

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISMAEL GOMES MATEUS JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DO CALÇAMENTO
CONVENCIONAL PARA O PAVER QUANTO A ABSORÇÃO, NA
REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO – PARANÁ.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2017

ISMAEL GOMES MATEUS JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DO CALÇAMENTO
CONVENCIONAL PARA O PAVER QUANTO A ABSORÇÃO, NA
REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO – PARANÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO
2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DO CALÇAMENTO CONVENCIONAL PARA O PAVER QUANTO A ABSORÇÃO, NA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO – PARANÁ.

por

Ismael Gomes Mateus Júnior

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h00min do dia 28 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer

(UTFPR)

Prof. Dr. Eudes José Arantes

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que, mesmo sendo deixado de lado às vezes, nas horas mais difíceis sempre me deu forças para continuar.

Aos meus pais, que mesmo longe sempre me apoiaram incondicionalmente, tanto durante a elaboração deste trabalho quanto ao decorrer de toda a minha graduação e as demais fases da vida.

Ao meu irmão, pelos conselhos e apoio em todos os momentos, sempre buscando e esperando o meu melhor.

À minha orientadora professora Paula Cristina de Souza, pelas dúvidas solucionadas na elaboração de todas as etapas do trabalho, assim como nas disciplinas lecionadas com excelente didática, paciência e bom humor que me fizeram ter interesse pelo tema no âmbito profissional.

A todos os meus amigos, pelos momentos de seriedade, parceria e descontração ao decorrer de toda a graduação, os quais espero levar por toda a vida.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus Campo Mourão, por me tornar não só um profissional, mas uma pessoa melhor em todos esses anos.

RESUMO

MATEUS JÚNIOR, Ismael G. **Avaliação do impacto da substituição do calçamento convencional para o paver quanto a absorção, na região central da cidade de Campo Mourão – Paraná.** 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão – 2017.

Com o aumento da taxa de população vivendo no meio urbano a partir de meados do século XX, na maioria das cidades ocorreu um crescimento desordenado e mal planejado pelo poder público, aumentando a taxa de impermeabilização da superfície que adotada com o sistema de gestão de águas em caráter higienista, apenas conduzia as águas precipitadas para o sistema de drenagem e posteriormente para a jusante, causando danos ao leito dos rios devido ao grande volume de água recebido, gerando inundações e prejuízos para o patrimônio público e privado. Nesse sentido, faz-se necessário diminuir na fonte o volume de águas pluviais escoadas para o sistema de drenagem aumentando a permeabilidade do solo através de pavimentos que drenam e armazenam a água precipitada diminuindo a vazão de pico. Sendo assim, esse trabalho teve o intuito de comparar o calçamento convencional com o pavimento paver e pavimento ecológico nas áreas de passeio de uma determinada região do centro da cidade de Campo Mourão – Paraná, verificando a diferença de vazão escoada em cada um dos casos através da equação de intensidade de chuvas intensas obtidas de Fendrich (1998), de Arantes et al (2009) e dos parâmetros fornecidos pelo programa Plúvio 2.1, aliados a utilização do cálculo de vazão pelo método Racional e a mapas obtidos junto a Secretaria de Planejamento do município de Campo Mourão. Dessa forma foi obtido que o paver escoar 13,7 % menos que o pavimento convencional e o pavimento ecológico escoar um volume 63,7% menor da água precipitada, diminuindo na fonte a carga total que o sistema de drenagem precisa receber, evitando prejuízos com a manutenção e ampliação desse sistema, diminuindo o risco de alagamentos na região central do município durante chuvas intensas e prejuízos ao patrimônio público, privado e ao bem-estar da população.

Palavras-chave: Água Pluvial, Pavimentos, Coeficiente de Runoff, Campo Mourão.

ABSTRACT

MATEUS JÚNIOR, Ismael G. **Evaluation of the impact of the substitution of the conventional pavement for the paver regarding the absorption in the Central Region of Campo Mourão City - PR.** 2017. 47 f. Course Completion Work (Bachelor of Civil Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão - 2017.

With the increase of the population rate living in the urban environment of Brazil, which has started on middle of the twentieth century, in most cities there was a disorderly growth and a poor planning by the public power. That problem had increased the rate of the surface waterproofing that was adopted for the water management system, only throwing the water downstream by the drainage system. This action had cause damage to the river bed due the large volume of water, generating floods and damages to the public and private assets. Thereby, it is necessary to decrease the volume of rainwater into the drainage system, a way to do that is increasing the permeability of the soil that can drain and store the rainwater, reducing thus the flow peak. The objective of this work is to compare the conventional pavement with the paver pavement and ecological pavement in the areas of the city of Campo Mourão - Paraná, Brazil, in order to verify the difference of the flow rate in each case through the equation of the rainfall obtained from Fendrich (1998), Arantes et al (2009) and the parameters provided by the program Plúvio 2.1, allied to the use of the Rational method calculation and maps obtained from the Department of Planning of the city of Campo Mourão. In this way, it was obtained that the paver drain 13,7% less and the ecological floor creates a 63,7% smaller rainwater volume, which can reduce the total load to the drainage system, avoiding maintenance damages, expansion of this system, and reducing the risk of floods in the the central area of the city during heavy rains.

Key words: Rainwater, paving, Runoff Coefficient, Campo Mourão.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Divisão Hidrográfica Nacional	23
FIGURA 2: Unidades Hidrográficas do Paraná	24
FIGURA 3- Relação do coeficiente de escoamento (C) na simulação de 100,80 mm/h e 64,20 mm/h.	30
FIGURA 4- Esquema de aplicação de pavimentos intertravados.....	32
FIGURA 5 - Município de Campo Mourão e área do estudo a ser aplicado.....	35
FIGURA 6- Área do estudo aplicado.	35
FIGURA 7: Fluxograma da Metodologia	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Fases do desenvolvimento das águas urbanas.....	16
TABELA 2: Valores dos coeficientes de escoamento.	28
TABELA 3: Resumo dos principais resultados obtidos por Bruno (2011), Moura (2005), Silva (2006) e Castro (2011), citado por GUEDES, 2015.	29
TABELA 4: Vazão máxima e variação entre pavimentos analisados.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 Drenagem Urbana	14
4.1.1 Medidas de controle na drenagem urbana	17
4.2 Caracterização da bacia da região de Campo Mourão	22
4.3 Equação das chuvas	25
4.4 Coeficiente de <i>Runoff</i>	27
4.5 Pavimentos Permeáveis	30
4.6 O método Racional	32
4.7 Software PLúvio 2.1	33
5 METODOLOGIA	34
5.1 Caracterização da bacia de Campo Mourão	34
5.2 Determinação da área de estudo	34
5.3 Análise das equações de intensidade de chuva	36
5.4 Determinação dos coeficientes de escoamento dos pavimentos	36
5.5 Vazões máximas e método racional	37
5.6 Fluxograma da metodologia	37
6 RESULTADOS	39
6.1 Delimitação das áreas	39
6.2 Intensidade de chuva utilizando Fendrich (1998)	39
6.3 Intensidade de chuva utilizando Arantes et al (2009)	39
6.4 Intensidade de chuva utilizando PLúvio 2.1	39
6.5 Determinação das vazões para cada tipo de pavimento	40
6.6 Comparação dos resultados	40
7 CONCLUSÃO	43
8 REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Durante todo o século XX e principalmente após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu uma grande migração da população que vivia nas áreas rurais para os grandes centros urbanos, fenômeno conhecido como urbanização. De acordo com Almeida e Costa (2014, p. 14) “com o processo cada vez mais acelerado de urbanização das cidades, surgem problemáticas que são frequentes em cidades mal planejadas ou quando crescem explosivamente. Em todo o país o saneamento básico tornou-se um gargalo para a administração pública, principalmente quando se trata de drenagem urbana”.

Apesar do crescimento acelerado das cidades, não houve planejamento adequado para acompanhar essa taxa de crescimento e para a criação de medidas adequadas que visassem garantir o escoamento das águas pluviais, redes de captação de esgoto e zoneamento apropriado das regiões habitadas. Para Tucci (2008, p. 99), existe uma visão limitada do que é a gestão integrada do solo urbano e sua infraestrutura e uma grande parte dos problemas são causados pela falta de conhecimento da população e dos profissionais, sua visão setORIZADA do planejamento urbano relacionado com a infraestrutura da água e a falta de estrutura e capacidade gerencial dos municípios com as águas urbanas.

Com o aumento das construções houve um aumento das áreas impermeáveis nos grandes centros urbanos, dessa forma quando ocorrem chuvas de alta intensidade pluviométrica é gerado um grande volume de água que precisa ser escoado pelas tubulações. A prática mais usada pelos engenheiros era a de construir tubulações e canais que pudessem conduzir rapidamente a água precipitada e escoada pela superfície para a jusante dos rios, longe das cidades e evitando problemas com inundações, no entanto apesar de eficiente essa prática acabava levando resíduos sólidos e contaminando os corpos d'água, além do volume excessivo de água destruir os leitos dos rios com a sua grande energia. Essa prática era chamada de medida higienista. (TUCCI, 2008, p.100)

Com o decorrer dos anos e análises dos dados e problemas que essa conduta gerava foram se desenvolvendo ideias e métodos sustentáveis que agissem de forma eficiente sem agredir o meio ambiente.

