

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL CARVALHO DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO LAMINAR EM UMA VIA DO MUNICÍPIO DE CAMPO
MOURÃO PARANÁ**

**CAMPO MOURÃO
2023**

RAFAEL CARVALHO DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO LAMINAR DE UMA VIA NO MUNICÍPIO DE CAMPO
MOURÃO - PARANÁ**

**ANALYSIS OF THE LAMINAR RUNOFF OF A ROAD IN THE MUNICIPALITY OF
CAMPO MOURÃO – PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza.

CAMPO MOURÃO

2023



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

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

RAFAEL CARVALHO DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO LAMINAR DE UMA VIA NO MUNICÍPIO DE CAMPO
MOURÃO - PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 06 de junho de 2023.

Paula Cristina de Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eudes José Arantes
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Helton Rogério Mazzer
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por estar sempre comigo, nas horas mais difíceis sempre me dando forças para continuar.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e me incentivaram em todas as etapas da minha vida acadêmica, sem o amor e orientação deles, não estaria onde estou hoje.

A minha orientadora professora Paula Cristina de Souza, que me guiou e ajudou em todas as etapas desse trabalho, fornecendo um feedback valioso e uma orientação excepcional, assim como nas disciplinas com lecionadas com uma incrível didática, bom humor e paciência que me fizeram ter a curiosidade a esse tema, um muito obrigado.

Não posso deixar de mencionar meus amigos, que sempre estiveram lá para me apoiar, mesmos nos momentos mais difíceis. Vocês me deram forças e me encorajaram para continuar, e sou muito grato por ter amigos tão MARAVILHOSOS.

Aos meus chefes Dhiego Sabbadini e Gabriel Fernandes, por me permitirem aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso em um ambiente real de trabalho, o que foi fundamental para minha formação.

Por fim a UTFPR pelo ensino e pela formação que me proporcionou, bem como pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Mais uma vez, obrigado pelo seu pelo seu apoio e incentivo. Este trabalho não teria sido possível por vocês.

RESUMO

Considerando o aumento da taxa populacional das áreas urbanas a partir da metade do século XX, pode-se observar que em varias cidades houve um crescimento desordenado e mal planejados, ocasionando um aumento de impactos no meio urbano como, enchentes, inundações, enxurradas e resultante a contaminação de rios. Diante desta problemática, torna-se necessário diminuir o volume de águas pluviais escoadas para os sistemas de drenagem, aumentando a permeabilidade do solo por meio de implementação de soluções sustentáveis que drenam e armazenem a água precipitada, reduzindo, assim a vazão de pico. Diante disso o presente trabalho tem como objetivo avaliar o projeto de drenagem de uma via na cidade de Campo Mourão, Paraná, comparando o escoamento laminar com pavimento sustentável. Para tanto, foram analisadas quatro condições de pavimentação, identificando as diferenças de vazão escoada em cada caso, utilizando os coeficientes de Runoff aplicado em uma área de estudo de 3.517,41m², para comparar os índices de escoamento. A Situação 3 obteve o melhor resultado, pois a mesma apresentou um escoamento de 34,42%, sendo assim infiltrando 65,58%. Esta infiltração da água no solo apresenta diversos benefícios para o meio ambiente e para a sociedade como um todo, primeiramente, ela ajuda a manter o equilíbrio do ciclo hidrológico, contribui para a redução do risco de enchentes e alagamentos, uma vez que a água é absorvida pelo solo e não se acumula nas superfícies urbanas.

Palavras-chave: Pavimentos Sustentáveis; Coeficiente de Runoff; Drenagem Urbana.

ABSTRACT

Considering the increase in the population rate of urban areas since the mid-twentieth century, it can be observed that in several cities there has been disorderly and poorly planned growth, resulting in an increase in impacts on the urban environment such as floods, inundations, and resulting river contamination. In view of this problem, it becomes necessary to reduce the volume of rainwater drained into drainage systems by increasing soil permeability through the implementation of sustainable solutions that drain and store precipitation, thus reducing peak flow. Therefore, the present work aims to evaluate the drainage project of a road in the city of Campo Mourão, Paraná, comparing laminar flow with sustainable pavement. To this end, four pavement conditions were analyzed, identifying the differences in flow in each case, using Runoff coefficients applied in a study area of 3,517.41 square meters to compare the runoff rates. Situation 3 obtained the best result, as it showed a flow of 34.42%, thus infiltrating 65.58%. This infiltration of water into the soil has several benefits for the environment and society as a whole. Firstly, it helps to maintain the balance of the hydrological cycle, contributing to the reduction of the risk of floods and inundations, as the water is absorbed by the soil and does not accumulate on urban surfaces.

Keywords: Sustainable Pavements; Runoff Coefficient; Urban Drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Microdrenagem Urbana	17
Figura 2 - Concepção geral dos SUDS	18
Figura 3 - Pavimento de concreto permeável	25
Figura 4 - Seção típica de pavimento intertravado permeável	26
Figura 5 - Pavimento permeável de bloco de concreto vazado	26
Figura 6 - Localização da via em estudo	31
Figura 7 – Esquema da via em estudo	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores do Coeficiente “C” em função do tipo de superfície	21
Quadro 2 - Valores de C (runoff) com base no tipo de ocupação	21
Quadro 3 - Resumo dos principais obtidos por Brun (2011), Moura (2005), Silva (2006) e Castro (2011), citado por GUEDES, 2015	22
Quadro 4 - Materiais utilizados na produção de concreto permeável	25
Quadro 5 - Coeficiente de Runoff	29

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 - Situação1: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.	32
Tabela 2 - Situação 2: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.	33
Tabela 3 - Situação 3: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.	33
Tabela 4 - Situação 4: Coeficiente, comprimento, largura área e porcentagem	34
Tabela 5 - Situações: Coeficiente, intensidade, vazão e porcentagem	34
Tabela 6 - Comparação: Situação e média do coeficiente.....	35
Tabela 7 - Análise de custos	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Escoamento Superficial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
SUDS	Sustainable Urban Drainage System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REFERENCIAL TEORICO.....	16
4.1	Drenagem Urbana.....	16
4.1.1	Microdrenagem.....	16
4.1.2	Macro drenagem	17
4.2	Drenagem Sustentável.....	17
4.3	Escoamento Superficial	19
4.4	Equação da Chuva	20
4.5	Coefficiente de Runoff	21
4.6	Pavimento Sustentável	23
4.7	Concreto Permeável.....	24
4.8	Pavimento Permeável	25
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	Localização da Pesquisa	28
5.2	Levantamento Teórico	28
5.3	Visita in Loco	28
5.4	Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial	28
5.5	Determinação do Escoamento e Comparação dos Escoamentos ...	30
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6.1	Identificação e Dimensionamento da Rede de Drenagem Existente 31	
6.2	Coeficiente de Escoamento Superficial	31
6.3	Determinação do Escoamento Laminar para os Revestimentos Sustentáveis no Pavimento Projetado	34
6.4	Comparação do Escoamento Laminar do Pavimento Convencional Projetado com os Pavimentos Sustentáveis	35
6.5	Análise de Custo	36
7.	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a urbanização abriga a maioria dos habitantes, ultrapassando os 80% da população total. Esse crescimento acarreta uma série de problemas, tais como a impermeabilização do solo, a ocupação indevida das áreas de proteção às margens dos rios, a degradação florestal e o aumento significativo da quantidade de resíduos sólidos lançados nesses corpos hídricos, entre outros aspectos relevantes. Como resultado dessas circunstâncias, episódios de chuvas intensas frequentemente resultam em transbordamentos dos rios, ocasionando inundações que acarretam prejuízos materiais, humanos e ambientais significativos, tendo um impacto direto na saúde da população (CHISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019)

