of Defense [USDoD]. 2004. Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.

ROSSMAN, L. A. Storm Management Model, Version 5.0: User’s Manual. Environment Protection Agency. Cincinnati, OH. 2008

JABUR et al.: Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis. RBRH vol. 20 n° 4 Porto Alegre out./dez. 2015 p. 937 – 945.

Bazzo, Janiel A. Horn, Priscila L. Calibração do modelo matemático de infiltração de Horton em pavimento de concreto tipo blocos intertravados. 2017, 69 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2017.