Chamadas de medidas sustentáveis ou ambientais, essas técnicas visam aumentar o nível de permeabilidade do solo dos grandes centros urbanos através de diversas medidas sem contaminar ou destruir o ambiente. Podemos citar como medidas a construção de parques em áreas ribeirinhas para evitar alagamentos em áreas residenciais causando danos ao patrimônio público e privado e também o uso de pavimentos drenantes que aumentam a capacidade de infiltração do solo nos centros urbanos, diminuindo o volume de água a ser escoada e evitando gastos onerosos com o sistema de drenagem e dissipação de energia no fim do emissário que conduz a água precipitada para os rios. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 28-29)

O aumento cada vez maior das áreas urbanas impermeáveis, resultado da concentração populacional em grandes cidades, justaposto a consequente interferência humana no ciclo hidrológico, tem obrigado o poder público a adotar medidas que buscam a eliminação dos efeitos produzidos pelas chuvas intensas (VIRGILLIS, 2009, p. 1-2).

Com a finalidade de expor a diferença de volume total de escoamento superficial que a adoção de calçamentos ecológicos nas áreas de passeios pode ter quando comparado aos calçamentos tradicionais, neste caso os ladrilhos hidráulicos, este trabalho mostra através da apresentação de conceitos, definições e de alguns métodos que podem ser utilizados como a aplicação de medidas sustentáveis pode afetar diretamente a quantidade de água infiltrada e escoada pelo sistema de drenagem urbana como um todo, evitando gastos onerosos e garantindo o bem estar da população. Com base na literatura de manuais de drenagem, revistas e autores voltados para o tema drenagem urbana, o trabalho busca inspirar, esclarecer dúvidas e orientar os interessados sobre o tema proposto.

O trabalho está estruturado conforme segue: na seção 2 estão dispostos o objetivo geral e os objetivos específicos, a seção 3 apresenta uma justificativa para o tema, na seção 4 encontra-se o referencial teórico para o desenvolvimento do tema, a seção 5 contempla a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho, na seção 6 encontra-se os resultados obtidos e por fim a seção 7 com a conclusão e recomendações sobre o trabalho, seguidas das referências utilizadas para elaboração do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a redução do coeficiente de *Runoff*, dos pavimentos ecológico e pavimento paver comparado com o calçamento convencional na região central da cidade de Campo Mourão – Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento da área de pavimento de calçamento público na região central de Campo Mourão;
- Determinar os coeficientes de *Runoff* para o calçamento convencional, calçamento ecológico e paver;
- Cálculo da vazão de chuva para o calçamento convencional;
- Cálculo da vazão de chuva para o calçamento ecológico;
- Cálculo da vazão de chuva para o calçamento paver.

3 JUSTIFICATIVA

O sistema de gestão das águas urbanas engloba o abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, tendo como metas a saúde e a conservação ambiental. Nos Estados Unidos, a partir da década de 1970 verificou-se que era insustentável continuar as obras de drenagem no conceito higienista, isto é, apenas conduzir as águas pluviais através de leitos canalizados e tubulações, aumentando ainda mais o escoamento em razão da intensa urbanização, desde então procurou-se revisar os procedimentos e utilizar sistemas de amortecimento ao invés da canalização. (TUCCI, 2008, p. 100-101)

Apesar de ainda estar predominantemente na fase higienista, o Brasil vem investindo constantemente no aumento do saneamento básico e drenagem urbana através de programas como o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) que entre os anos de 2007 e 2015 investiu mais de 100 bilhões de reais em obras do setor (PAC, 2016). Entretanto, a maior parte desse investimento ainda é destinada a obras de canalização de corpos d'água e saneamento básico, pouco se investe em drenagem sustentável, que visa amortecer e minimizar a quantidade de água escoada.

Com o crescimento das cidades e aumento das áreas impermeáveis, faz-se necessário a adoção de métodos que visem diminuir o escoamento superficial gerado pelas águas pluviais, que em épocas com índice pluviométrico alto podem causar alagamento, destruição de patrimônios e sobrecarregar o sistema de drenagem existente. A aplicação de pavimentos drenantes ecológicos nas áreas de passeio no lugar dos tradicionais pavimentos pode auxiliar na diminuição do volume total de água recebido pelas tubulações, armazenando água e liberando lentamente para o subsolo, evitando altos picos de vazão.

A aplicação do pavimento ecológico visa melhorar a permeabilidade e diminuir o grande volume de água pluvial escoado, amenizando o impacto no sistema de drenagem e evitando alagamentos, garantindo também que a água precipitada seja absorvida pelo solo na fonte e não transportada o mais distante possível, gerando impactos na jusante, prática comum do sistema higienista de gestão das águas urbanas.

A busca por novos métodos que melhorem a relação homem e ambiente é indispensável para garantir uma melhor qualidade de vida e do meio ambiente no futuro. Os engenheiros civis em conjunto com outros profissionais ligados as obras relacionadas à gestão das águas urbanas devem sempre estar atualizados com os novos métodos disponíveis no mercado, procurando soluções práticas, inovadoras e que garantam a melhor qualidade de vida dos beneficiados direta e indiretamente pelas obras.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Drenagem Urbana

A partir da segunda metade do século XIX a população mundial começou a migrar da zona rural para os centros urbanos em busca de empregos e melhor qualidade de vida, aumentando o número de pessoas vivendo em âmbito urbano. Nesse período essa migração se dava a uma taxa mais lenta, aumentando a população das cidades de forma gradativa, o que fazia com que as obras voltadas para a drenagem e o saneamento básico pudessem ser feitas sem maiores problemas pois não havia um aumento significativo da população e da taxa de impermeabilização do solo. (TUCCI, 2008, p. 97)

Até o século XX o maior desafio dos grandes centros urbanos era evitar a proliferação de doenças, principalmente pelas condições sanitárias dos efluentes da população que contaminava suas fontes de abastecimento, com obras que consistiam de canais abertos que conduziam os dejetos diretamente para os corpos d'água, criando condições ideais para proliferação de doenças infecciosas e epidemias. (MATOS, 2003, p. 14-15)

O desenvolvimento urbano se acelerou com a concentração da população em espaço reduzido, produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade natural. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos. (TUCCI, 2008, p. 97)

Com o grande crescimento urbano acontecendo em sua maior parte de forma desordenada vieram também consequências pela falta de estruturação das cidades em zonear adequadamente seus limites como a ocupação de áreas ribeirinhas pela população de baixa renda, o aumento da área impermeável e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial, deterioração das águas superficiais, diminuição da água infiltrada para reabastecimento da bacia, inundações que causam grande prejuízo ao patrimônio público e privado, o aumento dos riscos de acidentes e da propagação de doenças de veiculação hídrica como a leptospirose e outras doenças infecciosas, entre outros.

Até meados do século XX a maior parte das cidades que faziam obras relacionadas a drenagem urbana construíam canais ou tubulações que drenavam os efluentes e enviavam para o emissário a jusante. Segundo Tucci (2008, p. 100), o abastecimento de água de fontes seguras e a coleta de esgoto, com despejo a jusante (sem tratamento) do manancial da cidade, tiveram como finalidade evitar doenças e seus efeitos, mas acabaram transferindo os impactos para jusante. Essa fase é chamada de higienista.

Os sistemas higienistas de drenagem urbana são baseados no rápido escoamento do excesso pluvial, contribuindo para o aumento nos volumes e vazões de água e a diminuição no tempo do escoamento. (KOBAYASHI et al, 2008, p. 2)

O conceito de um sistema higienista é eficaz apenas para conduzir os efluentes até o emissário, mas acarreta diversos problemas como o aumento da vazão e velocidade das águas nos canais, principalmente nos que são canalizados e linearizados, causando um aumento de energia que provocam erosão e assoreamento no leito dos corpos d'água. (TUCCI, 2005, p. 109)

Com o passar dos anos e o crescimento das cidades, a poluição dos rios tornou-se um grande problema (que pode ser visto até hoje em países em desenvolvimento) e algo precisava ser feito para garantir a saúde da população em geral, foi então que em 1970 houve o Clean Water Act (lei de água limpa) dos Estados Unidos junto com outras medidas em outros países desenvolvidos, levando ao tratamento dos efluentes das cidades desses países. Neste mesmo período verificou-se que não era mais possível continuar canalizando os rios e transferindo seus impactos para a jusante, um processo economicamente e ambientalmente insustentável, além desse princípio de drenar a água o mais rápido possível ser errado. Para esse problema foram propostos a implantação de bacias de retenção nos parques e nas cidades com o intuito de armazenar temporariamente a água evitando sua aceleração. Essa fase foi chamada de corretiva ou compensatória. (TUCCI, 2008, p. 100-101)

Segundo Kobayashi et al (2008, p. 2), os compensatórios tentam compensar sistematicamente as consequências da urbanização, não só em quantidade, como também em qualidade, agindo de forma mais integrada ao espaço como um todo, com o urbanismo e com menor impacto ao meio ambiente.