Durante a evolução da humanidade a todo momento existiu uma relação restrita entre os cursos de água, a origem e crescimento das cidades, uma vez que a presença de água ao alcance da população sempre foi um motivo essencial no processo de sedentarização (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

Segundo Damo e Leite (2022), muitos dos principais incidentes naturais que ocorrem no dia a dia do povo brasileiro têm sua origem na má administração dos fluxos de água superficial em várias regiões do país. Isso se deve principalmente à falta de diretrizes técnicas adequadas para a drenagem urbana, bem como à insuficiência de investimentos em infraestrutura nessa área. Esses fatores contribuem para uma realidade marcada por inundações, especialmente durante os períodos de maior precipitação pluviométrica.

No Brasil a drenagem urbana começou apenas ser tratada com mais profundidade no início da década de 90. Naquele momento, se desenvolveu muito a quantidade de área permeáveis e reservatórios, com o objetivo de diminuir o volume de água pluvial lançado nas galerias, a fim de que ele não exceda o nível máximo para qual essa foi projetada, assim como diminuir sua velocidade de escoamento superficial, deste modo atenuando os locais com acontecimento de enchentes e inundações (TUCCI, 2012).

Os métodos utilizados nos sistemas de drenagem urbana vêm evoluindo com o passar dos séculos, em especial nos países mais desenvolvidos, no qual estes sistemas passaram por diversas fases e modificaram seus objetivos, se adaptando nas necessidades da população e fazendo uso do surgimento de novos conceitos e tecnologias. No entanto, o mesmo não aconteceu no Brasil, onde a drenagem urbana

ainda não tem toda a cautela necessária para sanar os danos e impactos causados pelos sistemas que não se desenvolveram junto com o crescimento da urbanização e disponibilidade de novas tecnologias, fazendo com que a drenagem urbana, ou a inexistência dela, não seja apenas um problema de infraestrutura urbana, mas sim ambiental e social em razão dos diversos impactos causados (RIBAS, 2016).

Uma das razões pelas quais o desenvolvimento dos sistemas de drenagem urbana no Brasil é considerado ultrapassado é que desde o início, o serviço tenha sido o único responsável do poder municipal, que muitas das vezes, não possuem estruturas organizadas independentemente, com autonomia financeira e gerencial. Essa dependência aumenta a dificuldade de desenvolvimento dos sistemas de drenagem, pois leva à aparente fragilidade técnica e política institucional dessa estrutura, muito importante para a qualidade de vida urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

Esta vulnerabilidade vem ocasionando várias falhas no planejamento, execução e manutenção dos sistemas de drenagem, além de complicações com alagamentos, desmoronamento, que podem ser observados em aproximadamente todas as cidades do Brasil. Com isso o presente trabalho traz a análise do escoamento laminar de uma via de Campo Mourão – PR, com o intuito de analisar o projeto já existente, comparando o escoamento laminar com os pavimentos sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o projeto de drenagem de uma via na cidade de Campo Mourão Paraná comparando o escoamento laminar com pavimento sustentável.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar o dimensionamento da rede de drenagem existente.
- Calcular o Coeficiente de Runoff da via projetada.
- Determinar o escoamento laminar para os revestimentos sustentáveis no pavimento projetado.
- Comparar o escoamento laminar do pavimento convencional projetado com os pavimentos sustentáveis

3 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento desordenado da população tem acontecido um desequilíbrio no escoamento das bacias hidrográficas, e este fato tem se tornado um importante tema de pesquisas e projeções em várias áreas científicas nas últimas décadas. Pelas preocupações com a demanda de recursos naturais e sua ocupação em ambientes com o propósito de acomodar a expansão populacional, muitas vezes de forma desordenadas.

Os impactos que isso ocasiona no meio urbano são, enchentes, inundações, enxurradas e resultante a contaminação dos rios, resultando em vários impactos socioambientais como, a precipitação da qualidade das águas dos córregos oriundos da carga de poluentes, bem como de resíduos sólidos descartados juntamente com as águas pluviais, origem de erosões, escorregamentos de encostas e interdição de vias com prejuízo ao trânsito de veículos.

Percebeu-se que o grande crescimento populacional se interliga a vários fatores como a urbanização desordenada de cidades, fatores climáticos, problemas de razão social e de gestão e principalmente a infraestruturas que está ligado a águas pluviais – enchentes, alagamentos e inundações. Para um progresso ideal das áreas urbanas seria um bom planejamento da infraestrutura das áreas a serem expandidas, e fazer adaptações sempre de acordo com o aumento populacional.

Sendo assim o presente trabalho tem como propósito de avaliar o projeto de drenagem de uma via na cidade de Campo Mourão Paraná comparando o escoamento laminar com pavimento sustentável.

4 REFERENCIAL TEORICO

4.1 Drenagem Urbana

Drenagem Urbana De acordo com a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo (2012) a drenagem urbana de ruas e avenidas compreende bocas de lobo, tubulações, poços de visita e estruturas acessórias.

Por algum tempo a drenagem urbana era adotada para transportar o volume de águas de chuva, com o intuito de resolver os problemas de alagamentos. No entanto com o passar dos anos existiu-se a necessidade de incluir medidas para minimizar os impactos ambientais causados, dessa maneira, o sistema de drenagem urbano passou a ter não apenas o dever de transportar o volume de águas da chuva, mas também proporciona melhor drenagem para as bacias hidrográficas (TUCCI, 2001).

Para um bom desenvolvimento dos municípios é indispensável que a água pluvial seja drenada com competência e rapidez para não laminar o crescimento das cidades bem como não afetar negativamente na qualidade de vida da população.

Os sistemas de drenagem urbana são divididos através suas dimensões e funções principais, microdrenagem e macrodrenagem.

4.1.1 Microdrenagem

A construção e a expansão de vias em áreas urbanas requerem necessariamente a implementação de sistemas de microdrenagem, os quais são responsáveis por absorver e escoar as águas da chuva. Conforme afirmado pelo Suetonio (2012), esses sistemas são compostos por galerias de pequeno e médio porte, que possibilitam o recolhimento e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas. Para que esse processo ocorra de maneira adequada, é necessário seguir uma série de diretrizes estabelecidas pelo projeto.

De acordo com Thomaz (2013), a ausência de normas da ABNT dificulta a descrição do funcionamento do sistema de microdrenagem no Brasil. Isso porque as cidades, estados, órgãos públicos e empreendedores utilizam parâmetros diversos, o que torna difícil estabelecer uma uniformidade de procedimentos.