Além disso, a partir de 1990 verificou-se que era necessário mudar a forma de planejar o espaço. Era necessário desenvolver o uso do solo, implementando as

novas construções e preservando as condições ambientais e os caminhos naturais do escoamento e recuperar a infiltração, garantindo a qualidade de vida da população e o bem estar social. Esta foi chamada de fase sustentável ou ambiental. (TUCCI, 2008, p. 101)

Diferentemente da abordagem higienista, ou seja, evacuação rápida dos excessos pluviais por canais e condutos, a drenagem sustentável visa o controle do escoamento superficial o mais próximo o possível do local onde a precipitação atinge o solo, isto é, tem se um controle de escoamento na fonte. A redução no escoamento acontece pela infiltração do excesso de água no subsolo, pela evaporação e evapotranspiração – que devolve parte da água para a atmosfera – e pelo armazenamento temporário, possibilitando o reuso da água ou um descarte lento, após a chuva. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 21)

TABELA 1: Fases do desenvolvimento das águas urbanas.

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até o início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: TUCCI, 2008, p. 101.

O resultado é que a área alterada passa a ter um comportamento similar às condições hidrológicas de pré-desenvolvimento, significando menor escoamento superficial, menores níveis de erosão e de poluição das águas e, conseqüentemente, menores investimentos para mitigação de impactos a jusante. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 21)

No Brasil ocorre a dificuldade em adotar o conceito ambiental devido ao alto custo e a sua difícil implantação, necessitando do conhecimento específico de diversos profissionais trabalhando conjuntamente. Não obstante, o conceito higienista é de fácil aplicação, partindo da ideia de que toda a água circulante deve ir o mais rápido possível para o sistema de captação, evitando desconforto e problemas para a população local, por isso esse é o método mais utilizado até a atualidade. Segundo Tucci (2008, p.101-102), o Brasil infelizmente está na sua grande maioria na fase higienista devido a vários fatores como: má formação profissional, falta de investimentos e planejamento de grande prazo, falta de foco das empresas de saneamento, corrupção para projetos inadequados, entre outros. O resultado é a falta de tratamento de esgoto, transferência de inundação na drenagem e falta de controle dos resíduos sólidos.

4.1.1 Medidas de controle na drenagem urbana

De acordo com o Manual de Drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba (2002, p. 14), é possível classificar de duas formas as medidas utilizadas para o controle de inundações e da drenagem urbana, que são chamadas de medidas estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema e buscam reduzir o risco de enchentes pela implantação de obras que buscam conter, reter ou melhorar a qualidade dos escoamentos. Nesta medida estão envolvidas as construções de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, etc. Já nas medidas não estruturais são propostas ações de convivência com as enchentes ou são estabelecidas diretrizes para reversão ou minimização do problema. Estas medidas envolvem o zoneamento de áreas de inundações associadas ao Plano Diretor Urbano, previsão de cheia, seguro de inundações e legislações diversas. As

medidas não estruturais, se trabalhadas em conjunto com as anteriores garantem significativa minimização dos prejuízos.

4.1.1.1 Medidas estruturais

As medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes. Elas são classificadas em extensivas ou intensivas. As medidas estruturais extensivas agem na extensão de toda a bacia, modificando a relação entre precipitação e vazão mediante intervenções diretas na sua sistematização hidráulico-florestal e hidráulico-agrário, como alteração da cobertura vegetal do solo, que proporciona um retardo nos picos de enchente e controla a erosão da bacia. Já as medidas estruturais intensivas agem numa escala menor, de forma local na bacia, mediante obras que tem o objetivo de controlar as águas como diques, ampliação de seção e corte de meandros d'água, reservatórios, canais extravasores e polders (CORDERO et al, [1999], p. 4-6).

Esse tipo de medida pode ainda ser classificado de acordo com as suas ações, em ações distribuídas ou na fonte, na microdrenagem ou na macrodrenagem.

As ações estruturais distribuídas ou na fonte são aquelas onde o tipo de controle atua sobre o lote, em praças, valas, trincheiras, passeios e telhados armazenadores. O desenvolvimento urbano desordenado cria um aumento das áreas impermeáveis que por sua vez aumenta o escoamento superficial, as medidas de controle na fonte visam aumentar a taxa de infiltração e percolação do solo, garantindo que haja menos escoamento e que o lençol freático possa ser recarregado. Alguns métodos comuns para esse tipo de medida são a criação de trincheiras ou valas de infiltração onde a água escoada fica armazenada por um determinado período até ser infiltrada lentamente pelo solo, a opção por passeios e praças revestidos com pavimentos porosos permeáveis que permitem a infiltração e também a criação de telhados armazenadores temporários, que acumulam a água e pode fazer com que seja ou não reaproveitada no dia a dia. Por sua vez, essas ações podem também danificar construções no subsolo quando a taxa de infiltração for alta e o lençol freático estiver perto da superfície. (MANUAL DE DRENAGEM, 2002, p. 16-17)

Por ações estruturais aplicadas a microdrenagem é possível entender como as bocas de lobo, as sarjetas, os canais de pequenas dimensões e também todo o sistema de condutos criados para conduzir as águas das chuvas que vem das construções, ruas e praças até os emissários.

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou rede primária urbana. No âmbito desse sistema estão os projetos que visam atender projetos de drenagem com risco moderado. Esse tipo de solução acaba transferindo para a jusante o escoamento superficial com maior velocidade, acarretando inundações na extensão da bacia (macrodrenagem). Para evitar que essas ações não causem maiores danos, são criadas bacias de amortecimento como lagos e pequenos reservatórios cuja função é armazenar temporariamente o volume excessivo das águas da chuva, liberando-as lentamente e não transferindo a vazão máxima diretamente para a jusante. Esse tipo de ação tem como vantagem o custo reduzido se comparado a vários controles distribuídos junto com a facilidade de se administrar a construção. O maior problema a ser vencido é quando as obras necessitem ser aplicadas em áreas densamente urbanizadas, exigindo um maior estudo para achar o local adequado, aplicando-se também um custo elevado devido a compra dos terrenos para aquisição da área da construção da obra. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 37)

As medidas estruturais para controle aplicadas a macrodrenagem envolvem em geral uma maior área da bacia hidrográfica, quando mencionado esse termo, as áreas envolvidas são de pelo menos 2 km² ou 200 ha, embora não se deva tomar esse valor como absoluto pois a malha urbana pode ter as mais diferentes configurações. As obras consistem basicamente de construções de canais artificiais, retificação e ampliação dos canais naturais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares de apoio como dissipadores de energia aplicados nos canais, estações de bombeamento e proteções contra erosões e assoreamentos. Essas medidas tem a função da condução final das águas captadas nos estágios anteriores, dando prosseguimento ao escoamento dos efluentes. (TUCCI, 2005, p. 39-40)

No Brasil, a realidade das obras aplicadas na macrodrenagem tem sido basicamente a construção e ampliações de canais já existentes. Com a população de baixa renda ocupando áreas ribeirinhas e o leito maior dos rios, a cada período de retorno de uma grande chuva acontecem inundações que causam grande

impacto e destruição, nesses casos é necessário uma intervenção para retirada dessas famílias da área de risco e aumento do canal em largura e profundidade. Com o passar dos anos, com a falsa sensação que as obras tornaram o canal seguro, ocorre a especulação imobiliária e o entorno do canal é loteado para a área nobre. Com o passar dos anos e o aumento da urbanização à montante, a vazão conduzida pelo canal aumenta e ocorrem novas inundações, dessa vez sem espaço para obras no canal, a não ser aumento da sua profundidade, uma atividade onerosa, pois as paredes do canal também deverão ser reestruturadas. (MANUAL DE DRENAGEM, 2002, p. 17-18)

4.1.1.2 Medidas não estruturais

Segundo o Manual de Drenagem para a Região Metropolitana de Curitiba (2002, p. 19), as ações não estruturais em drenagem urbana abrangem os mecanismos de definição dos princípios básicos, como estes princípios devem ser respeitados e de preparação da sociedade para que eles venham a ser implantados e obedecidos na atualidade e no futuro. De acordo com Kobayashi et al (2008, p. 2-3), as medidas não estruturais, se trabalhadas conjuntamente com as medidas anteriores, podem produzir significativa minimização dos prejuízos. Alguns exemplos de ações não estruturais são a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, o zoneamento das áreas inundáveis, sistemas de alerta e previsão de cheias, seguros contra enchentes e educação ambiental da população.

O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento do Município. Sua principal finalidade é orientar a atuação do poder público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbano e rural na oferta dos serviços públicos essenciais, visando assegurar melhores condições de vida para a população. (PLANO DIRETOR DE VIÇOSA, [2000], cap. 1)

Segundo Dias e Antunes (2010, p. 32), o plano de águas pluviais é uma ferramenta de planejamento que possibilita implantar soluções efetivas de baixo impacto que trazem à região benefícios tangíveis e duradouros.

De acordo com Tucci (2005), para possibilitar a implantação efetiva de medidas sustentáveis de controle de cheias urbanas, é necessário desenvolver o

Plano Diretor de Drenagem Urbana. O plano se baseia em princípios, os principais são:

- Os novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão máxima da jusante;
- O planejamento e o controle dos impactos existentes devem ser elaborados considerando a bacia como um todo;
- O controle dos efluentes deve ser avaliado de forma integrada com o esgotamento sanitário e resíduos sólidos;
- O horizonte de planejamento deve ser integrado ao Plano Diretor da cidade.

As obras construídas à montante devem estar de acordo com a legislação do Plano Diretor e já contar com elementos que façam a retenção, diminuam a vazão de pico e façam a infiltração das águas pluviais.

Segundo Dias e Antunes (2010, p. 33), é recomendável que a comunidade participe da elaboração do plano para que possa entender seu funcionamento e a sua importância, além de dar sugestões para melhorias e assim, se empenhar em sua realização. O governo tem o dever de fornecer educação ambiental para a conscientização de toda a população que convive e se beneficia com as melhorias.

Uma forma interessante de garantir a proteção dos moradores da região da bacia que estejam em áreas que são consideradas de risco é a criação de um sistema de alerta e prevenção aliado a Defesa Civil, que funciona basicamente monitorando em tempo real os diversos dados da bacia como índice pluviométrico, geológico (encostas) e hidrológico. Ao entrar numa situação de risco, a Defesa Civil é acionada e toma as providências cabíveis a situação para garantir a segurança da população. (KIM et al, 2012, p. 4)

A calha menor e a várzea inundável dos rios devem ser regulamentadas dentro do zoneamento urbano para que seja vetado qualquer tipo de construção. Em áreas onde ocorrem inundações eventuais poderão ser permitidas a construção de áreas destinadas a recreação como parques e quadras esportivas, que não sofrem muitos prejuízos caso sejam inundados. É importante que todas as áreas de domínio público sejam utilizadas pois qualquer área livre será invadida. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 33)

Em alguns casos de intensa urbanização onde não seja possível realizar a transferência dos moradores das áreas de risco deve-se optar por fazer seguros contras as enchentes para garantir a reparação dos danos e prejuízos aos atingidos.

A educação ambiental é imprescindível para garantir uma maior taxa de sucesso das medidas aplicadas, visando conscientizar o cidadão de que é possível harmonizar os espaços urbanos com o meio ambiente e que os sistemas de drenagem podem valorizar os córregos naturais e as áreas verdes evitando as inundações. Palestras e campanhas sobre as consequências do depósito de lixo a céu aberto ou nos rios é um modo de conscientizar a população em geral. (MANUAL DE DRENAGEM, 2002, p. 20-21)

Para que ocorra uma uniformidade satisfatória nos projetos de drenagem é essencial a capacitação dos técnicos, engenheiros, arquitetos e demais profissionais envolvidos, junto com a participação da sociedade com críticas e sugestões, garantindo harmonia e o aproveitamento máximo tanto do ponto de vista do projeto quanto do uso dele pela população. O mercado está repleto de profissionais que buscam apenas soluções estruturais para os problemas de drenagem sem considerar os impactos que serão causados na jusante, para isso, é preciso que os núcleos de graduação e pós graduação se voltem para a importância da situação e formem profissionais que estejam aptos a considerar os diversos fatores que envolvem a qualidade de um projeto de drenagem. (TUCCI, 2008, p. 99)

É importante ressaltar que a confecção de leis, normas e procedimentos são ações não estruturais, mas seus conteúdos podem estar baseados em efeitos de obras estruturais (medidas de controle). Por exemplo, se um princípio a ser obedecido é a não transferência das enchentes para a jusante, o disciplinamento do uso e ocupação do solo poderia atuar na redução dos índices de impermeabilização, sugerindo o uso de dispositivos (ações estruturais) de infiltração como pavimentos permeáveis. (MANUAL DE DRENAGEM, 2002, p. 20)

4.2 Caracterização da bacia da região de Campo Mourão

Para Tucci (1997, p. 40), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. Ainda segundo Tucci (1997, p. 40), a bacia hidrográfica é composta de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada pelos cursos d'água que confluem até resultar um leito único.

As bacias hidrográficas podem ter diferentes dimensões e cada bacia pode ser dividida em bacias menores e sub-bacias, analisando corpos d'água individualmente. Geralmente o tamanho ideal da bacia é aquele em que abrange toda a área de um determinado problema.

No Brasil, para melhor orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH delimitou através da Resolução 32/2003 a Divisão Hidrográfica Nacional, composta de doze regiões hidrográficas. De acordo com essa Resolução, uma Região Hidrográfica é o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.



FIGURA 1: Divisão Hidrográfica Nacional

Fonte: Resolução 32/2003 Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (2003, anexo I)

A cidade de Campo Mourão está situada no estado do Paraná e compreendida na Região Hidrográfica do Paraná, que contempla a bacia hidrográfica do Rio Paraná. De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Governo do Paraná e a Resolução 49/2006 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH, para melhor controle e atuação, a bacia é dividida pelo governo do respectivo estado em 12 unidades hidrográficas, que são compostas de bacias hidrográficas, conjunto de bacias hidrográficas ou parte de bacias hidrográficas.



FIGURA 2: Unidades Hidrográficas do Paraná

Fonte: SUDERHSA, 2006.

A cidade de Campo Mourão está situada na Unidade Hidrográfica do Alto Ivaí, que está compreendida na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí. De acordo com a revista das Bacias Hidrográficas do Paraná (2010, p.104) disponibilizada pela Agência Nacional de Águas, a Bacia do Rio Ivaí tem uma área total de 36.540,0 Km², cerca de 19% da área do estado e era habitada por 1.229.767 pessoas de acordo com o IBGE em 2004, aproximadamente 12% da população do estado

naquele ano. A cidade possui 735,3 Km² na Bacia e ocupa 2% de sua área total. A bacia é a segunda maior do estado e está completamente dentro de seus limites.

Segundo o Comitê da Bacia do Alto Ivaí (2012, p. 5), o clima na Unidade Hidrográfica indica clima subtropical com pluviosidade média anual de 1.300 a 1.800 mm, com vazões médias entre 16 e 26 l/s/km². A Unidade Hidrográfica possui 727.741 habitantes com base em dados do IBGE de 2010.

4.3 Equação das chuvas

Para o projeto de diversas obras de Engenharia de Drenagem, é necessário levar em conta a intensidade e o volume da precipitação da região em que a determinada obra será construída. O intuito do conhecimento das alturas precipitadas se deve a prevenção de inundações e segurança da população, além de garantir que as obras de drenagem sejam construídas e aproveitadas com a maior eficiência possível. Para isso faz-se necessário o conhecimento da relação entre as quatro características fundamentais da chuva: intensidade, duração, frequência e distribuição. Essa relação é determinada a partir da análise de dados históricos de postos pluviográficos dispostos pela região a ser analisada. (FENDRICH, 1998)

Para Fendrich (1998), a relação entre intensidade, duração e frequência pode ser representada graficamente ou através de uma equação geral, cuja fórmula é:

$$i = \frac{K \times T_r^m}{(t+t_0)^n} \quad (1)$$

Onde: i =intensidade da chuva máxima (mm/h);

T_r = tempo de recorrência (anos);

t = tempo de duração da chuva (min);

K, t_0, m, n = parâmetros determinados para a estação pluviográfica.

O tempo de recorrência ou de retorno é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico possa se repetir. É fundamental para a avaliação de

sistemas hídricos como reservatórios, piscinões, vertedores, etc. Para obras aplicadas na microdrenagem o tempo de retorno varia de 2 a 10 anos, para a macrodrenagem é utilizado de 10 a 50 anos e para zoneamento de áreas ribeirinhas ou áreas especiais como hospitais é utilizado usualmente um período de 50 anos. (MANUAL DE DRENAGEM, 2002, p. 28)

Os dados são obtidos através dos pluviogramas das séries históricas das estações pluviográficas que pertencem aos órgãos e entidades atuantes na área dos recursos hídricos. (FENDRICH, 1998)

Nem todas as cidades possuem uma equação referente às suas chuvas intensas ou dispõem da relação intensidade-duração-frequência característica, nesses casos é comum a utilização de equações de cidades do ponto de vista climático semelhante. Apesar de haver softwares como o Plúvio 2.1 que interpolam equações, juntamente com estudos e periódicos que buscaram desenvolver uma equação das chuvas para a cidade de Campo Mourão, como o trabalho de Arantes et al (2009), o presente trabalho utilizará a equação das chuvas intensas referente à cidade de Cascavel no estado do Paraná, por ter um clima semelhante e ser usualmente a equação mais utilizada nos projetos, juntamente com a equação proposta por Arantes (2009) para a cidade de Campo Mourão, ainda pouco utilizada no município.