Por fim, é importante destacar que o sistema de microdrenagem é composto por diferentes elementos, tais como pavimentos, meio-fio, sarjetas, bocas de lobo e poços de visita, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema de Microdrenagem Urbana



Fonte: Fochesatto (2017, p. 22)

4.1.2 Macrodrenagem

Segundo Tucci (2001), entende-se por macrodrenagem as intervenções de fundo de vale que coletam águas pluviais de áreas provindas ou não de sistema de macrodrenagem ou não. Os escoamentos nesses fundos de vale são bem definidos mesmo não existindo um curso de água aparente.

As obras de macrodrenagem têm como finalidade de evitar enchentes devido à bacia urbana, ou seja, construções de canais, revestidos ou não, que tem a maior capacidade de transporte que o canal natural e bacias de retenção.

4.2 Drenagem Sustentável

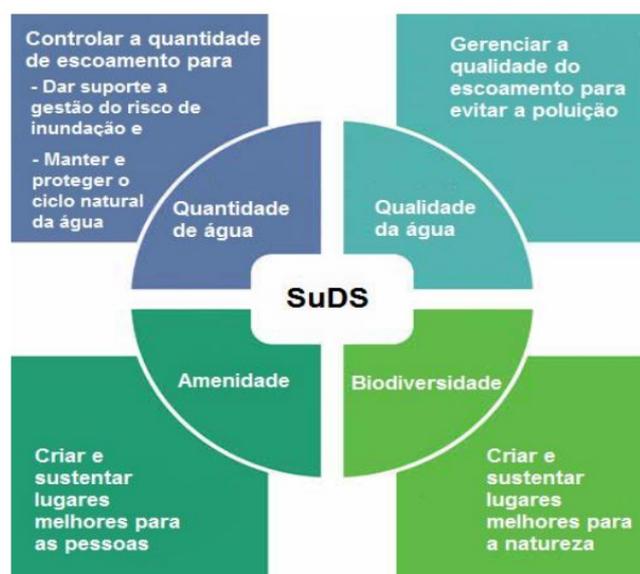
Com a finalidade de gerar outras finalidades para a drenagem urbana que buscam uma estabilidade para o ciclo hidrológico urbano visando aumentar a infiltração do solo visando aumentar a infiltração do solo e estimular a reutilização da água da chuva foram criados os Sustainable Urban Drainage System (SUDS)

(JONES; MACDONALD, 2007). Essa concepção é um avanço da antiga percepção de drenagem urbana, em que as rotinas sanitárias utilizam e favorecem a rápida expulsão das águas pluviais e efluentes dos centros urbanos. Essa ideia age apenas pontualmente e resulta na transferência do problema de um local para o outro.

De acordo com Almeida (2020), os SUDS podem ser determinados como um conjunto de procedimentos sustentáveis que possibilita o aumento da taxa de infiltração das águas da chuva no solo e resultante na minimização dos impactos negativos gerados pelo escoamento superficial. Desta maneira, a utilização de tais procedimentos que opera diretamente no gerenciamento de riscos de alagamentos nos locais específicos e na preservação da bacia hidrográfica.

As finalidades dos SUDS baseiam-se na razão de que o gerenciamento do fluxo das águas deve ser realizado a fim de ter o máximo benefício. Sendo assim, busca reduzir os impactos negativos da urbanização em termo de quantidade e qualidade de escoamento superficial e, ao mesmo tempo, colaborar na oferta de bem estar e biodiversidade ao ambiente. (GONÇAUVES; NUCCI, 2017). Alguns parâmetros apontam a mesmas finalidades ente si e a mesma solução para englobar todos eles, conforme na Figura 2. As vantagens de cada categoria dependem principalmente do espaço no qual ocorre a implantação.

Figura 2 - Concepção geral dos SUDS



Fonte: Neto (2019, p. 26)

Segundo Woods-Ballard et al., (2007, p. 12), “as águas da chuva têm que serem realocadas em pequenas partes nas sub-bacias, no local de serem

transportadas em grandes sistemas no local mais baixo das áreas de drenagem. Os procedimentos de comando e manejo que são utilizados”.

- Prevenção: Efetuar um planejamento de paisagismo local e planos de limpeza e manutenção doméstica a fim conter o escoamento superficial e a poluição, sendo possível assim o reuso das águas da chuva;
- Controle de origem: São medidas de controle do escoamento superficial o mais perto de sua origem, como telhados verdes e pavimento permeável como exemplo;
- Controle local: Redirecionamento da água em escala local;
- Controle regional: Redirecionamento do escoamento restante de vários pontos para um grande espaço.

Processos para o controle da qualidade de água de escoamento:

- Infiltração: Percolação da água que provoca o decréscimo da vazão do escoamento superficial;
- Detenção/Atenuação: É a redução do fluxo e seu armazenamento pode ser em bacias de retenção, bacias superficiais ou bacia seca;
- Transporte: O escoamento superficial desvia de um local para o outro. Esse procedimento é indispensável para o controle do fluxo e junção de SUDS durante os eventos extremos.

Para Woods-Ballard et al., (2015), os sistemas de sustentáveis de suma importância são as técnicas de captação de água pluvial, poços de infiltração, trincheiras de infiltração, bacias de infiltração, telhados verdes, pavimentos permeáveis e semipermeáveis dentre outros.

4.3 Escoamento Superficial

O escoamento superficial é realizado a partir das precipitações. Parte da água da chuva é retirada por barreiras como a vegetação é evaporada em seguida. O restante da água alcança a superfície do solo dessa forma parte da água se infiltra ou fica retida em depressões geográficas e o restante se escoar pela superfície assim que o volume da infiltração é superado pela precipitação, formando assim o escoamento superficial (PINTO et al., 1976).

O método racional é um dos métodos mais utilizados para a estimativa de vazão máxima, pelo fato de unir todos os métodos em um só coeficiente, assim

simplificando sua fórmula. Esse método é especialmente aplicado no estudo de enchentes em áreas de bacias hidrográficas de tamanho reduzido, ou seja, aquelas com menos de 0,5 km², em que a taxa máxima de escoamento é determinada com base na quantidade de chuva e na área da A Equação 1 ilustra o método empregado racional nesse contexto (TUCCI, 2000).

$$Q = C * i * A \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- C é o coeficiente de escoamento superficial;
- I é a intensidade da precipitação;
- A é a área que ouve a precipitação.

A demonstração da quantidade de água escoada em um dia chuvoso se pelo coeficiente de escoamento superficial (C) (TUCCI, 2000). O coeficiente é calculado conforme os aspectos da superfície, tipo de solo, a umidade antecedente, coeficiente de permeabilidade do solo, tempo de concentração e taxa de ocupação, apontando valores próximos a 1 em áreas urbanas predominantemente impermeáveis (GAROTTI; BARBASSA, 2010).