A cidade de Cascavel conta com uma estação pluviográfica cuja entidade operadora é o IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná). Fendrich desenvolveu uma equação baseado em um período de observação de 14 anos, entre 1972 e 1985. A equação para a cidade de Cascavel foi desenvolvida em 1987 e é dada por:

$$i = \frac{1062,92 \times T_r^{0,141}}{(t+5)^{0,776}} \quad (2)$$

Com T_r em anos e a duração da chuva t em minutos, obtendo o resultado da intensidade máxima da chuva em mm/h.

Segundo Arantes et al (2009), a equação de intensidade de chuva relativa ao município de Campo Mourão pode ser dada por:

$$i = \frac{901,51 \times T_r^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad (3)$$

4.4 Coeficiente de *Runoff*

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. É uma fase de extrema importância para o engenheiro pois trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre. Uma parte da precipitação que atinge o solo fica retida em depressões ou como películas em torno de partículas sólidas, outra parte desprezível é utilizada na evapotranspiração. Do excedente de água retida, parte se infiltra no solo e o restante é escoado superficialmente. O escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação após uma chuva intensa e se desloca pelo terreno até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado pelo excesso de precipitação e também pelas águas subterrâneas. (CARVALHO e SILVA, 2006, p.97)

O coeficiente de escoamento superficial, ou escoamento de deflúvio ou ainda coeficiente de *Runoff* é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. O coeficiente de runoff pode ser relativo a uma única chuva ou a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram, como uma média anual, por exemplo. (TUCCI, 2000, p. 61)

O coeficiente de *Runoff* é dado pela equação:

$$C = \frac{\text{Volume Total escoado}}{\text{Volume Total precipitado}} \quad (4)$$

Quando é conhecido o coeficiente de *Runoff* para uma determinada chuva intensa de uma certa duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outras precipitações com intensidades diferentes, desde que tenham a mesma duração. (CARVALHO e SILVA, 2006, p. 97)

O valor do coeficiente de *Runoff* é dado em valores de 0 a 1 e varia de acordo com a declividade do terreno, tipo de solo e o tipo de cobertura (vegetal ou impermeável) do terreno.

Para o pavimento comum, o ladrilho hidráulico, Villela e Mattos (1975) disponibilizam a TABELA 2 com alguns valores de coeficientes de escoamento

superficial para diversos tipos de pavimentos, para as calçadas e ladrilhos, o valor de C varia de 0,75 a 0,85, adotando o valor médio de 0,80.

TABELA 2: Valores dos coeficientes de escoamento.

Natureza da superfície	Valores de C	Média
Telhado perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95	0,83
Superfícies asfaltadas e em bom estado	0,85 a 0,90	0,88
Pavimentações de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85	0,80
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50 a 0,70	0,60
Pavimentações de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50	0,45
Estradas macadamizadas	0,25 a 0,60	0,43
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30	0,23
Superfícies não revestidas, pátios de estradas de ferro e terrenos descampados	0,10 a 0,30	0,20
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e natureza do subsolo.	0,01 a 0,20	0,11

FONTE: Villela e Matos (1975), adaptado.

Para o pavimento do tipo ecológico, Guedes (2015) fez uma avaliação do desempenho hidrológico de diferentes tipos de pavimentos permeáveis encontrados no mercado, comparando com análises feitas por outros trabalhos acadêmicos em pavimentos semelhantes encontrados na literatura. O maior coeficiente encontrado para o pavimento do tipo poroso na literatura pesquisada por Guedes foi de $C=0,27$ e para o pavimento do tipo Paver, denominados blocos de concreto maciço o maior valor foi de $C =0,69$ para Moura e Silva, apresentados na TABELA 3, já na avaliação feita pelo método do próprio Guedes (2015, p.85), disposto na FIGURA 4, foi encontrado um coeficiente de valor 0,29 para blocos porosos. Analisando então os resultados dos diferentes autores, será utilizado o valor de coeficiente de runoff de $C=0,29$ neste trabalho para o pavimento poroso e de $C=0,69$ para o Paver, considerando o pior caso de escoamento para esses tipos de pavimentos.

TABELA 3: Resumo dos principais resultados obtidos por Bruno (2011), Moura (2005), Silva (2006) e Castro (2011), citado por GUEDES, 2015.

Autor	Revestimento	i (mm/h)	Vprec (L)	Vesc (L)	C
BRUNO (2011)	Bloco de concreto maciço	79,0	55,3	12,01	0,21
		121,0	84,7	46,96	0,55
	Bloco de concreto vazado	79,0	55,3	0,65	0,01
		121,0	84,7	19,12	0,23
MOURA (2005)	Bloco de concreto maciço	84,0	50,44	6,77	0,13
		120,0	60,0	41,63	0,69
	Bloco de concreto vazado	156,0	143,0	50,57	0,35
SILVA (2006)	Bloco de concreto maciço	84,0	49,04	25,91	0,53
		120,0	60,05	41,63	0,69
	Bloco de concreto vazado	84,0	28,02	17,98	0,63
		120,0	40,03	30,53	0,76
CASTRO (2011)	Paver I	69,0	155,25	0,0	0,0
		180,0	135,0	26,59	0,19
	Poroso I	69,0	155,25	0,0	0,0
		180,0	135,0	0,0	0,0
	Concregrama I	69,0	155,25	0,0	0,0
		180,0	135,0	0,38	0,0
	Paver II	69,0	155,25	49,11	0,31
		180,0	135,0	120,11	0,89
	Poroso II	69,0	155,25	0,0	0,0
		180,0	135,0	4,02	0,03
	Concregrama II	69,0	155,25	0,0	0,0
		180,0	135,0	0,05	0,0
	Paver III	69,0	155,25	33,50	0,21
		180,0	135,0	48,58	0,36
	Poroso III	69,0	155,25	12,19	0,07
		180,0	135,0	36,70	0,27
	Concregrama III	69,0	155,25	33,35	0,22
		180,0	135,0	32,65	0,24

FONTE: GUEDES, 2015, p.47.

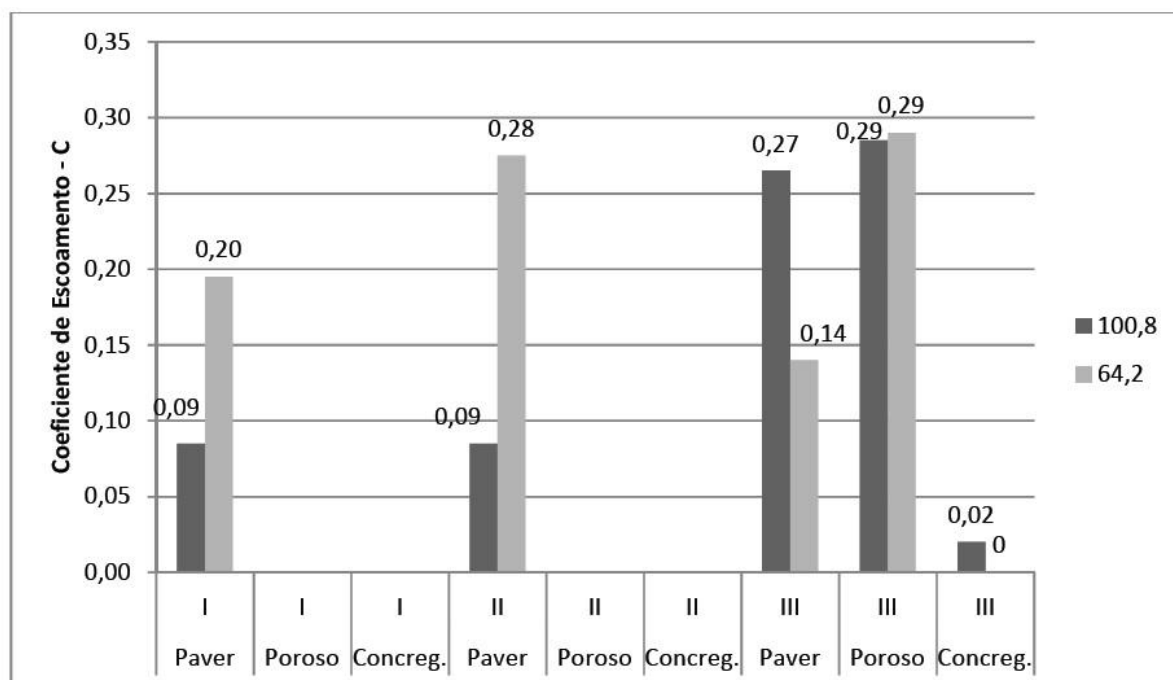


FIGURA 3- Relação do coeficiente de escoamento (C) na simulação de 100,80 mm/h e 64,20 mm/h.

FONTE: GUEDES, 2015.

4.5 Pavimentos Permeáveis

Segundo Dias e Antunes (2010, p. 28), um pavimento permeável possui as mesmas funções a que são destinados os pavimentos comuns, que são resistir aos esforços horizontais e verticais provenientes do tráfego de veículos, com exceção de que em um pavimento permeável tem-se a propriedade de reduzir o escoamento superficial das águas pluviais. No pavimento permeável, parte ou a totalidade da água que escoar é absorvida, armazenada e infiltrada no terreno, reduzindo o pico das cheias e o volume total do escoamento pluvial, reduzindo os impactos causados pela urbanização sobre o sistema de micro e macrodrenagem.

Um pavimento permeável é composto basicamente das mesmas camadas que um pavimento convencional, a diferença está na forma como as camadas são construídas e na sua porcentagem de vazios. Para Virgillis (2009, p. 27), os pavimentos permeáveis são estruturas reservatório e devem suportar as ações provenientes do tráfego e terem condições de armazenar a água pluvial absorvida pelo mesmo.

A utilização desse método ainda se mostra vantajosa no aspecto econômico, já que os custos adicionais de construção e manutenção se comparados com os pavimentos convencionais são geralmente compensados pela redução dos custos da implantação de um sistema de drenagem, nesse caso as vazões geradas são inferiores ao que seriam com um pavimento convencional. (DIAS e ANTUNES, 2010, p. 28)

O seu revestimento é composto de um material drenante, que pode ser um concreto de cimento ou asfalto, ambos porosos e também podem ser aplicados blocos intertravados de cimento, porosos ou não. (Dias e Antunes, 2010, p. 28-29) Nos casos em que é usado o concreto, a mistura deve ser formada com material granular isento de finos, já nos blocos intertravados, a sua junção é formada por areia, pedrisco ou grama aplicada em solo com alto índice de infiltração, além de necessitar de uma estrutura lateral que trave os blocos, geralmente sendo utilizada a própria sarjeta ou guias de concreto. Com esse material drenante a água superficial é rapidamente escoada para as camadas inferiores do pavimento, proporcionando vantagens como a diminuição da aquaplanagem e aumento da aderência dos pneus com o revestimento.

Abaixo do revestimento, normalmente é colocada uma camada de areia média ou pedrisco, seguida por uma manta geotêxtil com o intuito de evitar a migração dos finos superiores para as camadas subjacentes.

A base é construída com um material granular isento de agregados miúdos, sua função é armazenar a água absorvida nos seus vazios e liberá-la lentamente para o subleito, funcionando como um reservatório. Em pavimentos que são permeáveis, a espessura da camada base precisa estar de acordo com a intensidade pluviométrica da região em que está situado, quando o solo tem baixa capacidade de infiltração é necessário a implantação de tubos laterais horizontais que drenem o excesso de água e o conduzam até o sistema de drenagem convencional.

A baixa velocidade de descarga retarda o pico de cheia, minimiza os efeitos da erosão e diminui o custo com o sistema de drenagem. Além disso, quando a água armazenada infiltra para o subleito, contribui para a recarga dos aquíferos aumentando o nível do lençol freático. VIRGILLIS (2009, p. 36)

Por não ter muitos agregados miúdos, a resistência dos pavimentos permeáveis fica em parte comprometida se este for destinado a tráfego pesado,

geralmente sendo aplicado em vias de tráfego leve e áreas com muita impermeabilização do solo como estacionamentos, praças e passeios.



FIGURA 4- Esquema de aplicação de pavimentos intertravados.

FONTE: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2015.

4.6 O método Racional

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez no século XIX, ele apresenta uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). O nome método racional é para contrapor os métodos antigos que eram empíricos e não eram racionais. (PLINIO TOMAZ, 2013)

De acordo com RECESA (2008, p. 38), o método racional é bastante utilizado em projetos de drenagem urbana para transformar chuvas em vazão, sendo recomendável para bacias pequenas, com áreas inferiores a 3 km². O método fornece somente a vazão máxima sem levar em conta o amortecimento da onda de cheia responsável pelo armazenamento.

A equação do método racional pode ser dada por:

$$Q = 166,67 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (5)$$

Onde:

Q= Vazão de pico (volume/tempo) –L/s

C= Coeficiente de Runoff ou deflúvio (adimensional)

i= Intensidade da chuva (comprimento/tempo) – mm/min

A= Área da bacia estudada (comprimento²) – ha

4.7 Software Plúvio 2.1

O software Plúvio 2.1 foi criado em 2006 pelo GPRH (Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa). O GPRH é um grupo voltado ao desenvolvimento de tecnologias e obtenção de subsídios para o adequado planejamento e manejo dos recursos hídricos.

O Plúvio 2.1 agrupa os coeficientes das equações de intensidade da chuva das estações conhecidas a partir de cálculos feitos por diversos autores. As cidades que não possuem estações também podem ter seus coeficientes obtidos por interpolações feitas pelo próprio programa. Também podem ser obtidos coeficientes através da entrada pela latitude e longitude da região analisada.

5 METODOLOGIA

5.1 Caracterização da bacia de Campo Mourão

Após a pesquisa para compreender melhor as áreas de hidrologia e engenharia de drenagem foi necessário caracterizar a bacia em que a cidade de Campo Mourão está compreendida. Após consulta a dados de órgãos nacionais e estaduais, foi esclarecido por meio de mapas e arquivos que a cidade de Campo Mourão está na Região Hidrográfica do Paraná e dentro desta, situa-se na Unidade Hidrográfica do Alto Ivaí, uma das mais importantes do Estado.

Com a bacia de Campo Mourão caracterizada no trabalho e a busca por dados no site do Instituto das Águas do Paraná foi possível analisar a intensidade de chuvas no município nos últimos anos com base nos dados das estações pluviométricas existentes na cidade e geridas pelo instituto, a estação Campo Mourão e a estação Rio da Vargem/Mourão. A cidade possui entre os anos de 2010 e 2016 uma média de 1847,7 mm de chuva ao ano, um pouco acima da média da Bacia do Alto Ivaí, que fica em torno de 1300 mm a 1800 mm por ano.

5.2 Determinação da área de estudo

A região pertencente ao município de Campo Mourão de acordo com o IBGE possui em sua totalidade uma área de 757,875 km². Para análise do estudo foram consideradas apenas as áreas de passeio da região central, no entanto, como a área da região central abrange uma grande extensão do município, foi necessário focar a comparação em uma área específica dessa região.

A área de estudo para o trabalho foi considerada entre os eixos das ruas Pitanga e Panambi e os eixos das avenidas João Bento e Goioerê, formando uma área retangular, em destaque na FIGURA 5.



FIGURA 5 - Município de Campo Mourão e área do estudo a ser aplicado.

FONTE: Google Maps, 2017, adaptado.

Com a área de estudo devidamente delimitada conforme a FIGURA 6, foi obtido junto à Secretaria de Planejamento do município de Campo Mourão o mapa da cidade em arquivo '.dwg', contendo o layout das quadras, ruas e avenidas e suas respectivas dimensões, onde foi calculada a área dos passeios.



FIGURA 6- Área do estudo aplicado.

FONTE: Google Maps, 2017, adaptado.

A área total da região a ser estudada é de aproximadamente 1,842 km², calculada pelo mapa disponibilizado pela Secretaria de Planejamento. A área contempla 88 quadras e tem como área de passeio aproximadamente 0,172 Km², cerca de 9,3% do total.

5.3 Análise das equações de intensidade de chuva

Nas obras do município de Campo Mourão ainda é comumente utilizada a equação de intensidade da chuva relativa à Cascavel ou de Cianorte, municípios próximos que tem um clima parecido com o de Campo Mourão. Neste trabalho serão utilizados 3 tipos de equações de intensidade de chuva, a equação (2) referente a cidade de Cascavel, desenvolvida por Fendrich (1998) e que é mais utilizada, a equação (3) relativa ao município de Campo Mourão desenvolvida por Arantes et al (2009) e a terceira equação será utilizando o software Plúvio 2.1, que fornece parâmetros para a equação de intensidade das chuvas de diversas cidades usando um método de interpolação, onde a equação (1) geral da intensidade das chuvas será analisada com os parâmetros fornecidos para a cidade de Campo Mourão para efeito de comparação dos resultados entre as três fórmulas aplicadas.