4.4 Equação da Chuva

A equação da chuva é um dos dados de suma importância para o dimensionamento de projetos de drenagem no geral seja ela de rodovias ou urbana, canalização de córregos dentre outros. De acordo com Costa et al., (2007), é provável obter esses dados por meio dos estudos das precipitações máximas, que pode ser obtida, por meio da curva Intensidade, Duração e Frequência (IDF) que associa os registros pluviométricos do local de estudo ou com a informação obtida por postos vizinhos e tem como base o valor máximo de precipitação registrada, considerando não só a intensidade, mas também a duração e distribuição pela área estudada. Com essas informações em mãos é possível definir uma função $i = f(t,p)$, no qual i é a intensidade, t é a duração da precipitação, p é a probabilidade.

Para o procedimento do dimensionamento foi utilizado a equação da chuva de Campo Mourão onde é a cidade do estudo (ARANTES et al., 2009).

$$i_{max} = \frac{901,51 * Tr^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- i_{max} é a intensidade máxima média de precipitação em (mm.h⁻¹);
- T_R é o tempo de recorrência em anos;
- t é a duração da chuva em minutos.

4.5 Coeficiente de Runoff

O coeficiente C de escoamento superficial é também conhecido como coeficiente de Runoff ou coeficiente de deflúvio. Por conceito o coeficiente de Runoff é a razão entre o volume total do escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (TOMAZ, 2013).

Podemos observar na Quadro 1, 2 e 3 os coeficientes de Runoff referente ao tipo de ocupação e superfície.

Quadro 1 - Valores do Coeficiente “C” em função do tipo de superfície

Superfície	Coeficiente de Runoff	
	Intervalo	Valor esperado
PAVIMENTO		
Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
Calçadas	0,75 - 0,95	0,80
Telhado	0,75 - 0,95	0,85
COBERTURA: GRAMA, ARENOSO		
Plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
Declividade Média (2 a7%)	0,10 - 0,15	0,13
Declividade Alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
GRAMA, SOLO PESADO		
Plano (2%)	0,13 - 0,18	0,15
Declividade Média (2 a7%)	0,18 - 0,22	0,20
Declividade Alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007, p. 91)

Quadro 2 - Valores de C (runoff) com base no tipo de ocupação

Descrição da Área	Coeficiente de Runoff
-------------------	-----------------------

AREA COMERCIAL	
Central	0,70 - 0,90
Bairros	0,50 - 0,70
AREA RESIDENCIAL	
Residência Isoladas	0,35 - 0,50
Unidade Múltiplas (Separara)	0,40 - 0,60
Unidade Múltiplas (Conjugadas)	0,60 - 0,65
Lotes Superiores a 2.000m ²	0,30 - 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 - 0,70
AREA INDUSTRIAL	
Industrias Leves	0,50 - 0,80
Industrias Pesadas	0,60 - 0,90
Parques, Cemitérios	0,10 - 0,25
Playgrounds	0,20 - 0,35
Pátios Ferroviários	0,20 - 0,40
Áreas sem Melhoramentos	0,10 - 0,30

Fonte: Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007, p. 92)

Quadro 3 - Resumo dos principais obtidos por Brun (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	79,00	55,30	12,01	0,21
		121,00	84,70	46,96	0,55
	Bloco de Concreto Vazado	79,00	55,30	0,65	0,01
		121,00	84,70	19,12	0,23
MOURA (2005)	Bloco de Concreto Maciço	84,00	50,44	6,70	0,13
		120,00	60,00	41,63	0,69
	Bloco de Concreto Vazado	156,00	143,00	50,57	0,35
SILVA (2006)	Bloco de Concreto Maciço	84,00	49,04	25,91	0,53
		120,00	60,05	41,63	0,69
	Bloco de Concreto Vazado	84,00	28,02	17,98	0,63
		120,00	10,03	30,53	0,76
CASTRO (2011)	Paver I	69,00	155,25	0,00	0,00
		180,00	135,00	26,59	0,19
	Poroso I	69,00	155,25	0,00	0,00
		180,00	135,00	0,00	0,00
	Concregrama I	69,00	155,25	0,00	0,00
		180,00	135,00	0,38	0,00

	Paver II	69,00	155,25	49,11	0,31
		180,00	135,00	120,11	0,89
	Poroso II	69,00	155,28	0,00	0,00
		180,00	135,00	4,02	0,03
	Concregrana II	69,00	155,25	0,00	0,00
		180,00	135,00	0,05	0,00
	Paver III	69,00	155,25	33,50	0,21
		180,00	135,00	48,58	0,36
	Poroso III	69,00	155,25	12,19	0,07
		180,00	135,00	36,70	0,27
	Concregrama III	69,00	155,25	33,35	0,22
		180,00	135,00	32,65	0,24

Fonte: Guedes (2015, p. 47)

4.6 Pavimento Sustentável

Segundo Baldo (2020), entende-se por pavimento sustentável se atingir suas expectativas como obra de engenharia, porém em maior proporção preserva seu ecossistema entorno, usa recursos humanos e ambientais com eficiência e atende as necessidades humanas básicas.

É provável considerar que os pavimentos sustentáveis, num geral são aqueles que necessitam de um maior período de tempo para sua manutenção pesada. Desde modo se um pavimento de concreto apontar evoluções de patologias graves em um prazo de 10 anos, ele não pode ser considerado sustentável, visto que sua manutenção é custosa e ambientalmente prejudicial (BALBO, 2020).

Deste modo, considerações a respeito de pavimentos sustentáveis requerem um posicionamento claro referente os materiais sustentáveis. A aplicação de ligantes hidráulicos ecoeficientes, de agregados oriundos de reciclagem e de resíduos industriais, ligantes mistos e adições ativas complementares durante a mistura de agregado-ligantes-água-aditivos-suplementos tem que vim à tona nos dias atuais, se quisermos ter uma postura de nação tecnologicamente moderna e de recursos humanos esclarecidos e conscientes. Como será apontado os concretos permeáveis podem compreender todos esses conceitos e métodos com finalidade de se tornarem um material atualmente eficiente ambientalmente para pavimentação de vias.

De acordo com Baldo (2020), o concreto é bem conhecido pelos brasileiros como um material de construção, compreendemos que, para a construção de um

pavimento de concreto é indispensável a exploração de recursos naturais para a produção de seus ligantes hidráulicos e agregados que equivale cerca de 80% de seu volume, para o transporte do mesmo para longas localidades são necessárias dosadoras e misturadoras que utilizam água tratada, em seguida o transporte do concreto encaminha-se para a via ou pista onde será aplicado.

Acredita-se que os pavimentos de concreto necessitam de ter uma elevada durabilidade para suprir os danos causados, visando um baixo nível de manutenção. Ainda que parece algo retórico no Brasil, a uma nova visão com os concretos permeáveis, uma vez que se torna possível aplicar recursos naturais a modo que seja mais eficiente e amenizar problemas ambientais relacionados à impermeabilização dos solos urbanos. Mas como o sistema é falho seja com maus projetos ou más obras, é de extrema importância que as novas tecnologias sejam vistas de uma maneira cuidadosa.

4.7 Concreto Permeável

De acordo com a NBR 16416:2015 o concreto permeável é um concreto que no qual contém vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade. O concreto permeável apresenta uma formulação similar ao concreto tradicional, contudo com uma proporção distintiva de componentes. De modo geral, a presença do agregado miúdo é reduzida ou até mesmo suprimida, enquanto o agregado graúdo é predominante (BATEZINI, 2013 apud TENNIS et al., 2004).