5.4 Determinação dos coeficientes de escoamento dos pavimentos

Para a elaboração desse trabalho foram considerados três tipos de pavimentos, o primeiro seria um pavimento mais tradicional e com menor taxa de permeabilidade, neste caso foi usado como referência o ladrilho hidráulico, material comum em passeios nas cidades. O segundo pavimento seria do tipo ecológico com maior taxa de permeabilidade e para esse caso foi considerado blocos intertravados feitos com concreto poroso e o terceiro pavimento seria constituído de pavers tradicionais, compostos de concreto maciço.

Os valores dos coeficientes de deflúvio para cada tipo de pavimento foi retirado de análises feitas por outros trabalhos acadêmicos e livros, tendo em vista que não foi possível realizar ensaios técnicos para obtenção de resultados e que alguns fabricantes de pavimentos ecológicos não informam o valor do coeficiente de escoamento, apenas fornecem que os pavimentos tem uma capacidade drenante de

90% a 100% da água aplicada sobre sua superfície, variando de empresa. Já para os ladrilhos hidráulico, ocorre uma facilidade maior de encontrar o valor de seu coeficiente em livros por se tratar de um material consolidado no mercado, utilizado a muito tempo. Para os pavers de concreto maciço, o coeficiente de escoamento também foi retirado da literatura através de trabalhos de comparação de infiltração.

5.5 Vazões máximas e método racional

Com os dados de intensidade de chuva e os valores do coeficiente de deflúvio determinados para cada tipo de pavimento, será utilizada a equação (5) respectiva a vazão determinada pelo método Racional, efetuada para os três tipos de pavimentos e para os três tipos de intensidade de chuva, totalizando 9 resultados diferentes.

Os resultados serão dispostos em uma tabela para comparação e comentados na seção 6 deste trabalho, demonstrando a diferença de escoamento e o impacto na rede de drenagem urbana se o pavimento dos passeios da área estudada fossem construídos com materiais diferentes dos utilizados tradicionalmente

5.6 Fluxograma da metodologia

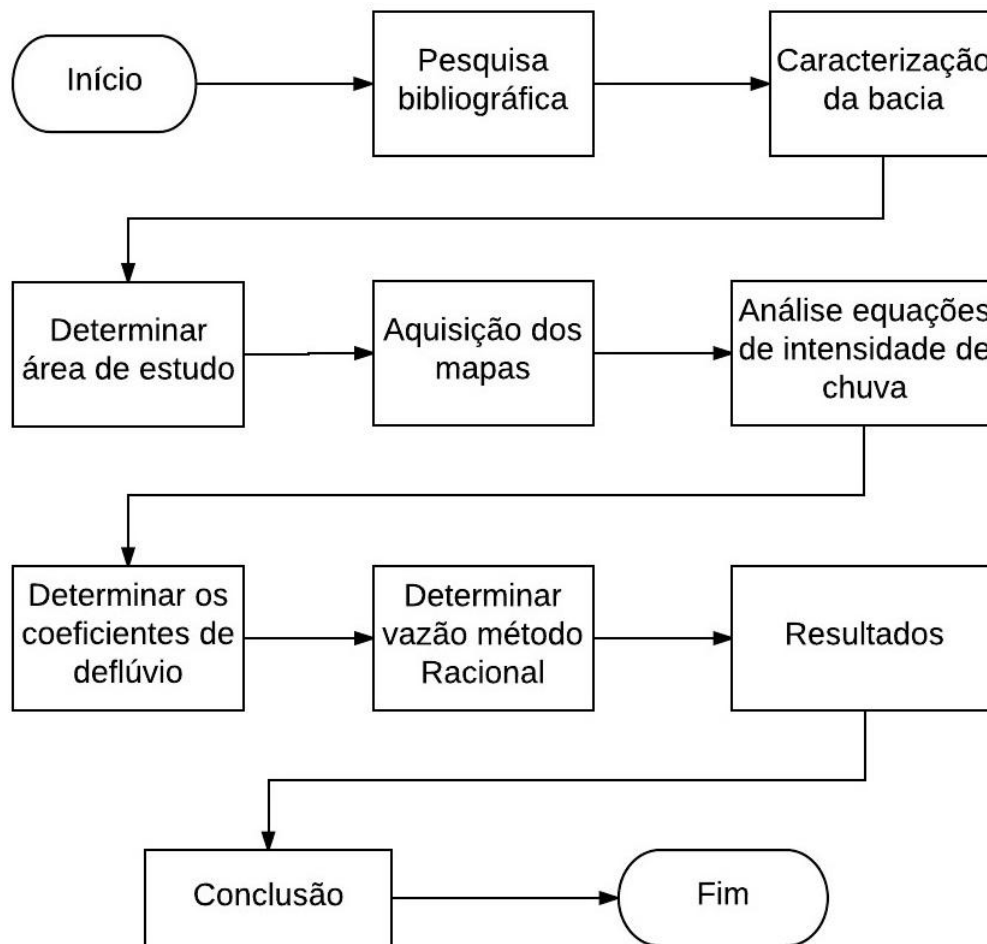


FIGURA 7: Fluxograma da Metodologia

6 RESULTADOS

6.1 Delimitação das áreas

Com o auxílio dos mapas disponibilizados pela Secretaria de Planejamento de Campo Mourão foi possível calcular a área total a ser estudada, totalizando 1,842 Km². Do mesmo modo foi encontrada a área total dos passeios dentro da área total a ser estudada, que somam 0,172 Km² ou 17,21 hectares.

6.2 Intensidade de chuva utilizando Fendrich (1998)

Para a determinação de intensidade de chuva utilizando a equação (2) apresentada por Fendrich (1998) foi utilizado tempo de retorno igual a 20 anos e uma chuva com duração total de 5 minutos. Dessa forma, a intensidade de chuva da equação (2) pode ser definida como 271,61 mm/h ou 4,53 mm/min.

6.3 Intensidade de chuva utilizando Arantes et al (2009)

Para a determinação da intensidade de chuva utilizando a equação (3) apresentada por Arantes et al (2009) também foi utilizado tempo de retorno igual a 20 anos e duração da chuva total de 5 minutos. Assim, a intensidade de chuva da equação (3) pode ser definida como 192,97 mm/h ou 3,21 mm/min.

6.4 Intensidade de chuva utilizando Plúvio 2.1

Do mesmo modo que para a equação (2) e equação (3), o valor a ser adotado para o tempo de recorrência é de 20 anos e a duração da chuva de 5 minutos. Ao determinar a cidade de Campo Mourão no Plúvio 2.1 é feita uma interpolação e temos como parâmetros da equação:

$$K = 2121,079$$

$$m = 0,145$$

$$t_0 = 21,96$$

$$n = 0,850$$

Dessa forma, é possível apresentar a intensidade de chuva aplicada na equação geral (1) como 199,11 mm/h ou 3,32 mm/min.

6.5 Determinação das vazões para cada tipo de pavimento

Considerando como coeficiente de escoamento para o ladrilho hidráulico o valor de $C=0,80$ apresentado por Villela e Mattos (1975) na TABELA 2, o coeficiente de $C=0,29$ para o pavimento ecológico apresentado por Guedes (2015) na FIGURA 3 e o coeficiente de 0,69 para o pavimento Paver obtido de Moura e Silva na TABELA 3, juntamente com as três equações de intensidade de chuva utilizadas no trabalho e a área de 17,21 hectares relativos à área dos passeios, foi possível determinar as vazões máximas para cada tipo de pavimento utilizando a equação (5), com resultados apresentados na TABELA 4.

6.6 Comparação dos resultados

Após o cálculo da intensidade de chuva e da vazão resultante dos passeios na área estudada, aplicado nos dois casos analisados, foi observado a diferença de escoamento devido ao tipo de pavimento considerado. Em todas as situações, conforme observado na TABELA 4, ao analisar a chuva decorrente de 5 minutos, o pavimento ecológico teve uma resultante inferior ao ladrilho hidráulico e ao paver, comprovando que sua aplicação ajuda a reverter os diversos fenômenos decorrentes do aumento da impermeabilização causados pela urbanização.

TABELA 4: Vazão máxima e variação entre pavimentos analisados.

Pavimento		Intensidade de chuva (mm/min)	Vazão (m ³ /s)	Varição (m ³ /s)	Varição (%)
ARANTES et al (2009)	Ladrilho hidráulico	3,21	7,36	-	-
	Pavimento ecológico	3,21	2,67	4,69	63,7
	Paver	3,21	6,35	1,01	13,7
FENDRICH (1998)	Ladrilho hidráulico	4,53	10,39	-	-
	Pavimento ecológico	4,53	3,77	6,62	63,7
	Paver	4,53	8,96	1,43	13,7
PLÚVIO 2.1	Ladrilho hidráulico	3,32	7,62	-	-
	Pavimento ecológico	3,32	2,76	4,86	63,7
	Paver	3,32	6,57	1,05	13,7

Utilizando a equação (2) relativa à Fendrich (1998) ocorreu uma diferença de 6,62 m³/s de escoamento entre o ladrilho hidráulico e o pavimento ecológico e 1,43 m³/s entre o ladrilho hidráulico e o paver convencional.