De acordo com o Quadro 4, a proporção dos elementos no traço de concreto permeável varia de 270 a 415kg de cimento Portland por metro cúbico de concreto, acompanhado por uma contribuição do agregado graúdo entre 1190 e 1700kg por metro cúbico de concreto. A quantidade de água, em relação à massa de cimento presente na mistura, é relativamente reduzida, compreendendo de 27% a 34%. A característica que difere esse material dos demais é a presença predominante do agregado graúdo, que chega a representar de 4 a 4,5 vezes a mais que a massa de cimento utilizada no concreto, enquanto que o agregado miúdo pode ser limitado à mesma massa do agregado graúdo ou, em alguns casos até mesmo dispensado.

Quadro 4 - Materiais utilizados na produção de concreto permeável

MATERIAIS	CONSUMO/PROPORÇÃO
Cimento (kg/m ³)	270 a 415
Agregado Graúdo (kg/m ³)	1190 a 1700
Relação Água/Cimento em Massa	0,27 a 0,34
Relação Cimento Agregado em Massa	1:4 a 1:4,5
Relação Agregado Miúdo/Agregado Graúdo em Massa	0 a 1:11

Fonte: Adaptado de Batezini (2013, p. 28)

O índice de vazios do concreto permeável é em torno de 20% (LAFARGE, 2014). Essa é a principal diferença entre este material e o concreto de cimento Portland convencional.

4.8 Pavimento Permeável

Pavimentos permeáveis são determinados como aqueles que contêm espaços livres em suas estruturas por onde a água pode atravessar (MARCHIONI; SILVA, 2016).

Na Figura 3 podemos observar o pavimento de concreto permeável.

Figura 3 - Pavimento de concreto permeável



Fonte: Santos (2015, p. 1)

Os pavimentos permeáveis tem finalidade de drenantes superficiais que facilitam a infiltração, armazenamento e percolação de parte ou totalidade da água oriunda do escoamento superficial, para dentro de uma camada de armazenamento provisório no terreno, no qual o mesmo é absorvido gradativamente pelo solo (COSTA; SIQUEIRA; MENESES FILHO, 2007).

Por esse motivo esse dispositivo é benéfico, pois ajuda a diminuir as zonas impermeáveis nos centros urbanos, ideais para vias de tráfego leve, estacionamentos e praças, além de proporcionar a recarga de aquíferos subterrâneos.

Os pavimentos permeáveis são executados com uma camada superior de revestimento porosos, ajustados sobre camadas de material granular. O revestimento superior é possível ser de concreto poroso ou concreto vazados de acordo com as Figuras 4 e 5:

Figura 4 - Seção típica de pavimento intertravado permeável



Fonte: Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007, p 98)

Figura 5 - Pavimento permeável de bloco de concreto vazado



Fonte: Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007, p. 98)

Tanto os revestimentos de asfáltico poroso com os blocos vazados são facilmente encontrados no mercado brasileiro, porem os revestimentos porosos devem ser feitos na obra como o concreto permeável.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Localização da Pesquisa

A análise do escoamento laminar foi realizado no Município de Campo Mourão, que é localizado na região noroeste do estado do Paraná região sul do Brasil.

Conforme o último censo feita pelo IBGE em 2021, o Município tem 96.102 habitantes e sua área territorial tem um total de 749,637 km² e está localizado a 477 km da capital do estado, Curitiba. O clima predominante é o subtropical úmido e a média anual dos índices pluviométricos é entre 1.400mm e 1.500mm por ano (COSTA, 2017).

5.2 Levantamento Teórico

Para referencial teórico e bibliográfico foi fundamentado em artigos, teses, livros, estudos de casos e manuais de drenagem urbana, sobre os principais problemas causados por uma má drenagem urbana, tal como algumas medidas para minimizar ou até mesmo acabar com esses problemas, visando sempre a importância de um bom plano de drenagem urbana. Desta forma teve como principal autor Carlos Tucci (2000), para a construção da base conceitual para a análise do escoamento laminar em uma via do município de Campo Mourão – PR.

5.3 Visita in Loco

Foi realizado visitas in loco para fim de conhecer o local de estudo e levantar problemas de drenagem urbana existentes no local, identificar o sentido do escoamento das águas pluviais e analisar a infraestrutura do local. Foi utilizado também os dados de vazão e diâmetro da rede de drenagem de Pavezzi (2022).

5.4 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

Após as visitas in loco, a via foi dividida em partes e realizar o cálculo do coeficiente de escoamento superficial de cada parte. De acordo com Tomaz (2013), o coeficiente de Runoff é o “quociente entre a água que esco superficialmente pelo total de água precipitada”. Alguns fatores que podem influenciar diretamente no coeficiente são:

- Taxa de permeabilidade local;
- Inclinação das redes de águas pluviais;
- Porosidade do solo;
- Umidade antecedente;
- Obstáculos e redutores de velocidade do fluxo;
- A geometria da área drenante.

Para os coeficientes de Runoff foi utilizado os dados disponíveis de Villela e Mattos (1980), representados no Quadro 5, conforme as características superfície que pertence a bacia.

Tipo de superfície	Coeficiente
Telhados perfeitos sem fuga;	0,70 a 0,90
Superfícies asfaltadas em bom estado;	0,85 a 0,90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas;	0,70 a 0,85
Para superfícies anteriores sem as juntas tomadas;	0,50 a 0,70
Pavimentação de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas;	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulhos;	0,15 a 0,30
Superfícies não-revestidas, pátios de estradas de ferro e terrenos descampados, parques, jardins, dependendo da declividade;	0,10 a 0,30
Do solo da natureza e subsolo	0,01 a 0,20

Fonte: Villela e Mattos (1980, p. 114)

O Coeficiente de Runoff determinado para cada situação ser obtido a partir das características individuais de cada pavimento, relacionado com sua área, aplicando uma média ponderada na relação das áreas e do coeficiente conforme a Equação 3.

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3+\dots+Ci.Ai}{A1+A2+A3+\dots+Ai} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

- C1, C2, C3, ... Ci = coeficientes para as áreas A1, A2... respectivamente;
- A1, A2, A3, ... Ai = Áreas de escoamento superficial;
- C = Coeficiente obtido através da média ponderada.

5.5 Determinação do Escoamento e Comparação dos Escoamentos

Com o resultado da determinação do escoamento, foi comparado o volume de água em escoamento nos revestimentos convencionais e as suas possíveis melhorias para esse escoamento através dos diferentes tipos de pavimentos. Analisando o percentual de água que percolará e o percentual que irá para a galeria.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Identificação e Dimensionamento da Rede de Drenagem Existente

A via alvo de estudos está localizada no cruzamento entre Rodovia Perimetral Tancredo Almeida Neves com a Rua São Paulo no Município de Campo Mourão, de acordo como a Figura 6.

Figura 6 - Localização da via em estudo



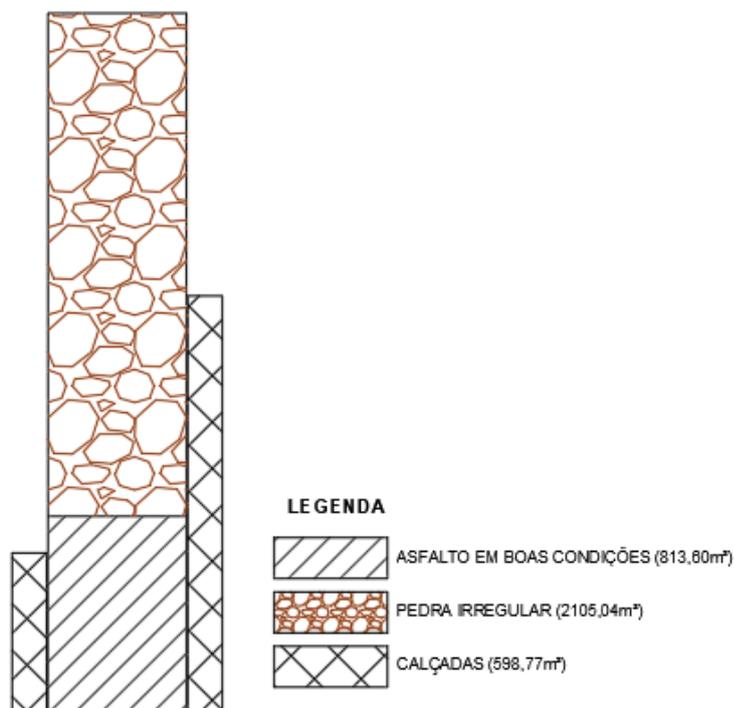
Fonte: Google Earth (2023), edição de autoria própria (2023)

A Secretaria de Planejamento do município disponibilizou o mapa de galeria pluviais da cidade, onde algumas informações da via em estudo não foram encontradas no referido mapa, em virtude da sua execução ter ocorrido anteriormente à implantação desses emissários. Porém auxiliou na identificação do ponto em que aconteceu a ampliação do sistema de drenagem. As delimitações e identificações ocorreram através de visitas *in loco*. Foi utilizado os dados de vazão e do dimensionamento da rede de drenagem de Pavezzi (2022).

6.2 Coeficiente de escoamento superficial

A rua São Paulo que é a via em estudo tem uma área de 3.517,41 m² sendo dívida em via pavimentada com asfalto em boas condições, via com pedra irregular e calçadas. Foram contabilizados 813,60 metros quadrados de asfaltos me boas condições, 2105,04 metros quadrados de pedra irregulares e 598,77 metros quadrados em calçadas, conforme é ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Esquema da via em estudo



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Tabela 1 observa-se como foi dividido cada área, contendo o Coeficiente de Runoff, comprimento, largura, área e a porcentagem que cada área tem em relação ao local estudado.

Tabela 1 - Situação1: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.

PAVIMENTO	COEFICIENTE DE RUNOFF	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	%
Asfalto em Boas Condições	0,85	67,80	12,00	813,60	23,13%
Pedra Irregular	0,15	175,42	12,00	2.105,04	59,85%
Calçadas	0,75	199,59	3,00	598,77	17,02%
Total				3.517,41	100,00%

Fonte: Autoria própria (2023)

Para a determinação do escoamento da situação 1 foi utilizado os seguintes coeficientes como, para asfalto em boas condições o valor de $C=0,85$ apresentado por Villela e Mattos (1980) no Quadro 2, foi determinado $C=0,15$ para pedra irregular conforme o Quadro 2, para calçadas o $C=0,75$ apresentado no Quadro 1 segundo

Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007, p. 91), esses dados podem ser observados melhor na Tabela 1.

Na situação 2 tem asfalto em boas condições ($C=0,85$), pavimento paver e calçada ($C=0,75$), o coeficiente para o pavimento paver tem o valor de $C=0,69$ obtido de Moura (2005) e Silva (2006) no Quadro 3. A tabela 2 mostra esses valores de coeficientes e também o comprimento, largura, área e porcentagem. Observa-se que os valores do asfalto em boas condições e calçadas mantêm-se o mesmo da situação 1.

Tabela 2 - Situação 2: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.

PAVIMENTO	COEFICIENTE DE RUNOFF	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	%
Asfalto em Boas Condições	0,85	67,80	12,00	813,60	23,13%
Paver	0,69	175,42	12,00	2.105,04	59,85%
Calçadas	0,75	199,59	3,00	598,77	17,02%
Total				3.517,41	100,00%

Fonte: Autoria própria (2023)

A situação 3 é formada por asfalto em boas condições ($C=0,85$), concreto permeável e calçadas ($C=0,75$), o coeficiente considerado para o asfalto de concreto permeável $C=0,05$ segundo TUCCI (2000), com isso temos a Tabela 3 para melhor observação.

Tabela 3 - Situação 3: Coeficiente, comprimento, largura, área e porcentagem.

PAVIMENTO	COEFICIENTE DE RUNOFF	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	%
Asfalto em Boas Condições	0,85	67,80	12,00	813,60	23,13%
Concreto Permeável	0,05	175,42	12,00	2.105,04	59,85%
Calçadas	0,75	199,59	3,00	598,77	17,02%
Total		442,81	27,00	3.517,41	100,00%

Fonte: Autoria própria (2023)

A situação 4 é composta por asfalto em boa condição ($C=0,85$), calçadas ($C=0,75$) e no lugar de pedra irregular (que é a situação atual) vamos considerar como se a mesma área fosse asfalto em boas condições ($C=0,85$). Para melhor visualização, a Tabela 4 é apresentada abaixo.

Tabela 4 - Situação 4: Coeficiente, comprimento, largura área e porcentagem

PAVIMENTOS	COEFICIENTE DE RUNOFF	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	%
Asfalto em Boas Condições	0,85	67,80	12,00	813,60	23,13%
Asfalto em Boas Condições	0,85	175,42	12,00	2.105,04	59,85%
Calçadas	0,75	199,59	3,00	598,77	17,02%
Total		442,81	27,00	3.517,41	100,00%

Fonte: Autoria própria (2023)

6.3 Determinação do Escoamento Laminar para os Revestimentos Sustentáveis no Pavimento Projetado

Para o cálculo da intensidade de chuva (Equação 2) foi utilizado os seguintes variáveis, foi adotado um tempo de retorno (Tr) de 5 anos e para a duração de precipitação (T) 5 minutos (VILLELA; MATTOS, 1980). E a Equação 1 para o cálculo da vazão, a Tabela 5 mostra as porcentagens em que cada pavimento esco.