Utilizando a equação (3) referente a Arantes et al (2009) ocorreu uma diferença de 4,69 m³/s entre a aplicação de ladrilho hidráulico e pavimento ecológico e 1,01 m³/s entre o ladrilho hidráulico e o paver.

Adotando os parâmetros do Plúvio 2.1, houve uma diferença de 4,86 m³/s entre o ladrilho e o pavimento ecológico e de 1,05 m³/s entre o ladrilho e o paver.

A diferença de valores deve-se ao fato da equação (2) ser referente a outra região que apenas tem características semelhantes com o município de Campo Mourão, já a equação (3) foi obtida com parâmetros específicos para Campo Mourão e a equação (1) com dados do Plúvio 2.1 é interpolada analisando as outras equações onde os parâmetros já são conhecidos junto com a longitude e latitude em que o município de Campo Mourão se encontra, sendo essas mais precisa.

Nos três casos pôde-se analisar uma redução de 63,7% de escoamento com a aplicação do pavimento ecológico e de 13,7 com a aplicação do paver comum,

demonstrando que a utilização de outros pavimentos com maior permeabilidade pode ter um grande impacto no escoamento superficial e conseqüentemente diminuindo o volume de água pluvial a ser recebido pelo sistema de drenagem do município, o risco de inundações em chuvas intensas e os custos com manutenção e ampliação da rede de drenagem.

7 CONCLUSÃO

A partir das análises feitas nesse trabalho verificou-se a capacidade de escoamento de três tipos de pavimentos aplicados em passeios da região central do município de Campo Mourão, Paraná.

A aplicação mais comum nos passeios tem uma taxa de permeabilidade baixa e durante as chuvas gera um maior volume de água pluvial que deverá ser coletado pelo sistema de drenagem, junto com o grande volume que é escoado pelo pavimento das ruas e avenidas.

Através dos mapas obtidos junto a Secretaria de Gestão do município foi obtido que a área total de estudo do trabalho tem 1,842 Km² e a área dos passeios correspondem a aproximadamente 9% deste valor, totalizando 0,172 km².

Na literatura foi encontrado o valor dos coeficientes de deflúvio base para a elaboração deste trabalho, com o ladrilho hidráulico com o valor de $C=0,80$, o pavimento ecológico com $C=0,30$ e o pavimento paver com $C=0,69$.

Para o ladrilho hidráulico, ao ser aplicada a fórmula do método Racional com a intensidade de chuva desenvolvida por Fendrich (1998) foi obtido uma vazão de 10,39 m³/s. Do mesmo modo mas utilizando a equação geral de intensidade da chuva com os parâmetros relativos a Campo Mourão, disponibilizados pelo Plúvio 2.1, foi tido a vazão de 7,62 m³/s e finalmente utilizando a equação relativa a Campo Mourão de Arantes et al (2009) uma vazão de 7,36 m³/s. A diferença de vazão foi de 2,77 m³/s em relação à Fendrich e o programa Plúvio e de 3,03 m³/s em relação à Fendrich e Arantes.

Para o pavimento ecológico, ao ser aplicada a fórmula de Fendrich (1998), a vazão encontrada foi de 3,77 m³/s. Ao utilizar os valores disponibilizados pelo Plúvio 2.1 foi obtida uma vazão de 2,76 m³/s, já ao utilizar os valores relativos à Arantes et al (2009) foi obtido 2,67 m³/s. A diferença de 1,01 m³/s quando feita a comparação entre Fendrich e o Plúvio e de 1,10 m³/s quando comparado a equação de Fendrich e a de Arantes et al.

Para o pavimento Paver, foi obtido com dados de Fendrich a vazão de 8,96 m³/s, a vazão de 6,57 m³/s utilizando o Plúvio 2.1 e a vazão de 6,35 m³/s utilizando os dados de Arantes et al. A diferença entre a equação de Fendrich e as demais foi de 2,39 m³/s no primeiro caso e de 2,61 m³/s no segundo caso.

Ao ser aplicado três equações diferentes para efeito de comparação, uma da cidade de Cascavel – Paraná, outra utilizando parâmetros de Campo Mourão obtidos via software e a terceira obtida especificamente para Campo Mourão, em todos os pavimentos pôde-se constatar que os resultados obtidos na equação de Cascavel foram maiores, cerca de 29,1% em relação a equação de Campo Mourão de Arantes et al e de 26,6% em relação a equação obtida via Plúvio, tendo em vista que a equação utilizada de Cascavel foi desenvolvida com dados de estações pluviométricas de outro município.

A substituição do pavimento convencional por outros tipos de pavimentos com maior permeabilidade pôde aumentar a infiltração no solo e diminuir o escoamento superficial em até 63,7%.

Portanto, a busca pelo desenvolvimento e aplicação de pavimentos permeáveis principalmente nas áreas de passeio é indispensável para garantir a diminuição dos impactos na rede de drenagem causados pelos efeitos crescentes da urbanização e impermeabilização do solo, além de melhorar a qualidade de vida da população e do meio ambiente como um todo.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Dione Santa de; COSTA, Isaias Tavares da. **A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana.** Universidade Federal do Amapá. Macapá. 2014.

ARANTES, Eudes José et al. **Análise das chuvas intensas da região noroeste do Paraná.** IV Semana do Meio Ambiente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campo Mourão. ISSN 1982-7784. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) 2015. **Palestra Pavimento Intertravado.** 2015. 34 Slides. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/01Como_executar_pav_intertr_Alex_Maschio_ABCP.pdf> . Acesso em 01/07/2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: Prioridades 2012-2015.** Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Brasília. 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n32 de 15 de Outubro de 2003. **Divisão Hidrográfica Nacional.** Diário Oficial da União. 2003. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>>. Acesso em 25/10/2016.

CARVALHO, Daniel F. de; SILVA, Leonardo D. B. de. Hidrologia. 2006. Disponível em: < <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em 05/11/2016.

COMITÊ da Bacia do Alto Ivaí. **Descrição e diagnóstico da Unidade Hidrográfica do Alto Ivaí com vistas à criação do comitê da bacia.** Comitê da Bacia do Alto Ivaí, 2012. Disponível em: <http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/CERH_-_20_RO/descricao_diagnostico_alto_ivai.pdf>. Acesso em 10/11/2016.

CORDERO, Ademar; MEDEIROS, Péricles A; TERAN, Albanella L. **Medidas de controle de cheias e erosões.** CEOPS [s.l.] [1999]. Disponível em: <http://ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos/doc_details/5-metodos-controle-cheias-1999>. Acesso em 15/11/16.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins De. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3**. Brasília: ReCESA 2007. 130 p.

DIAS, Fernanda. S.; ANTUNES, Patricia. T. da S. C. **Estudo Comparativo de Projeto de Drenagem Convencional e Sustentável para Controle de Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**. 2010. 98f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2010. 68f.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem (no Estado do Paraná)**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat. 1998.

GOVERNO do Estado do Paraná. **Manual de Drenagem Urbana - Região Metropolitana de Curitiba**. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba. 2002.

GOVERNO do Estado do Paraná. **Revista Bacias Hidrográficas do Paraná Série Histórica**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Agência Nacional de Águas. Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf>. Acesso em 12/11/2016.

GUEDES, Cláudia de Souza. **Avaliação do desempenho hidrológico de pavimentos permeáveis**. 95 f. Dissertação. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2015.

INSTITUTO das Águas do Paraná. **Unidades Hidrográficas do Paraná**. SUDERHSA, 2006. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=82>>. Acesso em: 17/10/2016.

KIM, Alberto D. H. et al. **Sistemas de Alertas a Inundações em Áreas Urbanas**. 2012. 14 f. Seminário. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6461>. Acesso em 17/11/16.

KOBAYASHI, Fabiana et al. **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

MATOS, José de S. **Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano**. Instituto Superior Técnico. Lisboa. 2003

PLINIO TOMAZ. **Curso de manejo de águas pluviais**. 2013. Disponível em: <<http://pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>>. Acesso em 15/05/2017.

PLÚVIO 2.1: Chuvas intensas para o Brasil. Brasil. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos DEA-UFV. 2006. Software Livre. Disponível em <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>.

PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO PAC. **4º Balanço 2015-2018**. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/12c9979f887047791592a0e16c838e04.pdf>> . Acesso em 20/05/2017.

TUCCI, Carlos E. M. Coeficiente de escoamento e a vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre. v.5 n.1, p. 61-68. [s.n.] 2000.

_____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre. Editora da Universidade, 1997.

_____. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre .[s.n.]. 2005.

_____. Águas Urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63. P 97-112. 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295> >. Acesso em: 05/11/2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Plano Diretor de Viçosa**. [Viçosa]. [2000]. Disponível em: <<http://www.ufv.br/pdv/que.html>>. Acesso em: 01/11/2016.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mcgraw Hill. 1975.

VIRGILLIS, Afonso L. C. de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.