Tabela 5 - Situações: Coeficiente, intensidade, vazão e porcentagem

	PAVIMENTOS	COEFICIENTE DE RUNOFF	INTENSIDADE DE CHUVA (mm/min)	VAZÃO (m ³ /s)	%
SITUAÇÃO 1	Asfalto em Boas Condições	0,85	2,50	0,028871	47%
	Pedra Irregular	0,15	2,50	0,013182	22%
	Calçada	0,75	2,50	0,018748	31%
	Total			0,060802	100%
SITUAÇÃO 2	Asfalto em Boas Condições	0,85	2,50	0,028871	27%
	Paver	0,69	2,50	0,060639	56%
	Calçadas	0,75	2,50	0,018748	17%
	Total			0,108258	100%
SITUAÇÃO 3	Asfalto em Boas Condições	0,85	2,50	0,028871	56%
	Concreto Permeavel	0,05	2,50	0,004394	8%
	Calçadas	0,75	2,50	0,018748	36%
	Total			0,052014	100%
SITUAÇÃO 4	Asfalto em Boas Condições	0,85	2,50	0,028871	24%
	Asfalto em Boas Condições	0,85	2,50	0,074700	61%
	Calçadas	0,75	2,50	0,018748	15%
	Total			0,122319	100%

Fonte: Autoria própria (2023)

A Situação 1, apresenta o asfalto em boas condições contribui 47% para o escoamento, enquanto a pedra irregular escoam 22% e as calçadas escoam 31%. Na Situação 2, o paver é o responsável pelo maior escoamento, com 56%, seguido pelo asfalto em boa condição, com 27%, e pelas calçadas, com 17%.

A Situação 3, o asfalto em boas condições apresenta o maior índice de escoamento, com 56%, seguido pelas calçadas, com 36%, e pelo concreto permeável, com apenas 8%. Por fim, na Situação 4, o asfalto em boa condição ainda é o principal responsável pelo escoamento, com 61%, seguido pelo asfalto em boas condições (que está sendo projetado no lugar da pedra irregular), com 24%, e pelas calçadas, com 15%.

É importante destacar que os diferentes tipos de superfícies e materiais utilizados nas vias urbanas têm impacto direto no escoamento. Nesse sentido, materiais mais permeáveis, como o concreto permeável e o paver, apresentam menor escoamento superficial, enquanto superfícies mais rígidas, como o asfalto em boas condições, apresentam maior índice de escoamento.

6.4 Comparação do Escoamento Laminar do Pavimento Convencional Projetado com os Pavimentos Sustentáveis

Após a determinação de escoamento laminar para as situações podemos fazer uma comparação entre eles, para essa comparação foi utilizada a Equação 3, que nada mais é que o coeficiente em porcentagem obtido pela média ponderada, podemos observar melhor na Tabela 6.

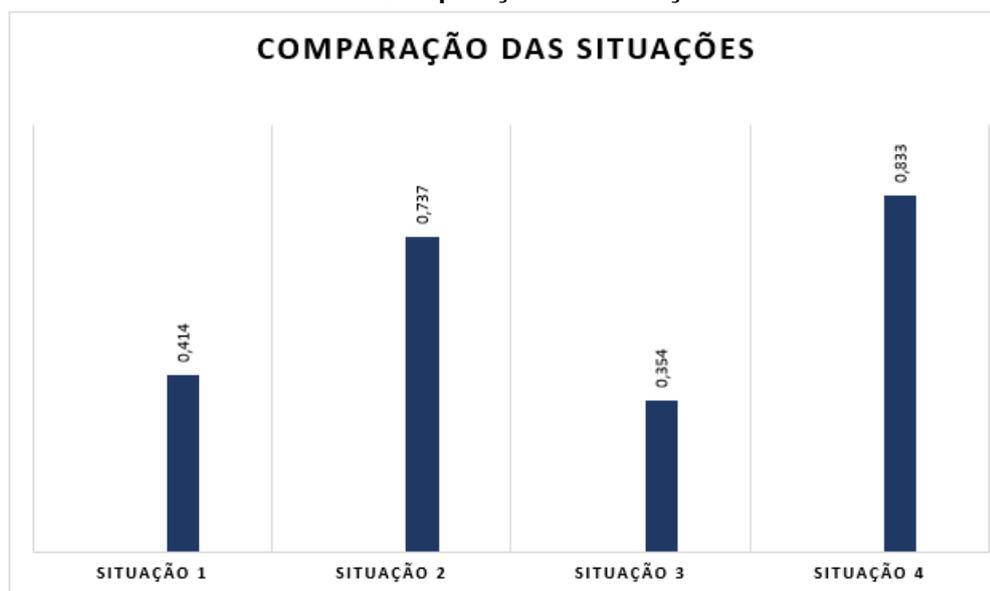
Tabela 6 - Comparação: Situação e média do coeficiente

SITUAÇÕES	C
SITUAÇÃO 1	0,414
SITUAÇÃO 2	0,737
SITUAÇÃO 3	0,354
SITUAÇÃO 4	0,833

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar as diferentes situações, verificou-se que a menor taxa de escoamento ocorre na Situação 3, com um valor de 0,354. A Situação 1 apresentou uma taxa de escoamento de 0,414 a Situação 2 apresentou uma taxa de escoamento de 0,737 e a Situação 4 apresentou a maior taxa de escoamento de 0,833, como podemos observar melhor no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação das Situações



Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que o escoamento que ocorre na Situação 3 é mais vantajoso do que os demais, uma vez que esse fluxo irá para o lençol freático. Em contrapartida, os outros escoamentos, mesmo que ocorram em uma taxa maior, irão para o rio. Isso pode ter implicações negativas para a qualidade da água e para o ecossistema do rio.

6.5 Análise de Custo

Foi realizado um levantamento de custos dos pavimentos, asfalto usinado a quente, concreto permeável e paver. De acordo com Baldo (2020) a espessura do asfalto usinado a quente é de 6 centímetros, do concreto permeável de 10cm e o paver foi adotado o de 6 cm.

Tabela 7 - Análise de custos

MATERIAIS	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UNITARIO	PREÇO TOTAL
Asfalto Convencional	m ³	126,30	R\$ 675,50	R\$ 85.315,65
Concreto Permeavel	m ³	210,50	R\$ 615,00	R\$ 129.457,50
Paver	m ²	2105,04	R\$ 23,53	R\$ 49.531,59

Fonte: Autoria própria

Os valores expressos na Tabela 7 foram obtidos através do referencial de preços de serviços do Departamento de Estradas e Rodagem (DER/PR, 2023). É importante

ressaltar que o presente estudo da análise custos não foram levados em consideração os custos ambientais, custos com a regularização do terreno, com maquinários, com funcionários. A análise foi apenas do materiais (asfalto convencional, concreto permeável e paver).

7. CONCLUSÃO

A partir das análises feitas nesse trabalho verificou-se que a capacidade de escoamento das quatro situações aplicadas na via em estudo em Campo Mourão, Paraná.

A Secretaria de Planejamento da cidade forneceu mapas que indicaram que a área total de estudo para este trabalho é de 3.517,41 m² que foram divididas em asfalto em boas condições, pedra irregular e calçadas. Onde o alvo foi trocar o pavimento de pedra irregular pelos seguintes pavimentos, de paver, concreto permeável e asfalto em boas condições.

Neste estudo, os coeficientes de escoamento foram adquiridos a partir de fontes literárias. Verificou-se que para o pavimento asfáltico em condições satisfatórias, o coeficiente de escoamento é $C=0,85$, para pavimento de pedra irregular é $C=0,15$, para as calçadas é $C=0,75$, para pavimento paver é $C=0,69$ e para o pavimento de concreto permeável, o coeficiente de escoamento é de $C=0,05$.

Utilizando a fórmula do método Racional e a intensidade de chuva que foi desenvolvida por ARANTES et al (2009), foram obtidas as vazões correspondentes a quatro diferentes situações. Para a Situação 1, verificou-se que a vazão foi de 0,028871 m³/s para o pavimento de asfalto em boas condições, de 0,013182 m³/s para o pavimento com pedra irregular e de 0,018748 m³/s para as calçadas.

Já para a Situação 2, a vazão correspondente ao pavimento de asfalto em boas condições foi de 0,028871 m³/s, enquanto que para o pavimento de paver a vazão foi de 0,060639 m³/s e para as calçadas, de 0,018748 m³/s.

Na Situação 3, as vazões obtidas foram de 0,028871 m³/s para o pavimento de asfalto em boas condições, de 0,004394 m³/s para o pavimento de concreto permeável e de 0,018748 m³/s para as calçadas.

Por fim, na Situação 4, constatou-se que a vazão correspondente ao pavimento de asfalto em boas condições foi de 0,028871 m³/s, a das calçadas foi de 0,018748 m³/s e a do pavimento de asfalto em boas condições (substituindo a pedra irregular) foi de 0,074700 m³/s.

Ao analisar os resultados obtidos a partir da comparação das quatro situações, levando em consideração a média ponderada dos coeficientes (Equação 3) e da área total de 3.517,41m², e teve os seguintes resultados, Situação 1 tem 41,41% de escoamento, 73,72% na Situação 2, na Situação 3 tem o menor valor 34,42%, já na

Situação 4 temos o maior valor que é de 83,30%. Através dessa análise pode-se observar que a Situação 4 apresentou o pior resultado, pois 83,30% escoam para a rede de drenagem e apenas 16,70% infiltra no solo, com essa porcentagem maior indo para rede de drenagens pode ocorrer problemas como, a sobre carga do sistema de esgotos, fazendo que os mesmos transbordem fazendo inundações e assoreamento do rio, além de outros impactos.

A Situação 3 tem o melhor resultado, pois a mesma escoam apenas 34,42%, sendo assim infiltrando 65,58%, a infiltração da água no solo apresenta diversos benefícios para o meio ambiente e para a sociedade como um todo. Primeiramente, ela ajuda a manter o equilíbrio do ciclo hidrológico, contribui para a redução do risco de enchentes e alagamentos, uma vez que a água é absorvida pelo solo e não se acumula nas superfícies urbanas.

Outra vantagem da infiltração da água no solo é a melhoria da qualidade da água. Quando a água é absorvida pelo solo, ela passa por um processo de filtragem natural, que ajuda a remover impurezas e poluentes, melhorando a qualidade da água que é posteriormente liberada para os rios e mananciais.

Portanto, pode-se concluir que a Situação 3 apresentou o melhor resultado, uma vez que permitiu a infiltração da maior parte da água da chuva no solo, contribuindo para a recarga do lençol freático e para a redução do risco de enchentes e alagamentos, além de melhorar a qualidade da água.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR16416**: informação e documentação, referências, elaboração. Rio de Janeiro, 2015.

ALMEIDA, I. C. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG**. 2020. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – Mg, 2020.

ARANTES, E. J.; PASSIG, F. H.; CARVALHO, K. Q.; KREUTZ, C.; ARANTES, E. de A. . Análise das chuvas intensas da região noroeste do Paraná. **Olam: Ciência & Tecnologia**., Rio Claro - SP, n. 2, p. 31-47, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de conceito permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **Aspectos institucionais e financiamento dos sistemas de drenagem urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.7, n.1,. Belo Horizonte, 2002. p. 29-49.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves**. Dissertação de mestrado de Engenharia de Transpores apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. 133 f. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza**. Saúde em Debate, v. 43, p. 94-108, 2019.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Águas Pluviais**. Brasília, DF: Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. 2007.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F..C. M.; **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3**. Brasília: ReCESA 2007. 130 p.

COSTA, RENAN R. K. **Análise de emissários da galeria de águas pluviais contribuintes do Rio do Campo na região central do município de Campo Mourão, Paraná**. 2016. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

DAMO, G. F., LEITE T. J. **Avaliação de técnicas de drenagem urbana sustentável para controle do escoamento superficial na fonte de um loteamento no Município de São Miguel do Oeste – SC**. 2022. 78 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2022.

FOCHESATTO, A. C. A. **Microdrenagem Urbana: Analise e solução para o problema na Avenida Sete de Setembro, na cidade de Três Corações – MG**. 2017. 80 pags f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG. Varginha, 2017.

GAROTTI, L. M., BARBASSA, A. P. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial**. Scielo, 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000100003>>. Acesso em: 22 de maio de 2023.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do Rio Juvevê, Curitiba-PR. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 42, p. 192-209, dezembro 2017.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2021. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/campo-mourao/panorama>>. Acesso em: 07 de junho de 2022.

JONES, P.; MACDONALD, N. Making space for unruly water. Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff. **Geoforum**, n 38. p. 534-544, 2007.

MARCHIONI, Mariana L., SILVA, Cláudio Oliveira. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2016. Disponível em < <https://abcp.org.br/pr-2-conceitos-e-requisitos-para-pavimento-intertravado-permeavel/>>. Acesso em 02 de maio de 2022.

NETO, A. T. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

PAVAZZI, Bárbara R. D. F.; **Avaliação de sistema de drenagem em final de rede pluvial em Campo Mourão – PR**. 2022. 49 pags f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná – UTFPR. Campo Mourão, 2022.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S.; **Hidrologia Básica**. 1 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

REFERENCIAL DE PREÇOS DE SERVIÇOS. Departamento de Estradas de Rodagem - DER/PR. Disponível em:< <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Normas-e-Custos-Rodoviaros>>. Acesso em 20 de junho de 2023.

RIBAS, Mariana Casaçoli. **Análise de um Segmento do Sistema de Drenagem Urbana da Cidade de Cornélio Procópio-PR**. 2016. 65 pags f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2016.

SANTOS, Altair. Pavimento Rígido Ganha Versão 100% Permeável. 2015. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/pavimento-rigido-permeavel/>>. Acesso em 15 de maio de 2023.

SECRETARIA Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana**. São Paulo: SMDU, 2012.

SUETÔNIO, Mota. **Introdução à engenharia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2012. 524 p. ISBN 9788575639504.

TENNIS, P.D.; LEMING, M. L.; AKERS, D J. **Previous concrete pavements, Portland Cement Association, Skokie, Illinois e National Ready Mixed Concrete Association, Maryland, USA**. 2004. 36p. Disponível em: http://myscmap.sc.gov/marine/NERR/pdf/PerviousConcrete_pavements.>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais**. Editor Plínio Tomaz, 2013.

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

TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. In: Cepal. Escritório no Brasil/Ipea, 48. p.50. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, DF. 2012. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf. Acesso em: 24 de maio de 2022.

TUCCI, Carlos E. M. **HIDROLOGIA: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, ABRH, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. 2ª ed. São Paulo. Editora McGraw. 1975.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; JEFFERIES,C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SUDS Manual**. Londres: CIRIA, 2007.